

รายการอ้างอิง

- Anusavice, K. J., DeHoff, P. H., Gray, A., and Lee, R. B. 1988. Delayed crack development in porcelain due to incompatibility stress. *J Dent Res* 67: 1086–1091.
- Anusavice, K. J., DeHoff, P. H., Hojjatie, B., and Gray, A. 1989. Influence of tempering and contraction mismatch on crack development in ceramic surfaces. *J Dent Res* 68: 1182–1187.
- Anusavice, K. J., and Gray, A. E. 1989. Influence of framework design, contraction mismatch, and thermal history on porcelain checking in fixed partial dentures. *Dent Mater* 5: 58–63.
- Anusavice, K. J., Gray, A., and Shen, C. 1991. Influence of initial flaw size on crack growth in air-tempered porcelain. *J Dent Res* 70: 131-136.
- Anusavice, K. J., and Hojjatie, B. 1991. Effect of thermal tempering on strength and crack propagation behavior of feldspathic porcelain. *J Dent Res* 70: 1009-1013.
- Anusavice, K. J., Shen, C., Vermost, B., and Chow, B. 1992. Strengthening of porcelain by ion exchange subsequent to thermal tempering. *Dent Mater* 8: 149–152.
- Anusavice, K. J. 1995. Metal – ceramic and dental ceramics for the 21st century. In : *Proceedings of the third international symposium on titanium in dentistry*. The Biomaterials Science Unit, Faculty of Dentistry, The University of Sydney, pp. 137–155.
- Anusavice, K. J. 1996. *Philips' science of dental material*. 10th ed. Pensilvania: W. B. Saunders.
- ASTM Standard C – 1161-94, 1996. *Standard test method for flexural strength of advanced ceramics at ambient temperature*. pp. 304-310.
- Binns, D. 1983. The chemical and physical properties of dental porcelain. In J. W. McLean (ed.), *Dental ceramic: proceedings of the first international symposium on ceramics*, pp. 41-82. Chicago: Quintessence.
- Castellani, D., Baccetti, T., Giovannoni, A., and Bernardini, U. D. 1994. Resistance to fracture of metal ceramic and all-ceramic crowns. *Int J Prosthodont* 7: 149-154.

- Chiche, C. J., and Pinault, A. 1988. **Essentials of dental ceramics an artistic approach.** Year book medical
- Coffey, J. P., Anusavice, K. J., DeHoff, P. H., and Lee, R. B. 1987. Flexural failure of metal–ceramic systems : Influence of thermal contraction differences . **J Dent Res** 66: 294. Abstr. #1497
- Coffey, J. P., Anusavice, K. J., DeHoff, P. H., and Hojattie, B. 1988. Influence of on centration mismatch and cooling rate on flexural failure of PFM systems. **J Dent Res** 67: 61-65.
- Combe, E. C. 1986. **Note on dental materials.** 5th ed. Edinburgh: Longman group.
- Craig, R. G. 1997. **Restorative dental materials.** 10th ed. Missouri: Mosby-Year Book.
- Craig, R. G., Powers, J. M., and Wataha, J. C. 2000. **Dental materials properties and manipulation.** 7th ed. Mosby-Year Book.
- Cullity, B. D. 1956. **Elements of x-ray diffraction.** Reading, Massachusetts :Addison – Wesley.
- Daculsi, G., Kerebel, B., and Kerebel, L. M. 1979. Mechanisms of acid dissolution of biological and Synthetic apatite crystals at the lattice pattern level. **Caries Res** 13: 277-289.
- DeHoff, P. H., and Anusavice, K. J. 1989. Tempering stresses in feldspathic porcelain. **J Dent Res** 68: 134-138.
- Denry, I. L., Mackert, J. R., Jr., Holloway, J. A., and Rosenstiel, S. F. 1996. Effect of cubic leucite stabilization on the flexural strength of feldspathic dental porcelain. **J Dent Res** 75: 1928–1935.
- Dong, J. K., Luthy, H., Wohlwend, A., and Scharer, P. 1992. Heat – pressed ceramics: technology and strength. **Int J Prosthodont** 5: 9–16.
- Dunn, B., Levy, M. N., and Reisbick, M. H. 1977. Improving the fracture resistance of dental ceramic. **J Dent Res** 56: 1209-1213.
- Fairhurst, C. W., Anusavice, K. J., Hashinger, D. T., Ringle, R. D., and Twiggs, S. W. 1980. Thermal expansion of dental alloys and porcelain . **J Biomed Mater Res** 14: 435-446.
- Fairhurst, C. W., Hashinger, D. T., and Twiggs, S. W. 1989. The effect of thermal history on porcelain expansion behavior. **J Dent Res** 68: 1313-1315.

- Giordano, R. A. 1996. Dental ceramic restoration systems. *Compend Contin Educ Dent* 17 (8): 779-794.
- Hojjatie, B., and Anusavice, K. J. 1993. Effect of initial temperature and tempering medium on tempering of dental porcelain. *J Dent Res* 72: 566-571.
- Klug, H. P., and Alexander, L. E. 1974. **X-ray diffraction procedures for polycrystalline and amorphous materials**. New York: John Wiley & Sons.
- Mackert, J. R., Jr., Butts, M. B., Beadreau, G. M., Fairhurst, C. W., and Beauchamp, R. H. 1985. Ultrathinning dental porcelain for transmitted light microscopy. *J Dent Res* 64:1170-1175.
- Mackert, J. R., Jr., Butts, M. B., and Fairhurst, C. W. 1986a. The effect of the leucite transformation on dental porcelain expansion. *Dent Mater* 2: 32-36.
- Mackert, J. R., Jr., Butts, M. B., Morena, R., and Fairhurst, C. W. 1986b. Phase changes in a leucite-containing dental porcelain frit. *J Am Ceram Soc* 69: 69-72.
- Mackert, J. R., Jr. 1988. Effects of thermally induced changes on porcelain metal compatibility. In J. D. Preston (ed.), *Proceeding of the fourth international symposium on ceramics*, pp. 53-64. Chicago: Quintessence.
- Mackert, J. R., Jr., and Evans, A. C. 1991a. Quantitative x-ray diffraction determination of leucite thermal instability in dental porcelains. *J Am Ceram Soc* 74: 450-453.
- Mackert, J. R., Jr., and Evans, A. L. 1991b. Effect of cooling rate on leucite volume fraction in dental porcelains. *J Dent Res* 70: 137-139.
- Mackert, J. R., Jr., and Evans, A. L. 1993. Multiple firing effect on microcrack density in dental porcelain. *J Dent Res* 72: 263.
- Mackert, J. R., Jr., Rueggeberg, F. A., Lockwood, P. E., Evans, A. L., and Thompson, W. O. 1994. Isothermal anneal effect on microcrack density around leucite particles in dental porcelain. *J Dent Res* 73: 1221-1227.
- Mackert, J. R., Jr., Twiggs, S. W., and Evans, A. L. 1995. Isothermal anneal effect on leucite content in dental porcelains. *J Dent Res* 74: 1259-1265.
- Mackert, J. R., Jr., Khajotia, S. S., Russell, C. M., and Williams, A. L. 1996. Potential interference of leucite crystallization during porcelain thermal expansion measurement. *Dent Mater* 12: 8-12.

- Mackert, J. R., Jr., and Williams, A. L. 1996. Microcracks in dental porcelain and their behavior during multiple firing. *J Dent Res* 75: 1484-1490.
- McCabe, J. F. 1990. *Applied dental materials*. 7th ed. London: Blackwell Scientific Publication.
- McLean, J. W. 1990. The failed restoration: causes of failure and how to prevent them. *Int Dent J* 40: 354-358.
- McLean, J. W., and Hughes, T. H. 1965. The reinforcement of dental porcelain with ceramic oxides. *Br Dent J* 131: 251-267.
- O'Brien, W. J. 1997. *Dental materials and their selection*. 2nd ed. Chicago: Quintessence.
- Prasad, A., Day, G. P., and Tobey, R. G. 1988. New dimension in the evaluation of porcelain-alloy compatibility. In J. D. Preston (ed.), *Perspectives in dental ceramic: proceeding of the fourth international symposium on ceramics*, pp. 65-74. Chicago: Quintessence.
- Roulet, J. F. 1987. A material scientist's view: assessment of wear and marginal integrity. *Quintessence Int* 18: 543-552.
- Smyth, M., and Schulman, A. 1981. The effect of leucite crystals on the physical properties of dental porcelain. *J Dent Res* 60: 406.
- Southan, D. E. 1970. Strengthening modern dental porcelain by ion exchange. *Aust Dent J* 15: 507-510.
- Twiggs, S. W., Searle, J. R., Ringle, R. D., and Fairhurst, C. W. 1989. A rapid heating and cooling rate dilatometer for measuring thermal expansion in dental porcelain. *J Dent Res* 68: 1316-1318.
- Van Noort, R. 1994. *Introduction of dental materials*. London: Mosby
- Vergano, P. J., Hill, D. C., and Uhlmann, D. R. 1967. Thermal expansion of feldspar glasses. *J Am Ceram Soc* 50: 59-60.
- Yamamoto, M. 1985. *Metal-ceramic: Principles and methods of Makoto Yamamoto*. Chicago: Quintessence.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์โดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอกซ์เรย์

รังสีเอกซ์เรย์ ค้นพบในปี 1895 โดยนักฟิสิกส์ชื่อ German Roentgen เป็นลำแสงที่เดินทางเป็นเส้นตรง ไม่สามารถมองเห็นได้ และมีผลต่อฟิล์มถ่ายภาพ ซึ่งลำแสงจะมีอำนาจในการทะลุทะลวง (penetrating) มากกว่าแสงโดยทั่วไปและสามารถผ่านร่างกายมนุษย์ โลหะที่มีชั้นหนา และวัสดุที่มีความทึบแสง มักใช้ในการศึกษาโครงสร้างภายในของวัสดุที่ทึบแสง โดยวางแหล่งกำเนิดแสงที่ด้านหนึ่งของวัตถุและวางฟิล์มไว้อีกด้านหนึ่ง จะได้ภาพเงาของวัตถุ หรือภาพถ่ายรังสี (radiograph) ในปี 1912 เริ่มมีเข้าใจในธรรมชาติของรังสีชนิดนี้และในปีนั้น มีการค้นพบปรากฏการณ์การกระเจิงของรังสี (phenomenon of x-ray diffraction) โดยผลึก และนำมาใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างของวัตถุโดยละเอียด

ปัจจุบัน รังสีเอกซ์เรย์ คือ การแพร่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) คล้ายกับแสงแต่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า รังสีเอกซ์เรย์ที่ใช้ในการการวิเคราะห์การกระเจิงมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.5 - 2.5 Angstrom (1 Angstrom เท่ากับ 10^{-10} cm) ขณะที่ความยาวคลื่นที่ตามองเห็นเท่ากับ 6000 Angstrom ซึ่งการแพร่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคือการนำพาพลังงานของลำแสงเอกซ์เรย์ และมีอัตราการนำพาพลังงานผ่านหน่วยพื้นที่และตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของความยาวคลื่น เรียกว่า ความเข้มของแสง (intensity, I)

รังสีเอกซ์เรย์สามารถนำมาในการศึกษาลักษณะรูปทรงเรขาคณิต และโครงสร้างของผลึกโดยอาศัยคุณสมบัติการกระเจิงของรังสีเมื่อรังสีตกกระทบผลึก ซึ่งผลึกหมายถึง ของแข็งที่ประกอบด้วยการเรียงตัวของอะตอมที่มีรูปแบบสามมิติ แต่ในของแข็งไม่ใช่มีแต่ผลึก อาจมีบางส่วนที่มีรูปร่างไม่แน่นอน (amorphous) เช่น แก้ว ซึ่งมีการเรียงตัวของอะตอมภายในไม่สม่ำเสมอ

เมื่อพิจารณาโครงสร้างของผลึกเพื่อความเข้าใจจึงทำการสมมติจุดต่างๆ ขึ้นแทนอะตอมในผลึก มีรูปร่างคล้ายโครงตาข่ายสามมิติเรียกว่า โครงสร้างมิติอะตอม (lattices) ซึ่งภายในโครงสร้างนี้จะแบ่งออกเป็นเซลล์ต่างๆ เรียกว่า หน่วยเซลล์ (unit cell) และในแต่ละหน่วยเซลล์จะประกอบด้วย เวกเตอร์ เรียกว่า แกนผลึก (crystallographic axes) อยู่ในลักษณะของความยาว (a,b,c) และมุมระหว่างแกน (α, β, δ) ความยาