

เอกสารอ้างอิง

1. Birkeland, J. M., and P. Torell, " Caries-Preventive Fluoride Mouthrinses," Caries Res., 12, 38-51, 1978
2. Von der Fehr, F. R., H. Loe, and E. Theilade, " Experimental Caries in man," Caries Res., 4, 131-148, 1970
3. Zero, D. T., J. Fu, M. A. Espeland, and J. D. B. Featherstone, " Comparison of Fluoride Concentrations in Unstimulated Whole Saliva Following The Use of a Fluoride Dentrifrice and a Fluoride Rinse," J. Dent. res., 67, 1257-1262, 1988
4. Ten Cate, A. R., " Enamel Structure," Oral Histology Developement Structure and Function, 194-217, The C. V. Mosby Company, St. Louis, 2d ed., 1985
5. Arends, J., and J. Christoffersen, " The Nature of Caries Lesion in Enamel," J. Dent. Res., 65, 2-10, 1986
6. Gorelick, L., A. M. Geiger, and A. J. Gwinnett, " Incidence of White Spot Formation after Bonding and Banding," Am. J. Orthod., 81, 93, 1982

7. Mizrahi, E., " Enamel Demineralization Following Orthodontic Treatment," Am. J. Orthod., 82, 62, 1982
8. Ingerval, B., " The Influence of Orthodontic Appliance on Caries Frequency," Odont. Revy, 13, 175, 1962
9. Rossy, R., and N. Tinanoff, " Topical Fluoride Therapy," J. Clinical Orthod., 521-525, 1985
10. The Lion Foundation, Japan, " How to Control Dental Caries and Pyorrhea," เอกสารแจกในงานประชุมทางวิชาการ Asian Pacific Dental Congress ครั้งที่ 12 ณ โรงแรมไอแอทเซนทรัลพลาซ่า กรุงเทพฯ เมื่อวันที่ 5-10 ธันวาคม พ.ศ. 2528
11. ประทีป, พันธุ์วนิช, เอกสารประกอบการสอนวิชา Correlation Basic Science สำหรับนักศึกษาปริญญาโท คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2526
12. Margolis, H. C., E. C. Moreno, and B. J. Murphy, "Effect of Low Levels of Fluoride in Solution on Enamel Demineralization in Vitro," J. Dent. Res., 65, 23-29, 1986
13. Costello, et. al., " Effect of Zinc Phosphate Cements on Tooth Enamel," Am. J. Orthod., 34, 271, 1948
14. Schaecken, M. J. M., M. H. De Jong, H. C. M. Francken, and J. S. Van der Hoeven, " Effects of Highly Concentrated Stannous Fluoride and Chlorhexidine Regimes on Human Dental Plaque Flora," J. Dent. Res., 65, 57-61, 1986

15. Clifton, O., Davidson, Deryl D. Swanbon, and Dale k. Eggleston, " New Antiplaque Agent for Orthodontic Patient," J. Clinical Orthod., 19, 205-213, 1985
16. Hughes, D. O., J. H. Hembree, and F. N. Wever, " Preparation to Prevent Enamel Decalcification During Orthodontic Treatment Compared. An in-vitro Study," Am. J. Orthod., 75(4), 416-420, 1979
17. Margada, W. J., and I. L. Shannon, " Decreasing the Depth of Ecth for Direct Bonding in Orthodontics," J. Clinical Orthod., 130-132, 1982
18. Kvam, Einar, Just Broch and Ingum Harvold Nissen-Meyer, " Comparison between a Zinc Phosphate Cement and a Glass Ionomer Cement for Cementation of Orthodontic Bands," Eur. J. Orthod., 5(4), 307-313, 1983
19. Mellberg, J. R., " Enhancement of Remineralization for Caries Prevention," เอกสารประกอบคำบรรยายในงานประชุมวิชาการ APDC ครั้งที่ 12 ณ โรงแรมไฮแอท เซ็นทรัลพลาซ่า กรุงเทพฯ วันที่ 5-10 ธันวาคม 2528
20. Newburn, E., " Mechanism of Fluoride Action in Caries Prevention," Fluoride and Dental Caries, Contemporary Concepts for Practitioners and Students, 155-173, Charles & Thomas Publishers, 3d. ed., Illinois, 1980

21. Eanes, E. D., " Enamel Apatite : Chemistry, Structure and Properties," J. Dent. Res., 58(Special Issue B), 829-834, 1979
22. Patel, B. R., and W. E. brown, " Thermodynamic Solubility Product of Human Tooth Enamel : Powered Sample," J. Dent. Res., 54, 728-736, 1975
23. Bounoure, G. M., and J. C. Vezin, " Orthodontic Fluoride Protection," J. Clinical Orthod., 14, 321-325, 1980
24. Brown, W. E., T. M. Gregory, and L. C. Chow, " Effects of Fluoride on Enamel Solubility and Cariostasis," Caries Res., 11(Suppl. 1), 118-141, 1977
25. Silverstone, L. M., Demineralization and Enamel Caries Significance of Fluoride and Effect on Crystal Diameters. In Demineralization and Remineralization of the Teeth, S. A. Leach and W. M. Edgar (eds.), Oxford, IRL Press Ltd., 185-205, 1983
26. สุขุม จีรติลก, " ลักษณะของผิวเคลือบฟันที่ทำปฏิกิริยากับยาสีฟันฟลูออไรด์," วิทยาสารทันตแพทยศาสตร์มหิดล, ปีที่ 4, เล่มที่ 2, 40-50, 2527
27. Ingram, G. S., and P. F. Nash, " A Mechanism for the Anticaries Action of Fluoride," Caries Res., 14, 298-303, 1980
28. Brudevold, F., Interaction of Fluoride with Human Enamel. In Chemistry and Physiology of Enamel, Symposium, School of Dentistry, University of Michigan, Ann Arbor, 73-90, 1971

29. Hollender, L., and G. Koch, "Effect of Local Application of Fluoride on Initial Demineralization on the Buccal Surface of Maxillary Incisors," Swed. Dent. J., 69, 1, 1976
30. Wiseman, A., "Effect of Inorganic Fluoride on Enzymes," Handbook of Experimental Pharmacology, Part 2, F. A. Smith(ed.), Berlin, 48-97, 1970
31. Loesche, W. J., R. J. Murray, And J. R. Mellberg, "The Effect of Topical Acidulated Fluoride on Percentage of Streptococcus mutans and Streptococcus sanguis in Interproximal Plaque Sample," Caries Res., 7, 283-296, 1973
32. Losche, W. J., S. A. Syed, R. J. Murray, and J. R. Mellberg, "Effect of Topical Acidulated Phosphate Fluoride on Percentage of Streptococcus mutans and Streptococcus sanguis in Plaque. II. Pooled Occlusal and Polled Approximal Samples," Caries Res., 9, 139-155, 1975
33. Klock, B., J. Serling and S. Kinder, "Comparison of Effect of SnF_2 and NaF Mouthrinse on Caries Incidence, Salivary S. mutans and Gingivitis in High Caries Prevalent Adults," Scand. J. Dent. Res., 93, 213-217, 1985
34. Levine, R. S., "The Action of Fluoride in Caries Prevention," Br. Dent. J., 140, 9-14, 1976
35. Glantz, P. O., "On Wettability and Adhesiveness," Odont. Revy, 20, Suppl. 17, 1969

36. Lovius, B. B. J., and D. H. Goose, "The Effect of Fluoridation of the Water on Tooth Morphology," Br. Dent. J., 127, 322-324, 1969
37. Bossert, W. A., and J. M. Dunning, "Salivary Dilution of 1:1000 Sodium Fluoride Used as a Mouthwash," J. Dent. Res., 24, 311-314, 1945
38. อี๊ด กฤดากร, ฟลูออไรด์ในวิชาทันตแพทยศาสตร์, แผนกสรีรวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2518
39. Shannon, F. L., "Biochemistry of Fluoride in Saliva," Caries Res.(Suppl. 1), 206-225, 1977
40. Ericsson, S. Y., "Cariostatic Mechanisms of Fluoride: Clinical Observation," In Proceedings International Conference on Fluoride and Dental Health, pp. 1-11, Kenya Dental Association, 1983
41. LagerLöf, F., and C. Dawes, "The Volume of Saliva in the Mouth Before and After Swallowing," J. Dent. Res., 63, 618-621, 1984
42. Øgaard, B., G. Rølla, J. Arends and J.M. Ten cate, "Orthodontic Appliances and Enamel Demineralization. Part 2. Prevention and Treatment of lesions," Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 94, 2, 123-128, 1988
43. สุขุม ชีรติลก, "วิธีใช้ฟลูออไรด์ป้องกันโรคฟันผุ," โรงพิมพ์ ป. เสรี, กรุงเทพมหานคร, ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 2, 2526

44. Aasenden, R., P. F. DePaola, and F. Brudevold, " Effects of Daily Rinsing and Ingestion of Fluoride Solution upon Dental Caries and Enamel Fluoride," Archs. Oral Biol., 17, 1705-1714, 1972
45. Torell, P., and Y. Ericsson, " Two Years Clinical Test with Different Methods of Local Caries Preventive Fluorine Application in Swedish School Children," Odont. Scand., 23, 287-322, 1965
46. Navia, J. M., " Prevention of Dental Caries : Agents which Increase Tooth Resistance to Dental Caries," Int. Dent. J., 22, 427-440, 1972
47. Wisth, P. J., " THE Ability of Zinc Phosphate and Hydrophosphate cements to Seal Band Spaces," Angle Orthodont., 42, 395-398, 1972
48. Jeansonne, B.G., F.F. Feagin, " Enamel Dissolution in Weak Acid Contianing 0.05, 0.5 or 5.0 mM Sodium Fluoride, J. Dent. Res., 53, 414-417, 1974
49. Zachrisson, B. U., " Orthodontic Practice, Current Concepts," Am. J. Orthod., 45, 72-81, 1975
50. เศวต ทักคนบรรจง, ฟลูออไรด์กับฟัน, โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, กรุงเทพมหานคร, 2529
51. ประทีป พันธุ์วนิช และ คณะ, " ความปลอดภัยในการใช้ฟลูออไรด์," วารสารทันตกรรม, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, ภาคผนวก 19-22, 2529
52. ชัยวัฒน์ ปัญจพงษ์, ชีวสถิติ, ตอนที่ 2 สถิติภาคอนุมาน, สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2522

53. Peret, Roland, " Oral Fluoride Ion Concentrations in saliva and Dental Plaque Following Topical Applications of Fluoride Dentrifrice and Gels," Proceeding of the Seminar on the Fluoride Prophylaxis of Dental and Maxillary Complications Resulting from Cervico-Facial Irradiation, 28 April, 1978
54. ประทีป พันธุมวณิช, F. F. Feagin, and T. Koulouride, " Effect of Sampling Procedure on the Amount of Fluoride from Remineralized Enamel Surfaces Treated with 1,10,100 ppm F in vitro," J. Dent. Ass. Thai, 24(6), 317-329, 1974
55. วิรุฬห์ มังคละวิรัช และ ไพบุลย์ นवलนิล, " รังสีเอกซ์วิเคราะห์ " ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
56. เวคิน นพินิตย์, จุดทัศนอิเล็กตรอนแบบสแกน การประยุกต์ทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพ, ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527
57. Morgan, A. J., X-ray Microanalysis in Electron Microscopy for Biologists, The Alden Press, Oxford, 1985

ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

รังสีเอกซ์วิเคราะห (55, 56)

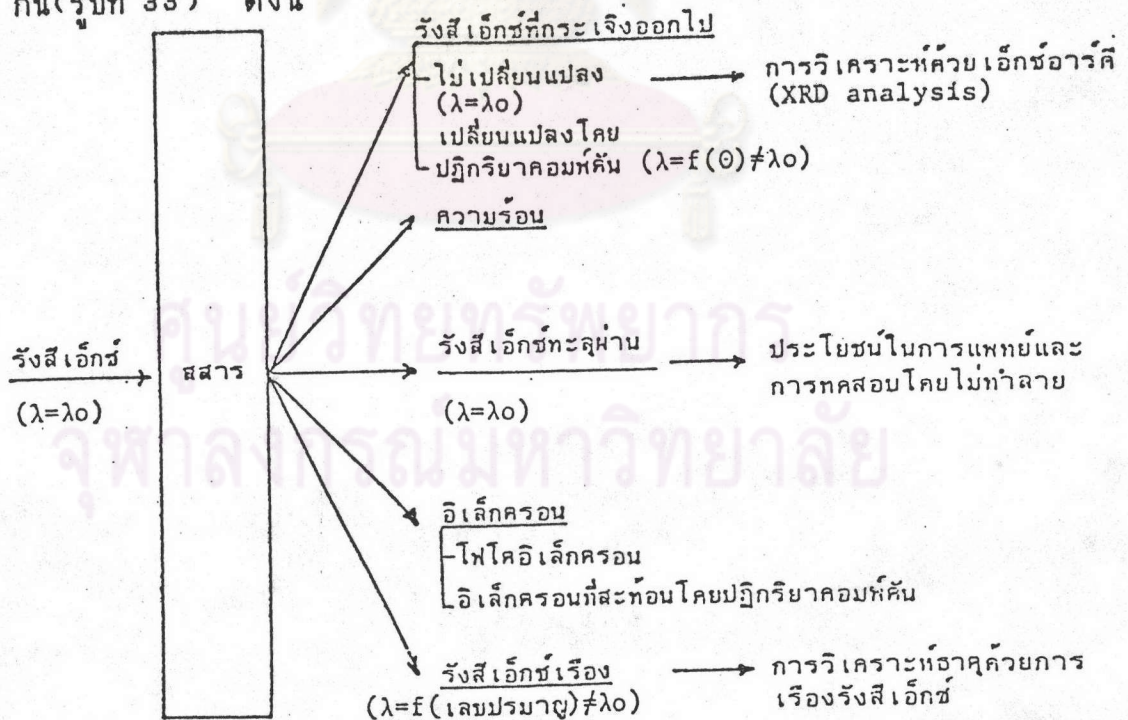
ในทางการแพทย์ เราสามารถใช้รังสีเอกซ์ (X-ray) ถ่ายภาพส่วนหนึ่ง ส่วนใดของร่างกาย ภาพที่ได้จะปรากฏเป็นเงาขาวดำอยู่บนฟิล์มช่วยให้รังสี แพทย์สามารถวินิจฉัยความผิดปกติของส่วนนั้นๆของร่างกายได้ นับเป็นประโยชน์ ของรังสีเอกซ์ในการแพทย์ที่รู้จักกันทั่วไป แต่อันที่จริงแล้วรังสีเอกซ์มิได้ใช้ ประโยชน์แต่ในทางการแพทย์เท่านั้น นักวิทยาศาสตร์ได้ใช้รังสีเอกซ์ในการ ศึกษาโครงสร้างของสสารและในการวิเคราะห์ธาตุได้ด้วย เพื่อให้เข้าใจถึง ขั้นตอนและหลักการของการใช้รังสีเอกซ์วิเคราะห์ธาตุ ควรทราบถึง

1. ธรรมชาติของรังสีเอกซ์ รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นเดียวกับคลื่นวิทยุ แต่ความยาวคลื่นสั้นมากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิเคราะห์อื่นๆ เช่น Infrared Spectrophotometer (IR), UV-visible Spectrophotometer (UV-vis), Atomic Absorption Spectromonometer (AA) และ Inductively Couple Plasma Spectrometer (ICP) จะเห็นว่าช่วงความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่ใช้ใน การเร่องรังสีเอกซ์ค่อนข้างกว้าง คือมีความยาวคลื่นตั้งแต่ประมาณ 0.01-10 นาโนเมตร (รูปที่ 32)

ความยาวคลื่น	รังสี	การวิเคราะห์
100µm	อินฟราเรด	ไออาร์ (IR)
10µm		
1µm		
100nm	แสงที่เห็นได้	ยูวี เอเอ ไอซีพี (UV AA ICP)
10nm	เหนือม่วง	
1nm	รังสีเอกซ์	เอ็กซ์อาร์ดี (XRD) เอ็กซ์อาร์เอฟ (XRF)
0.1nm		
0.01nm		

รูปที่ 32 ความยาวของคลื่น (spectrum) แม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการวิเคราะห์ (55)

2. อันตรกิริยาระหว่างรังสีเอกซ์กับสสาร ขณะที่รังสีเอกซ์วิ่งผ่านสสาร รังสีเอกซ์จะชนกับปริมาณของสสารทำให้เกิดอันตรกิริยาซึ่งให้ผลต่างกกัน (รูปที่ 33) ดังนี้



รูปที่ 33 แสดงอันตรกิริยาระหว่างรังสีเอกซ์กับสสาร และการใช้ประโยชน์จากผลที่เกิดขึ้น (55)

2.1. อิเล็กตรอนที่ยึดแน่นกับปรมาณูจะกระเจิง (scatter) รังสีเอกซ์ออกไป รังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกไปนี้จะยังคงมีความยาวคลื่นเช่นเดียวกับรังสีเอกซ์ที่กระทบสารนั้น และสามารถนำผลที่เกิดขึ้นไปศึกษาโครงสร้างของสาร

2.2. อิเล็กตรอนที่ยึดเหนี่ยวกับปรมาณูอย่างหลวม จะกระเจิงรังสีเอกซ์ออกไปได้เช่นเดียวกัน แต่รังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกไปนี้จะมีความยาวคลื่นสูงขึ้นเมื่อเทียบกับรังสีเอกซ์ที่กระทบกับสารนั้น

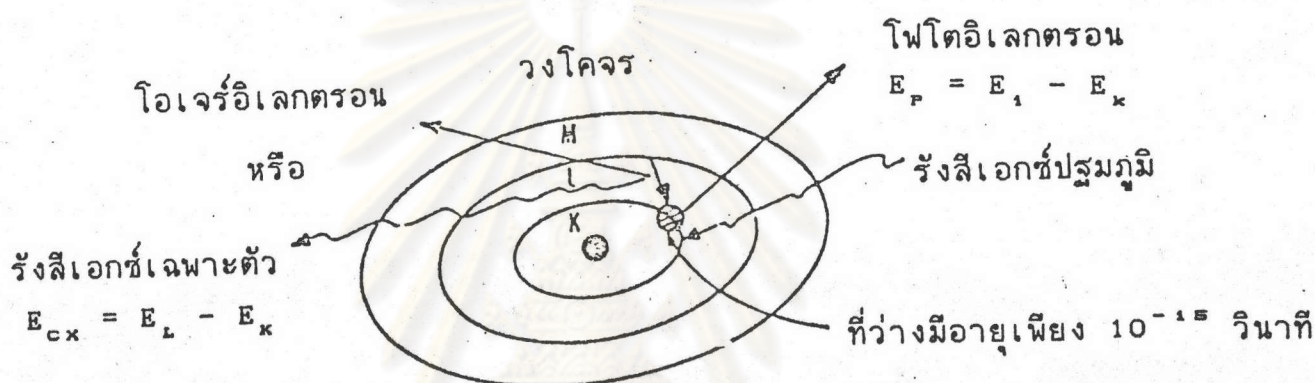
2.3. บางส่วนของรังสีเอกซ์ สามารถทะลุผ่านออกไปได้โดยความยาวคลื่นไม่เปลี่ยนแปลง เพียงบางส่วนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบสารนั้นถูกดูดกลืนไป ผลที่เกิดขึ้นนี้นำไปใช้ในกิจการแพทย์และการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย

2.4. บางส่วนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบจะถูกดูดกลืนโดยปรมาณูและปล่อยโฟโตอิเล็กตรอน (photoelectron) ทำให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic x-ray) แล้วแต่ชนิดของปรมาณู ในกรณีเช่นนี้สารจะดูดกลืนรังสีเอกซ์ความยาวคลื่นหนึ่ง และปล่อยรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นต่างกันออกมา รังสีเอกซ์ที่ถูกปล่อยออกมาเรียกว่า " รังสีเอกซ์เรือง " (X-ray Fluorescence: XRF)

3. หลักการเรืองรังสีเอกซ์ รังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงพอสามารถผ่านลึกเข้าไปใกล้นิวเคลียสของปรมาณู และชนอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรที่ใกล้นิวเคลียส เช่น วงโคจร K และวงโคจร L ให้หลุดออกไปได้ อิเล็กตรอนที่ถูกชนหลุดออกไป เรียกว่า โฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron: เรียกตามอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริกที่รังสีเอกซ์ถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน) การเกิดโฟโตอิเล็กตรอนทำให้เกิดที่ว่าง (vacancy) ขึ้นในวงโคจรนั้น ที่ว่างดังกล่าวจะมีอายุเพียงประมาณ 10^{-15} วินาที เพราะจะมีอิเล็กตรอนในวง

โคจรถัดไปซึ่งมีพลังงานสูงกว่าโคจรเข้ามาแทนที่ พร้อมกับปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอกซ์เรือง และเป็นรังสีเอกซ์เฉพาะตัวสำหรับแต่ละธาตุ

รังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่เกิดขึ้น มีโอกาสที่จะไปชนกับอิเล็กตรอนในวงโคจรนอก เช่น ในวงโคจร L (รูปที่ 34) ทำให้เกิดไอเจอร์อิเล็กตรอน (Auger electron) ซึ่งดูดกลืนรังสีเอกซ์เฉพาะตัวไป การเกิดไอเจอร์อิเล็กตรอนทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวลดน้อยลง

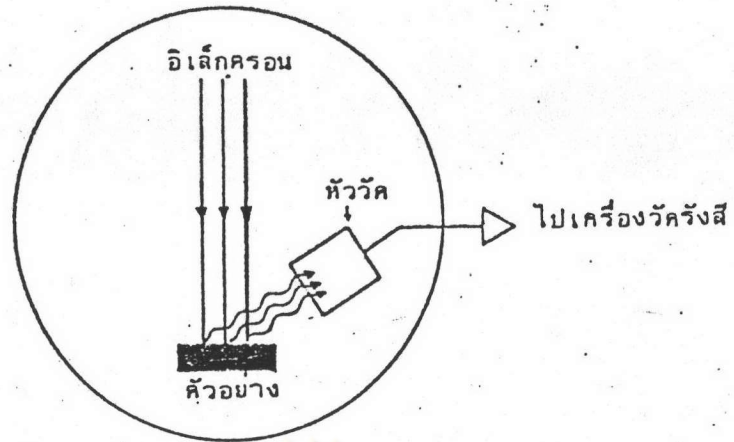


รูปที่ 34 การกำเนิดรังสีเอกซ์เรือง (55)

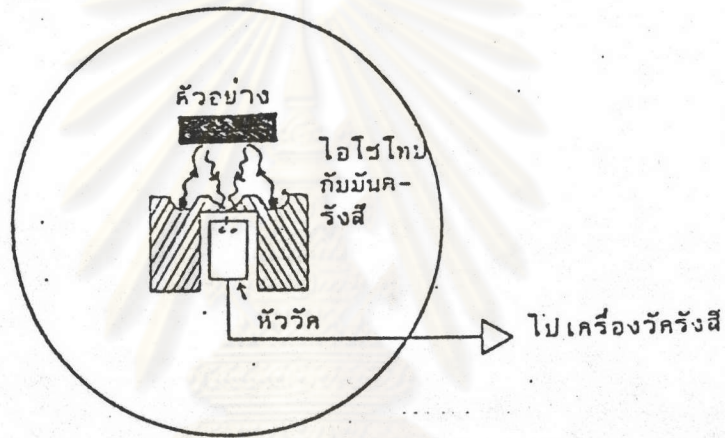
รังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่เกิดจากการแทนที่ของอิเล็กตรอนวงนอกไปยังวงโคจรชั้นใน K, L และ M มีชื่อว่า K x-rays, L x-rays และ M x-rays ตามลำดับ ในการวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองรังสีเอกซ์นั้น จะสนใจเฉพาะ K x-rays และ M x-rays เท่านั้น เพราะรังสีเอกซ์เฉพาะตัวนอกเหนือจาก K x-rays และ M x-rays มีพลังงานต่ำเกินไป

4. ระบบการวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์เรือง

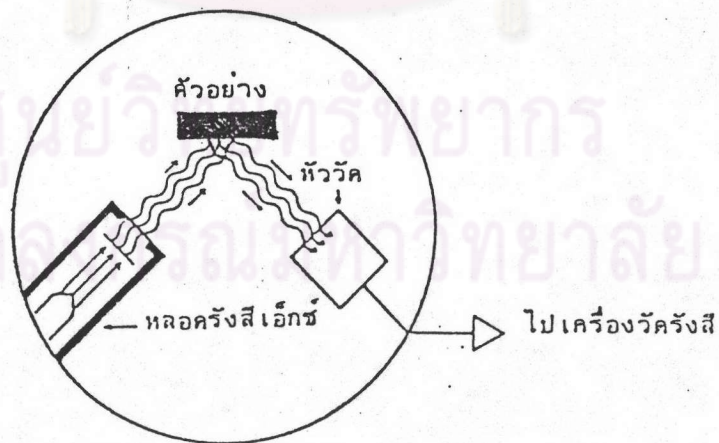
4.1. การกระตุ้นให้เกิดรังสีเอกซ์เรือง การกระตุ้นให้เกิดรังสีเอกซ์เรืองซึ่งเป็นรังสีเอกซ์เฉพาะตัว อาจทำได้หลายวิธี ดังแสดงในรูปที่ 35 ดังนี้



ก. การกระตุ้นควายล่าอเล็กตรอน



ข. การกระตุ้นควายไอโซโทปกัมมันตรังสี



ค. การกระตุ้นควายหลอดรังสีเอ็กซ์

รูปที่ 35 การกระตุ้นให้เกิดรังสีเอกซ์เรือง (55)

รูป ก รังสีเอกซ์เรืองเกิดขึ้นเนื่องจากการวิ่งชนของอิเล็กตรอนความเร็วสูง ทำให้เกิดรังสีเอกซ์เรือง

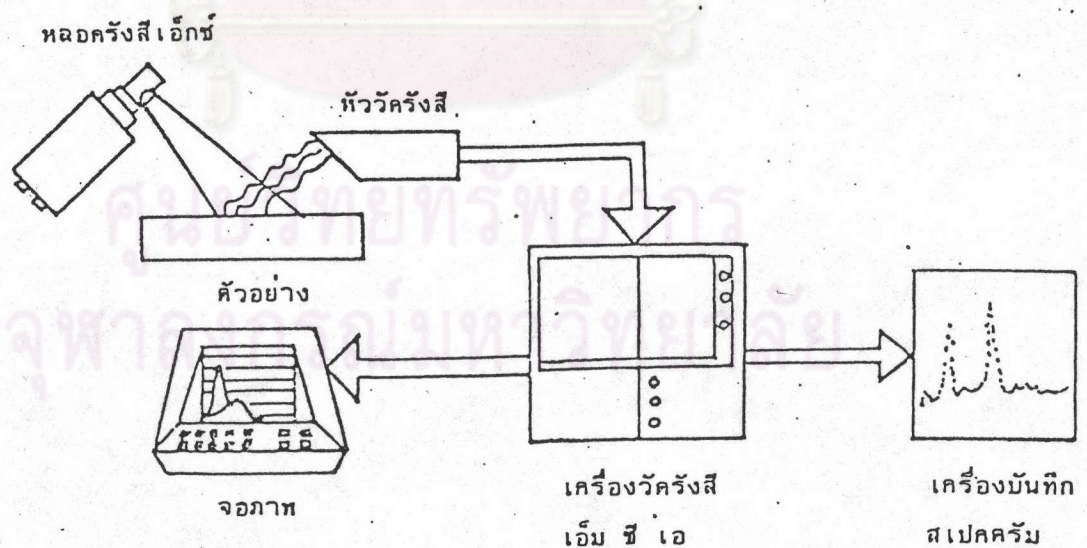
รูป ข รังสีเอกซ์เรืองเกิดขึ้นเนื่องจากรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ จากไอโซโทปกัมมันตรังสี ไอโซโทปที่นิยมใช้กันมากคือ Cd^{109} , Fe^{55} , Co^{57} และ Am^{241} การกระตุ้นด้วยไอโซโทปกัมมันตรังสีเป็นระบบที่ทำให้เกิดรังสีเอกซ์เรืองที่มีราคาถูกและพัฒนาได้ง่าย แต่มีข้อเสียที่ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองค่อนข้างต่ำและเป็นรังสีเอกซ์พลังงานเดี่ยว (monoenergetic) ทำให้ความไวในการวิเคราะห์พลอยต่ำไปด้วย ระบบการกระตุ้นดังกล่าวจึงนิยมใช้ในเครื่องวิเคราะห์แบบถือติดตัวได้ (portable) หรือในระบบการวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองรังสีเอกซ์ที่ต้องการให้มีราคาต่ำ

รูป ค แสดงการกระตุ้นให้เกิดรังสีเอกซ์เรือง ด้วยหลอดรังสีเอกซ์ ซึ่งเป็นการกระตุ้นในเครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองรังสีเอกซ์ที่มีความไวในการวัดสูง หลอดรังสีเอกซ์ที่ใช้ในเครื่องวิเคราะห์ดังกล่าวมีกำลังต่ำตั้งแต่ประมาณ 10 วัตต์ จนถึง 2-3 กิโลวัตต์ แล้วแต่ระบบที่ใช้ในการวัด ข้อดีอย่างหนึ่งของการกระตุ้นด้วยหลอดรังสีเอกซ์ก็คือ ผู้วิเคราะห์สามารถเปลี่ยนพลังงานของรังสีเอกซ์ปฐมภูมิเพื่อความเหมาะสมในการวิเคราะห์ธาตุได้ตามต้องการด้วยการเปลี่ยนศักดาไฟฟ้าแรงสูงที่หลอดรังสีเอกซ์

4.2. ระบบการวัดรังสีเอกซ์เรือง เครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์เรืองอาจแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ตามวิธีการวัดรังสีเอกซ์เรืองที่เกิดขึ้น ดังนี้

4.2.1. ระบบแอนเนอร์ยีดิสเพอร์ซิฟ หรือ อีดีเอส (Energy dispersive spectrometer : EDS) เครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองรังสีแบบอีดีเอส อาจใช้การกระตุ้นด้วยไอโซโทปกัมมันตรังสีหรือหลอดรังสีเอกซ์ก็ได้ หลอดรังสีเอกซ์ที่ใช้เป็นประเภทกำลังงานต่ำขนาด

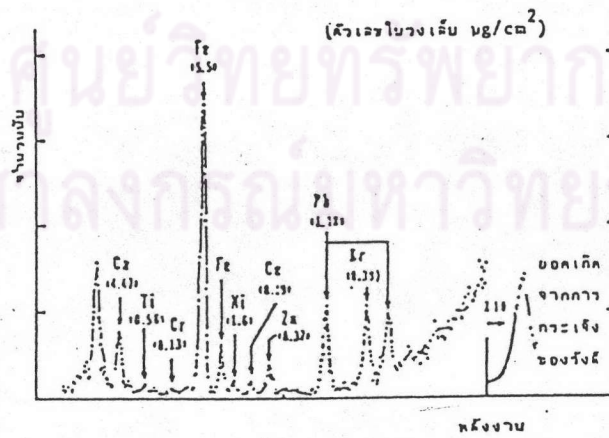
10-50 วัตต์ และสามารถให้กำเนิดรังสีเอกซ์ปฐมภูมิที่มีพลังงานต่อเนื่องได้ ตั้งแต่ 0-50 Kev (Kiloelectronvoltage) หัววัดรังสีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ Si(Li) (Lithium drifted Silicon) ซึ่งเหมาะสำหรับการวัดรังสีเอกซ์เรืองที่มีพลังงานในช่วง 1.5 - 30 Kev หรือ หัววัด HPGe (High purity Germanium) ซึ่งสามารถวัดรังสีเอกซ์เรืองได้ช่วงกว้าง 3 - 200 Kev ถึงแม้หัววัด HPGe จะสามารถวัดรังสีเอกซ์เรืองได้ช่วงกว้างกว่าก็จริง แต่ในการวิเคราะห์ธาตุเบาด้วยการเรืองรังสีเอกซ์ หัววัด Si(Li) ซึ่งสามารถวัดรังสีเอกซ์พลังงานต่ำในย่าน 1 Kev ก็ยังมีความจำเป็นอยู่มาก หัววัดรังสีทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวจะเปลี่ยนพลังงานของรังสีเอกซ์ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าในรูปของศักดาไฟฟ้า โดยขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่ทางออกของหัววัด จะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบบนหัววัด เครื่องวัดเอ็มซีเอ(MCA) จะเก็บสัญญาณไฟฟ้าจากหัววัดในหน่วยความจำที่อยู่ภายในเครื่อง และสามารถแสดงผลการวิเคราะห์บนจอภาพหรือบันทึกสเปกตรัมลงในกระดาษกราฟพร้อมทั้งผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ด้วยวิธีการของโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีอยู่บนเครื่องวัดเอ็มซีเอซึ่งมีความซับซ้อนแตกต่างกันแล้วแต่แบบชนิดของบริษัทผู้ผลิต (รูปที่ 36)



รูปที่ 36 ระบบการวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองรังสีเอกซ์แบบอีดีเอส

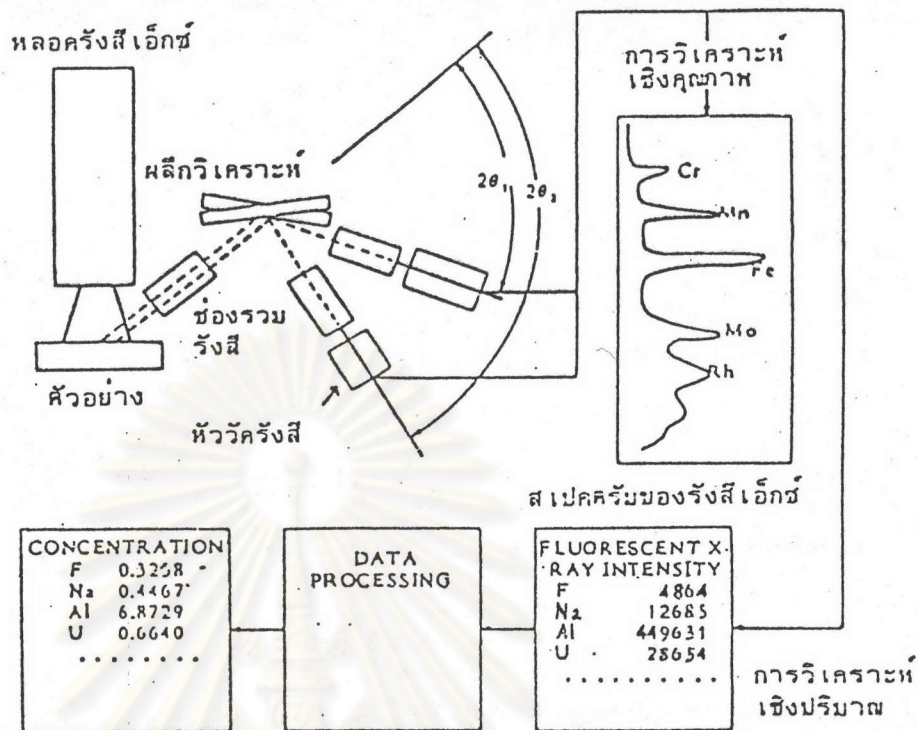


รูปที่ 37 เครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองรังสีเอกซ์แบบอีดีเอส



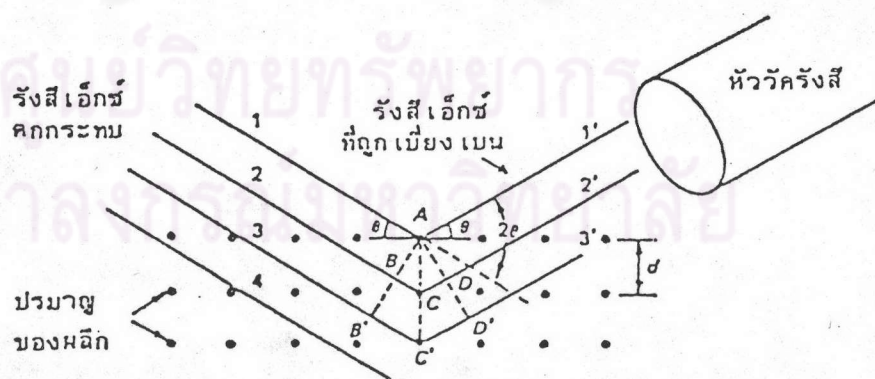
รูปที่ 38 สเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ธาตุ (55)

4.2.2. ระบบเวฟเลงท์ดิสเพอร์ซิฟหรือดับเบิลยูดีเอส (Wavelength dispersive spectrometer : WDS) การวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองรังสีเอกซ์แบบดับเบิลยูดีเอสนี้ ระบบการกระตุ้นจะเป็นแบบที่ใช้หลอดรังสีเอกซ์พลังงานสูงขนาด 1 - 3 Kev การที่ต้องใช้หลอดรังสีเอกซ์พลังงานสูงเพราะรังสีเอกซ์เรืองที่เกิดขึ้นก่อนที่จะเข้าไปยังหัววัดรังสีนั้นจะต้องผ่านช่องรวมรังสี (slit) หลายครั้ง ทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองลดลง รังสีเอกซ์เรืองจากตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วยรังสีเฉพาะตัวของธาตุชนิดต่างๆ ในตัวอย่าง จะถูกแยกออกตามความยาวคลื่นด้วยผลึกวิเคราะห์ (analysis crystal) ซึ่งจะหมุนรับรังสีเอกซ์เรืองเป็นมุม θ (รูปที่ 40) ผลึกวิเคราะห์จะเบี่ยงเบนรังสีเอกซ์เรืองที่มีความยาวคลื่นที่สมนัยกับสมการ $2d \sin \theta = n\lambda$ เท่านั้น ดังนั้นหัววัดรังสีที่ใช้จะต้องอยู่ในตำแหน่งที่ทำมุม 2θ กับทิศทางของรังสีเอกซ์เรืองที่ตกลงบนผลึกวิเคราะห์จึงจะพบรังสีเอกซ์เรืองที่เบี่ยงเบนออกมา เนื่องจากผลึกวิเคราะห์ได้ทำหน้าที่แยกรังสีเอกซ์เรืองตามความยาวคลื่นหรืออีกนัยหนึ่งตามชนิดของธาตุต่างๆ ในชิ้นตัวอย่างแล้ว จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้หัววัดรังสีที่มีความสามารถในการแจกแจงพลังงาน (energy resolution) สูง เช่น หัววัดรังสีกึ่งตัวนำ ดังนั้นหัววัดรังสีที่ใช้ในระบบการวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองรังสีเอกซ์แบบดับเบิลยูดีเอส จึงเป็นแบบที่บรรจุด้วยก๊าซหรือแบบซินทิลเลชัน (scintillation) ซึ่งนิยมใช้ผลึก NaI บางๆ เป็นหัววัดรังสี นอกจากนั้นระบบวัดรังสีที่ใช้ก็ไม่ยุ่งยากเท่ากับเอ็มซีเอที่ใช้ในระบบอีดีเอส แต่อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับปรับตำแหน่งของผลึกวิเคราะห์ให้สัมพันธ์กับหัววัดรังสีเอกซ์และรังสีเอกซ์เรืองจากชิ้นตัวอย่างต้องการความประณีตในการผลิตมาก อุปกรณ์นี้เรียกว่า " โกนิโอมิเตอร์ (Goniometer) " และเช่นเดียวกับระบบอีดีเอส ระบบดับเบิลยูดีเอสก็สามารถให้การวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ



รูปที่ 39 ระบบวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองรังสีเอกซ์แบบดับเบิลยูดีเอส

(55)



รูปที่ 40 การเบี่ยงเบนของรังสีเอกซ์ในผลึกวิเคราะห์

(55)

	1 H	10 Ne	20 Ca	30 Zn	40 Zr	50 Sn	60 Nd	70 Yb	80 Hg	90 Tb
LiF			K 19	Kα	Sr 38	Sb 51	La			
QUA		S 16		Zn 30	Nb 41	W 74			Ma	V 23
PET		Sr 38		Fe 26	Rb 37	K 19			Ma	V 23
TAP	F 9		P 15	Cr 24		Nb 41	La 57	Hg 80		
RAP	O 8		P 15	Cr 24		Nb 41	La 57	Hg 80		
LAU	C 6	F 9	Al 13	Co 27						
MYR	H 1	F 9	Cl 17	Fe 26						
STE	H 1	O 8	S 16	Cr 24						
CER	Be 4	N 7	Si 14	K 19						

Kα
 La
 Ma

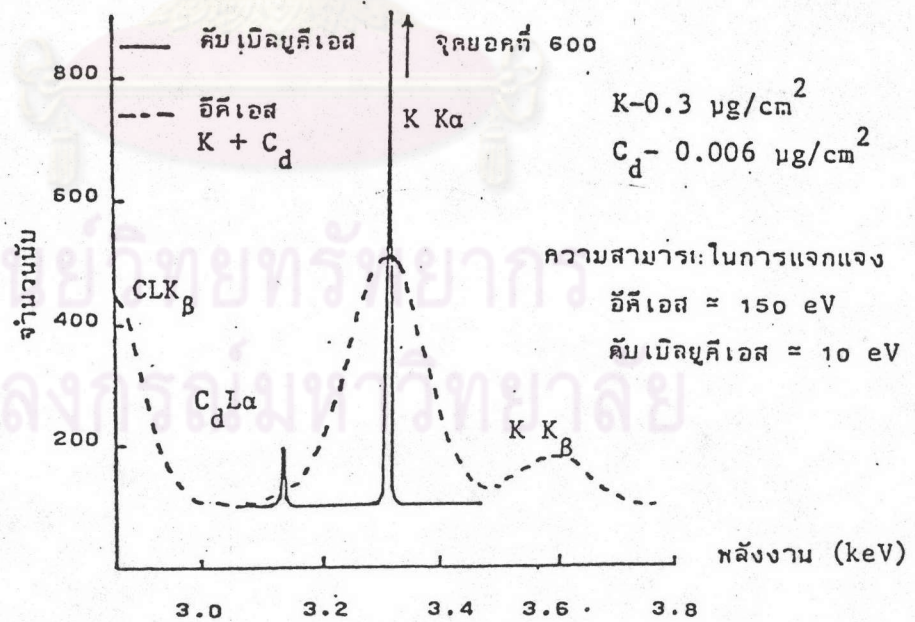
ตารางที่ 7 ช่วงการวิเคราะห์ธาตุของผลึกแต่ละชนิด (55)

ชื่อย่อ	ชื่อเต็ม	ระยะห่างของโครงผลึก 2d (Å)
LiF	Lithium Fluoride	4.0267
QUA	Quartz	6.6872
PET	Pentaery thritol	8.742
TAP	Thallium acid phthalate	25.757
RAP	Rubidium acid phthalate	26.121
LUA	Lead Laurate	70
MYR	Lead Myristate	80
STE	Lead Stearate	100.4
CER	Lead Cerotate	137

ตารางที่ 8 ผลึกวิเคราะห์ชนิดต่างๆ (55)

4.3. ข้อเปรียบเทียบระหว่างการวัดแบบระบบอิตีเอส และระบบดับเบิลยูดีเอส โดยหลักการแล้วระบบการวัดทั้งสองต่างกันตรงที่การแจกแจงรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่เกิดขึ้นจากชิ้นตัวอย่าง ในระบบดับเบิลยูดีเอส การแจกแจงรังสีเอกซ์เฉพาะตัวเกิดในผลึกตามความสัมพันธ์ $2d \sin \theta = n\lambda$ ส่วนในระบบอิตีเอสนั้น การจำแนกรังสีเอกซ์เฉพาะตัวเกิดขึ้นในหัววัดรังสีซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวให้เป็นความต่างศักย์ของพัลส์ ซึ่งมีขนาดเป็นปฏิภาคโดยตรงกับพลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะตัว

เมื่อเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์จากการวัดทั้งสอง ระบบการวัดแบบดับเบิลยูดีเอสมีข้อเสียเปรียบตรงที่ การวิเคราะห์ธาตุหลายๆธาตุในตัวอย่างเดียวกันกระทำได้อ่อนข้าน้ำ หากจะต้องวิเคราะห์ธาตุต่างๆในช่วงตั้งแต่ธาตุเบา เช่น ฟลูออไรด์ จนถึง ยูเรเนียม แล้วอาจต้องใช้เวลาเป็นชั่วโมง ในขณะที่ระบบการวิเคราะห์แบบอิตีเอสจะใช้เวลาเพียง 2 - 3 นาที แต่มีข้อดีที่ความสามารถในการแจกแจงพลังงานในระบบดับเบิลยูดีเอส ดีกว่าในระบบอิตีเอสประมาณ 10 เท่า (รูปที่ 41)



รูปที่ 41 เปรียบเทียบความสามารถในการแจกแจงพลังงานระหว่างระบบอิตีเอสและระบบดับเบิลยูดีเอส (55)

ข้อยุ่งยากอีกประการหนึ่งของระบบวิเคราะห์แบบดับเบิลยูดีเอส คือ เนื่องจากผลิกวิเคราะห์แต่ละชนิดไม่สามารถตอบสนองต่อความยาวคลื่นทุกขนาดได้ ดังนั้นเพื่อให้การวิเคราะห์ธาตุครอบคลุมจำนวนธาตุให้มากที่สุด จึงจำเป็นต้องใช้ผลิกวิเคราะห์หลายชนิด เช่น STE , TAP , PET และ LiF ก็จะสามารถวิเคราะห์ธาตุได้ตั้งแต่ โบรอน(B^5) จนถึง ยูเรเนียม(U^{92})

ส่วนระบบวิเคราะห์แบบอีดีเอส เป็นระบบวิเคราะห์ธาตุที่นิยมใช้กันมากในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เพราะติดตั้งเข้ากับกล้องจุลทรรศน์ทั้งแบบส่องผ่าน(Transmission) และแบบส่องกราด(Scanning) ได้ง่าย สามารถวิเคราะห์ธาตุทุกธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ในเวลาเพียงไม่กี่นาที แต่มีข้อเสียตรงที่ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุที่เบาว่าโซเดียม(Na^{11})ได้ และหัววัดแบบกึ่งตัวนำที่ใช้วัดรังสีต้องรักษาให้มีอุณหภูมิต่ำ(ประมาณ 77 องศาเคลวิน) โดยใช้ในโตรเจนเหลวหล่อให้เย็นอยู่ตลอดเวลา ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง

การวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

(Electron Probe Microanalysis) (55,57)

ปัจจุบันกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทั้งแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope:TEM) และแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope:SEM) นิยมนำมาใช้สำหรับศึกษาวิจัยวิทยาศาสตร์ชีวภาพและวิทยาศาสตร์กายภาพ เนื่องจากมีกำลังขยายและความสามารถในการแจกแจงสูงมาก TEM ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีกำลังขยายในช่วง 100 - 45,000 เท่า มีความสามารถในการแจกแจง 0.35 นาโนเมตร SEM มีกำลังขยายตั้งแต่ 10 - 10,000 เท่า มีความสามารถในการแจกแจง 6 นาโนเมตร กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทั้งสองแบบจึงมีสมรรถนะสูงในการศึกษาลักษณะโครงสร้างภาคตัดขวางหรือพื้นผิวของตัวอย่าง ข้อดีที่นอกเหนือไปกว่านี้คือสามารถที่จะให้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ธาตุในจุลโครงสร้างด้วยการวัดรังสีเอกซ์ ไอเจอร์อิเล็กตรอนที่เกิดจากอันตรกิริยาของลำอิเล็กตรอนกับตัวอย่าง เป็นต้น

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีอุปกรณ์ประกอบเพื่อการวิเคราะห์ธาตุนี้ จัดอยู่ในประเภทกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนวิเคราะห์ (Analytic Electron Microscope) และการวิเคราะห์นี้เป็นการวิเคราะห์เฉพาะจุดหรือพื้นที่เล็ก ๆ มีชื่อในภาษาอังกฤษว่า Electron Probe Microanalysis ย่อว่า EPMA ซึ่งสามารถกระทำได้ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทั้งสองแบบ เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากเพราะสะดวกต่อการติดตั้งและใช้งาน การวัดรังสีเอกซ์สามารถกระทำได้ทั้งสองวิธี คือ แบบดับเบิลยูดีเอส และ แบบอีดีเอส กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ SEM อาจเลือกใช้แบบใดแบบหนึ่งหรือทั้งสองแบบควบคู่กันไปก็ได้ ส่วนกล้องจุลทรรศน์แบบ TEM มักจะใช้แบบอีดีเอส เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านขนาดของรูปทรงคอลัมน์ และระบบทางอิเล็กตรอนออพติคัล (column-electron optical system) ยากต่อการติดตั้งระบบการวัดแบบดับเบิลยูดีเอส และข้อสำคัญในการใช้ TEM วิเคราะห์ธาตุจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สแกน (scanning attachment) ควบคู่เข้าไปด้วย เพื่อประโยชน์ในการควบคุมสแกนของลำอิเล็กตรอนบนตัวอย่าง การติดตั้งอุปกรณ์สแกนเข้ากับ TEM ทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสามารถใช้งานได้ทั้งแบบส่องผ่าน และแบบส่องกราด จึงเรียกกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ทำงานได้ทั้งสองแบบนี้ว่า STEM หรือ Scanning and Transmission Electron Microscope

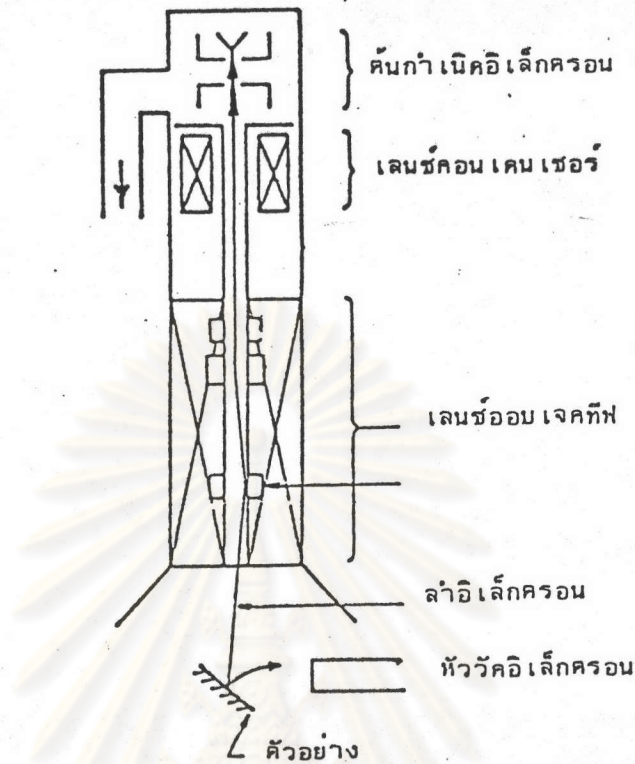
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(Scanning Electron Microscope : SEM)

SEM ใช้ประโยชน์สำหรับศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นผิวโดยการสแกนลำอิเล็กตรอนบนพื้นผิวตัวอย่าง และแสดงผลเป็นภาพของโครงสร้างพื้นผิวบนจอภาพ (Cathode Ray Tube : CRT)

ส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน คือ คอลัมน์ (รูปที่ 42) ภายในคอลัมน์ประกอบด้วยต้นกำเนิดอิเล็กตรอน (ไส้ทั้งสแตนเลสและแม่เหล็กไฟฟ้า) ขดลวดควบคุมการสแกนของลำอิเล็กตรอน ช่องใส่

ตัวอย่างและหัววัดอิเล็กตรอน(Electron detector)



รูปที่ 42 ภาพตัดขวางคอลัมน์ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (55)

อิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยจากต้นกำเนิด จะถูกเร่งด้วยศักดาไฟฟ้าสูงที่สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 - 40 Kv (หรือมากกว่าแล้วแต่แบบ) ให้วิ่งพุ่งลงมาหาตัวอย่างด้วยความเร็วสูงภายใต้ความดันต่ำใกล้สุญญากาศ โดยผ่านคอนเดนเซอร์เลนส์ (condenser lens) เพื่อปรับลำอิเล็กตรอนให้มีขนาดเล็กลงเป็นการเพิ่มความเข้มของลำอิเล็กตรอน หลังจากนั้นก็จะวิ่งผ่านออบเจกทีฟเลนส์ (objective lens) ซึ่งจะทำหน้าที่ปรับลำอิเล็กตรอนให้มีจุดโฟกัสบนผิวตัวอย่างพอดี อิเล็กตรอนที่ตกบนผิวตัวอย่างนี้เรียกว่าอิเล็กตรอนปฐมภูมิ ขนาดของลำอิเล็กตรอนบนผิวตัวอย่างอยู่ในช่วง 5 - 200 นาโนเมตร และสามารถควบคุมให้ลำอิเล็กตรอนนี้สแกนไปบนผิวตัวอย่าง หรือจะอยู่กับที่เฉพาะจุดก็ได้ ขณะที่ลำอิเล็กตรอนกระทบกับผิวตัวอย่าง อันตรกิริยาของอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับตัวอย่างจะทำให้เกิดอนุภาคชนิดอื่นๆ เช่น อิเล็กตรอน

ทุติยภูมิ (Secondary Electron : SE) หรือ อิเล็กตรอนสะท้อนกลับ (Backscattered Electron : BE) ซึ่งใช้ประโยชน์ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง และรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ธาตุ

อันตรกิริยาของอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับสสาร

เมื่อลำอิเล็กตรอนพุ่งชนสสาร อันตรกิริยาจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนชนิดต่างๆ และ รังสีเอกซ์ดังนี้

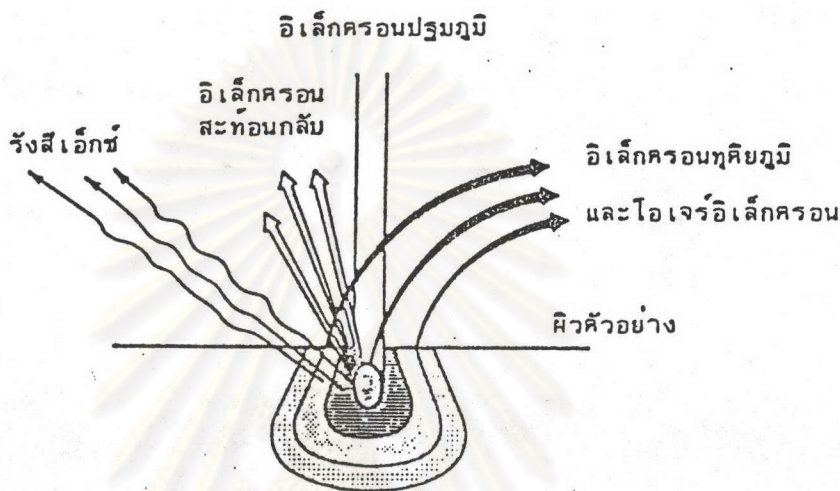
1. อิเล็กตรอนทุติยภูมิ เกิดจากอิเล็กตรอนปฐมภูมิชนกับอิเล็กตรอนในแถบนำ (conduction band) ซึ่งเกาะอยู่กับปรมาณูอย่างหลวม ทำให้อิเล็กตรอนในแถบนำหลุดออกมา พลังงานของอิเล็กตรอนทุติยภูมิอยู่ในช่วง 0 - 50 eV

2. อิเล็กตรอนสะท้อนกลับ เป็นส่วนหนึ่งของอิเล็กตรอนปฐมภูมิที่สะท้อนกลับเมื่อพุ่งชนกับปรมาณูของสสาร พลังงานของอิเล็กตรอนที่สะท้อนกลับนี้มีค่าเกือบเท่ากับพลังงานของอิเล็กตรอนปฐมภูมิ

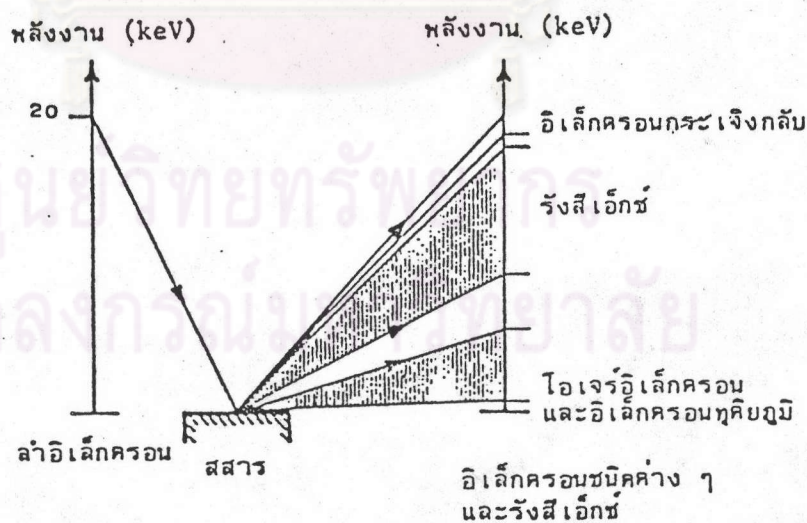
3. โอเจอร์อิเล็กตรอน หรือ อิเล็กตรอนเฉพาะตัว เกิดจากรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่เกิดจากอันตรกิริยาชนกับอิเล็กตรอนในวงโคจรนอก เช่น วงโคจร L หรือ M เป็นต้น โอเจอร์อิเล็กตรอนมีระดับพลังงานในช่วง 0.5 - 2 KeV ใช้ประโยชน์สำหรับวิเคราะห์ธาตุได้เช่นเดียวกับรังสีเอกซ์

4. อิเล็กตรอนทะลุผ่าน (Transmitted Electron) ในกรณีที่ชิ้นตัวอย่างมีลักษณะบางมาก (ประมาณ 1 ไมโครเมตร) ส่วนหนึ่งของอิเล็กตรอนปฐมภูมิจะทะลุผ่านตัวอย่างได้ อิเล็กตรอนทะลุผ่านดังกล่าวใช้ประโยชน์ในการศึกษาลักษณะโครงสร้างภาคตัดขวางของสสารในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

5. รังสีเอกซ์เฉพาะตัว เกิดจากการที่อิเล็กตรอนปฐมภูมิซึ่งมีพลังงานสูงพุ่งชนอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรที่ใกล้นิวเคลียส แล้วหลุดออกจากวงโคจรทำให้เกิดที่ว่างในวงโคจรนั้น อิเล็กตรอนในวงโคจรถัดไป(วงนอก)ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าจะกระโดดเข้ามาแทนที่ พร้อมกับปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอกซ์เรือง และเป็นรังสีเอกซ์เฉพาะตัวสำหรับแต่ละธาตุ



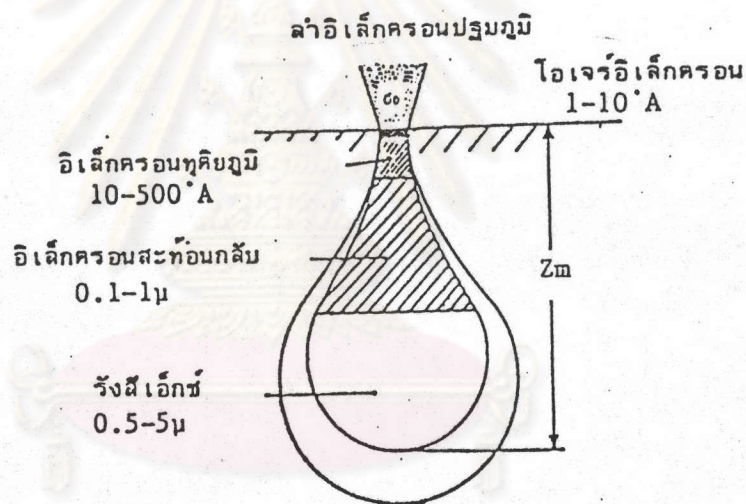
รูปที่ 43 อันตรกิริยาระหว่างลำอิเล็กตรอนกับสสาร 55



รูปที่ 44 ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนชนิดต่างๆ และรังสีเอกซ์ที่เกิดจากอันตรกิริยา 55

พลังงานของลำอิเล็กตรอน ที่ใช้กระตุ้นให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว สามารถเปลี่ยนค่าได้ โดยการเปลี่ยนขนาดของไฟฟ้าคักตาสูงที่ใช้เร่งลำอิเล็กตรอน ปกติจะใช้ในช่วง 5 - 30 กิโลโวลต์ ซึ่งผู้ใช้เครื่องจะต้องเลือกใช้ตามความเหมาะสมของตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ เช่น ตัวอย่างทางชีววิทยา อาจเลือกใช้ในช่วง 5 - 20 กิโลโวลต์ เพราะตัวอย่างประเภทนี้อาจจะเกิดเสียหายได้เมื่อให้ลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงกระทบบนผิวเป็นระยะเวลาในขณะทำการวิเคราะห์

ความลึกของการเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว



รูปที่ 45 ความลึกของการเกิดรังสีเอกซ์ จะอยู่ที่ระดับ 0.5 - 5 μ

(55)

เนื่องจากขนาดของลำอิเล็กตรอนที่ใช้ในการวิเคราะห์เฉพาะจุดมีขนาดตั้งแต่ 0.1 - 20 ไมโครเมตร และถูกเร่งด้วยไฟฟ้าคักตาสูง ลำอิเล็กตรอนจึงสามารถเจาะลึกเข้าไปในเนื้อสารได้มากขึ้น เมื่อเพิ่มขนาดไฟฟ้าคักตาสูง ความสามารถในการเจาะลึก และปริมาตรของการเกิดอันตรกิริยานี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและเลขปรมาณูของสาร

2. การวิเคราะห์ในแนวเส้น (Line analysis) เป็นการวิเคราะห์โดยสแกนลำอิเล็กตรอนเป็นเส้นในแนวนอนบนตัวอย่างตรงตำแหน่งที่สนใจ เพื่อวัดความเข้มของรังสีเอกซ์เฉพาะตัว ในกรณีที่ต้องการจะหาขอบเขตของรอยต่อ (boundaries) หรือ เฟส (phase) ของโครงสร้าง

3. การวิเคราะห์เฉพาะจุด (Point analysis) เป็นการวิเคราะห์ให้ลำอิเล็กตรอนอยู่นิ่งกับที่บนผิวตัวอย่าง เพื่อวัดปริมาณรังสีเอกซ์เฉพาะตัวตรงจุดที่ต้องการ สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ

ข้อแตกต่างระหว่างการวิเคราะห์ธาตุแบบธรรมดา และ การวิเคราะห์ธาตุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

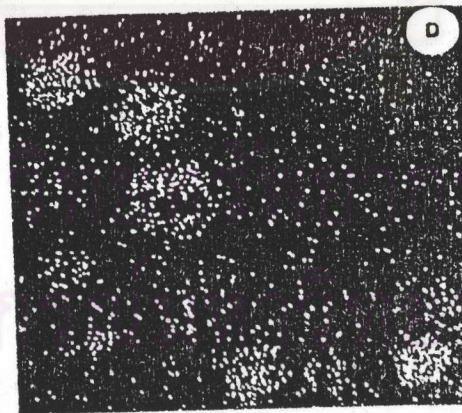
มีข้อแตกต่างคือ การวิเคราะห์แบบธรรมดาต้องใช้ขนาดของตัวอย่างโตกว่า และการวิเคราะห์แบบนี้เป็นการวิเคราะห์แบบรวม ผลที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยในตัวอย่างทั้งชิ้น ส่วนการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเป็นการวิเคราะห์เฉพาะจุดหรือพื้นที่เล็กๆ และสามารถที่จะเลือกวิเคราะห์ตรงส่วนใดของตัวอย่างก็ได้ เนื่องจากความสามารถที่จะควบคุมลำอิเล็กตรอนให้ตกกระทบบนผิวตัวอย่างได้ตามต้องการ มีความสามารถในการแจกแจงธาตุระหว่างจุดได้ประมาณ 1 ไมโครเมตร ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีขนาดเล็กมากๆ ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่าง

การวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างโดยวิธี EPMA สามารถกระทำได้ 3 วิธี
คือ

1. การวิเคราะห์เป็นพื้นที่ (area analysis) เป็นการวิเคราะห์โดยใช้ลำอิเล็กตรอนสแกนบนผิวของตัวอย่างเป็นพื้นที่เล็ก ๆ ซึ่งความกว้างของพื้นที่จะขึ้นอยู่กับกำลังขยาย เช่น ถ้าใช้กำลังขยาย 10,000 เท่า พื้นที่ที่ลำอิเล็กตรอนสแกนบนตัวอย่างเท่ากับ 100 ตารางไมโครเมตร (จอภาพ (CRT) 10 × 10 ตารางเซนติเมตร) ลักษณะการสแกนของลำอิเล็กตรอนจะสแกนจากทางซ้ายไปทางขวา และจากบนลงล่างเหมือนโทรทัศน์ รังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่พุ่งออกมาจากตัวอย่างจะเป็นจุดต่อจุด ภาพที่ได้ในลักษณะจุดของรังสีเอกซ์นี้จะบ่งบอกถึงลักษณะการกระจายของธาตุ (X-ray distribution image หรือ X-ray map) บนพื้นที่นั้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับภาพที่ได้จากอิเล็กตรอนทิวติงก็ก็สามารถที่จะทราบว่าตำแหน่งของธาตุที่สนใจนั้นมีการกระจายอยู่ในบริเวณใด และอย่างไร



รูปที่ 46 ภาพการกระจายของธาตุแคดเมียม (55)

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการวิจัย

ตัวอย่าง	กลุ่มควบคุม NaF 0.000%					กลุ่มทดลองที่ 1 NaF 0.200%			
	ปริมาณ Ca	ปริมาณ Ca	ปริมาณ Ca	MEAN		ปริมาณ Ca	ปริมาณ Ca	ปริมาณ Ca	MEAN
	พ.ท.1	พ.ท.2	พ.ท.3	MEAN		พ.ท.1	พ.ท.2	พ.ท.3	MEAN
1	40.585	42.113	42.197	41.632		37.106	36.869	37.794	37.256
2	40.141	40.888	38.564	39.864		42.407	45.030	44.789	44.075
3	38.418	40.236	40.141	39.598		42.567	41.944	43.354	42.622
4	41.876	42.678	42.197	42.250		40.331	40.054	39.543	39.976
5	40.745	40.386	39.407	40.179		43.664	43.497	42.175	43.112
6	42.094	41.900	41.099	41.698		42.942	42.685	41.628	42.418
7	40.210	40.849	40.175	40.411		42.027	42.182	42.300	42.170
8	41.213	41.893	41.772	41.626		46.008	44.871	45.400	45.426
9	41.176	42.607	42.748	42.177		42.235	42.295	40.941	41.824
10	38.702	39.955	40.477	39.711		44.179	44.024	43.471	43.891
11	43.378	42.046	42.101	42.508		43.499	42.944	41.999	42.814
12	46.304	45.137	44.899	45.447		43.300	43.626	43.331	43.419
13	42.406	41.352	42.001	41.920		46.316	45.141	45.041	45.499
14	43.818	41.854	40.221	41.964		44.124	44.904	44.370	44.466
15	44.380	43.015	43.821	43.739		41.736	43.950	43.749	43.148
16	39.958	41.074	39.751	40.261		43.050	42.618	41.676	42.448
17	41.029	40.694	40.940	40.888		41.543	42.437	42.523	42.168
18	41.381	43.562	40.746	41.896		43.265	44.271	43.839	43.792
19	39.141	39.116	40.601	39.619		44.152	44.641	43.631	44.141
20	38.214	39.243	38.723	38.727		45.921	44.050	44.551	44.841

กลุ่มทดลองที่ 2 NaF 0.050%

ปริมาณ Ca

กลุ่มทดลองที่ 3 NaF 0.002%

ปริมาณ Ca

พ.ท.1	พ.ท.2	พ.ท.3	MEAN		พ.ท.1	พ.ท.2	พ.ท.3	MEAN
40.770	41.093	40.745	40.869		38.938	39.912	40.416	39.755
40.768	41.353	42.515	41.545		40.626	40.810	40.691	40.709
40.157	40.286	41.050	40.498		39.922	40.117	39.418	39.819
40.705	41.327	39.756	40.596		40.332	40.476	40.243	40.350
40.153	40.657	40.007	40.272		41.972	41.207	42.645	41.941
41.081	40.391	40.414	40.629		40.915	40.040	40.486	40.480
40.151	40.529	40.758	40.479		39.597	39.466	39.916	39.660
40.930	41.996	40.545	41.157		39.583	39.368	39.946	39.632
41.991	42.190	44.035	42.739		40.811	40.222	40.763	40.599
40.429	39.431	39.460	39.773		38.076	39.067	38.771	38.638
40.727	40.629	39.959	40.438		41.218	40.138	40.636	40.664
40.153	40.803	40.413	40.456		41.342	41.212	39.718	40.757
39.756	39.309	38.768	39.278		40.763	41.597	39.988	40.783
40.955	41.790	42.130	41.625		41.873	41.232	41.911	41.672
42.294	42.246	42.891	42.477		40.595	42.031	40.228	40.951
41.320	41.829	42.586	41.912		41.109	40.493	41.018	40.873
40.767	40.215	40.371	40.451		40.445	42.114	40.836	41.132
41.222	41.451	41.136	41.270		42.407	42.199	41.172	41.926
44.015	42.979	43.376	43.457		42.833	42.346	43.626	42.935
41.220	39.886	40.894	40.667		40.529	41.922	42.348	41.600

ตารางที่ 9 ปริมาณธาตุแคลเซียมบนเคลือบฟันบริเวณที่สัมผัสน้ำยา
ในกลุ่มตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่ม จากการวัด 3 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ย (Mean)

กลุ่มควบคุม NaF 0.000%					กลุ่มทดลองที่ 1 NaF 0.200%				
ปริมาณ P					ปริมาณ P				
ตัวอย่าง	พ.ท.1	พ.ท.2	พ.ท.3	MEAN		พ.ท.1	พ.ท.2	พ.ท.3	MEAN
1	19.706	20.451	20.402	20.186		23.295	23.520	23.901	23.572
2	24.104	24.710	23.043	23.952		19.078	17.672	18.153	18.301
3	23.777	25.243	24.625	24.548		20.652	20.557	21.108	20.776
4	22.284	22.689	22.008	22.327		24.457	24.312	23.464	24.081
5	25.226	24.705	24.294	24.742		22.436	22.585	21.418	22.146
6	23.511	23.685	23.025	23.407		23.111	22.745	22.076	22.644
7	24.960	25.246	24.965	25.057		23.153	23.188	22.490	22.944
8	22.504	22.790	22.618	22.637		21.770	21.890	22.004	21.888
9	22.417	22.981	22.944	22.781		19.209	18.784	18.971	18.988
10	24.411	25.050	25.609	25.023		21.615	21.534	21.319	21.489
11	20.862	20.301	20.342	20.502		22.135	21.805	21.265	21.735
12	14.525	14.144	13.948	14.206		19.856	21.934	22.056	21.282
13	23.402	22.790	23.046	23.079		20.141	19.526	19.742	19.803
14	24.657	23.468	22.424	23.516		15.703	15.661	15.851	15.738
15	17.266	16.757	17.101	17.041		20.256	21.523	22.318	21.366
16	24.641	25.411	24.518	24.857		21.898	22.546	22.409	22.284
17	24.173	23.358	23.273	23.601		22.710	23.308	23.110	23.043
18	24.776	26.270	24.510	25.185		20.991	21.971	20.417	21.126
19	23.166	22.813	24.079	23.353		20.615	20.935	20.305	20.618
20	23.490	24.279	23.652	23.807		15.011	14.500	14.689	14.733

กลุ่มทดลองที่ 2 NaF 0.050%

ปริมาณ P

กลุ่มทดลองที่ 3 NaF 0.002%

ปริมาณ P

พ.ท.1	พ.ท.2	พ.ท.3	MEAN		พ.ท.1	พ.ท.2	พ.ท.3	MEAN
21.581	21.394	21.587	21.521		24.213	24.976	25.136	24.775
22.068	22.267	22.987	22.441		24.064	23.797	23.888	23.916
21.610	21.992	22.235	21.946		24.028	24.423	24.249	24.233
22.710	23.086	22.269	22.688		23.639	23.988	23.977	23.868
21.999	22.162	21.879	22.013		23.469	22.658	23.390	23.172
22.203	21.660	22.282	22.048		23.961	23.215	23.598	23.591
23.114	23.626	23.118	23.286		23.354	23.124	23.556	23.345
21.905	22.460	21.802	22.056		24.411	24.492	24.859	24.587
21.092	21.173	22.116	21.460		23.719	23.589	23.861	23.723
23.594	22.987	23.031	23.204		23.122	23.929	23.821	23.624
22.999	23.138	22.398	22.845		24.228	23.654	24.265	24.049
22.202	22.845	22.644	22.564		23.822	24.038	23.418	23.759
23.031	22.956	22.489	22.825		23.748	24.037	22.927	23.571
20.975	21.653	21.686	21.438		22.619	22.256	22.523	22.466
21.072	21.163	21.114	21.116		23.829	25.143	23.713	24.228
22.544	23.032	23.403	22.993		24.295	24.114	24.583	24.331
23.169	22.690	22.919	22.926		23.252	23.952	23.306	23.503
23.814	23.769	23.543	23.709		22.728	22.638	21.910	22.425
21.580	21.071	21.315	21.322		21.440	21.068	21.811	21.440
24.045	22.910	23.795	23.583		22.915	23.815	23.667	23.466

ตารางที่ 10 ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสบนเคลือบฟันบริเวณที่สัมผัสน้ำยา
ในกลุ่มตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่ม จากการวัด 3 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ย

ตัวอย่างที่	ปริมาณธาตุแคลเซียม			
	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลองที่1	กลุ่มทดลองที่2	กลุ่มทดลองที่3
1	41.632	37.256	40.869	39.755
2	39.864	44.075	41.545	40.709
3	39.598	42.622	40.498	39.819
4	42.250	39.976	40.596	40.350
5	40.179	43.112	40.272	41.941
6	41.698	42.418	40.629	40.480
7	40.411	42.170	40.479	39.660
8	41.626	45.426	41.157	39.632
9	42.177	41.824	42.739	40.599
10	39.711	43.891	39.773	38.638
11	42.508	42.814	40.438	40.664
12	45.447	43.419	40.456	40.757
13	41.920	45.499	39.278	40.783
14	41.964	44.466	41.625	41.672
15	43.739	43.148	42.477	40.951
16	40.261	42.448	41.912	40.873
17	40.888	42.168	40.451	41.132
18	41.896	43.792	41.270	41.926
19	39.619	44.141	43.457	42.935
20	38.727	44.841	40.667	41.600

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบปริมาณธาตุแคลเซียมบนเคลือบฟันบริเวณที่
สัมผัสน้ำยาในกลุ่มตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่ม

ตัวอย่างที่	ปริมาณธาตุฟอสฟอรัส			
	กลุ่ม ควบคุม	กลุ่ม ทดลองที่1	กลุ่ม ทดลองที่2	กลุ่ม ทดลองที่3
1	20.186	23.572	21.521	24.775
2	23.952	18.301	22.441	23.916
3	24.548	20.776	21.946	24.233
4	22.327	24.081	22.688	23.868
5	24.742	22.146	22.013	23.172
6	23.407	22.644	22.048	23.591
7	25.057	22.944	23.286	23.345
8	22.637	21.888	22.056	24.587
9	22.781	18.988	21.460	23.723
10	25.023	21.489	23.204	23.624
11	20.502	21.735	22.845	24.049
12	14.206	21.282	22.564	23.759
13	23.079	19.803	22.825	23.571
14	23.516	15.738	21.438	22.466
15	17.041	21.366	21.116	24.228
16	24.857	22.284	22.993	24.331
17	23.601	23.043	22.926	23.503
18	25.185	21.126	23.709	22.425
19	23.353	20.618	21.322	21.440
20	23.807	14.733	23.583	23.466

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบปริมาณธาตุฟอสฟอรัสบนเคลือบพื้นบริเวณที่
สัมผัสน้ำยาในกลุ่มตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่ม

กลุ่มควบคุม			
ตัวอย่างที่	Ca	P	Ca/P
1	41.632	20.186	2.062
2	39.864	23.952	1.664
3	39.598	24.548	1.613
4	42.250	22.327	1.892
5	40.179	24.724	1.625
6	41.698	23.407	1.781
7	40.411	25.057	1.613
8	41.626	22.637	1.839
9	42.177	22.781	1.851
10	39.711	25.023	1.587
11	42.508	20.502	2.073
12	45.447	14.206	3.199
13	41.920	23.079	1.816
14	41.964	23.516	1.784
15	43.739	17.041	2.567
16	40.261	24.857	1.620
17	40.888	23.601	1.732
18	41.896	25.185	1.664
19	39.619	23.353	1.697
20	38.727	23.807	1.627
\bar{X}	41.306	22.690	1.865
S.D.	1.590	2.812	0.379

ตารางที่ 14 ปริมาณธาตุแคลเซียม ฟอสฟอรัส และอัตราส่วน
ของธาตุแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสบนผิวเคลือบฟันของ
แต่ละตัวอย่างในกลุ่มควบคุม

กลุ่มทดลองที่ 1			
ตัวอย่างที่	Ca	P	Ca/P
1	37.256	23.572	1.581
2	44.075	18.301	2.408
3	42.622	20.776	2.052
4	39.976	24.081	1.660
5	43.112	22.146	1.947
6	42.418	22.644	1.873
7	42.170	22.944	1.838
8	45.426	21.888	2.075
9	41.824	18.988	2.203
10	43.891	21.489	2.042
11	42.814	21.735	1.970
12	43.419	21.282	2.040
13	45.499	19.803	2.298
14	44.466	15.738	2.825
15	43.148	21.366	2.019
16	42.448	22.284	1.905
17	42.168	23.043	1.830
18	43.792	21.126	2.073
19	44.141	20.618	2.141
20	48.841	14.733	3.315
\bar{X}	42.978	20.928	2.105
S.D.	1.884	2.421	0.379

ตารางที่ 15 ปริมาณธาตุแคลเซียม ฟอสฟอรัส และอัตราส่วนของธาตุแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสบนผิวเคลือบฟันของแต่ละตัวอย่างในกลุ่มทดลองที่ 1

กลุ่มทดลองที่ 2			
ตัวอย่างที่	Ca	P	Ca/P
1	40.869	21.521	1.899
2	41.545	22.441	1.851
3	40.498	21.946	1.845
4	40.596	22.688	1.790
5	40.272	22.013	1.829
6	40.629	22.048	1.843
7	40.479	23.286	1.738
8	41.157	22.056	1.866
9	42.739	21.460	1.992
10	39.773	23.204	1.714
11	40.438	22.845	1.770
12	40.456	22.564	1.793
13	39.278	22.825	1.721
14	41.625	21.438	1.942
15	42.477	21.116	2.012
16	41.912	22.993	1.823
17	40.451	22.926	1.764
18	41.270	23.709	1.741
19	43.457	21.322	2.038
20	40.667	23.583	1.725
\bar{X}	41.029	22.399	1.835
S.D.	1.018	0.784	0.094

ตารางที่ 16 ปริมาณธาตุแคลเซียม ฟอสฟอรัส และอัตราส่วนของธาตุแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสบนผิวเคลือบฟันของแต่ละตัวอย่างในกลุ่มทดลองที่ 2

กลุ่มทดลองที่ 3			
ตัวอย่างที่	Ca	P	Ca/P
1	39.755	24.775	1.605
2	40.709	23.916	1.702
3	39.819	24.233	1.643
4	40.350	23.868	1.691
5	41.941	23.172	1.810
6	40.480	23.591	1.716
7	39.660	23.345	1.699
8	39.632	24.587	1.612
9	40.599	23.723	1.711
10	38.638	23.624	1.636
11	40.664	24.049	1.691
12	40.757	23.759	1.715
13	40.783	23.571	1.730
14	41.672	22.466	1.855
15	40.951	24.228	1.690
16	40.873	24.331	1.680
17	41.132	23.503	1.750
18	41.926	22.425	1.870
19	42.935	21.440	2.003
20	41.600	23.466	1.773
\bar{X}	40.744	23.604	1.729
S.D.	0.983	0.786	0.098

ตารางที่ 17 ปริมาณธาตุแคลเซียม ฟอสฟอรัส และอัตราส่วน
ของธาตุแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสบนผิวเคลือบฟันของ
แต่ละตัวอย่างในกลุ่มทดลองที่ 3

ภาคผนวก ค

ผลิตภัณฑ์น้ำยาฟลูออไรด์ที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดและหน่วยงานของรัฐ

ผลิตภัณฑ์ บริษัทผู้ผลิต/บริษัท ผู้จำหน่าย	สารฟลูออไรด์ที่ใช้	วิธีใช้	สถิติการจำหน่าย
- น้ำยาฟลูออไรด์ที่ใช้ในโครงการ ทันตสาธารณสุข กองทันต- สาธารณสุข กรมอนามัย	NaF 0.2%	5-10 cc. อมบ้วนปาก ทุก 2 สัปดาห์	ถึงเดือนมกราคม 2527 มีนักเรียนในโครงการ 2,356,803 คน
- น้ำยาฟลูออไรด์ที่ผลิตใช้ใน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬา-	NaF 0.05% NaF 0.2%	อมบ้วนปากวันละ 1 ครั้ง อมบ้วนปากทุก 2 สัปดาห์	ปี 2526 15,000 cc. 2526 707,000 cc.
- Fluocaril Bi-Fluore mouth- wash Goupil/Bouneo	Na-MFP 0.137 gm. NaF 0.0133 gm. ในน้ำยา 100,000 gm.	อายุมากกว่า 7 ปี อมบ้วนปาก นาน 1-2 นาทีหลังแปรงฟัน อายุ 3-7 ปี ผสมน้ำเท่าตัว อายุต่ำกว่า 3 ปี ไม่ควรใช้	- -
- Pro-F mouth-wash สยัมทันตการ	Fluoride acidulated phosphate misturd 0.13%	3-7 ขวบ เดิมน้ำ 1-2 เท่า ต่ำกว่า 3 ขวบ ไม่ควรใช้	
- F -10 Anticaries mouth-wash บริษัทอินเตอร์เนชั่นแนล คอสเมติกส์ จำกัด	NaF 0.0022 ใน 100 cc.	1-2 ช้อนโต๊ะ อมบ้วนปาก 1 นาที วันละ 2-3 ครั้ง ห้าม รับประทาน	-
- F - 11 mouth-wash บริษัทอินเตอร์ เนชั่นแนล คอสเมติกส์ จำกัด	FaF 0.05%	10 อมบ้วนปากวันละ 1 ครั้ง ห้ามรับประทาน	-

ตารางที่ 13 ผลิตภัณฑ์น้ำยาบ้วนปากฟลูออไรด์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด
และหน่วยงานของรัฐ (51)

ประวัติผู้เขียน

นางสาว อรุณช เจนกิตติวงศ์ เกิดวันที่ 23 สิงหาคม พ.ศ. 2502
ที่กรุงเทพมหานคร จบการศึกษาปริญญาทันตแพทยศาสตรบัณฑิตจากมหาวิทยาลัย
มหิดล เมื่อปีการศึกษา 2526 เข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชา
ทันตกรรมจัดฟันของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา
2528



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย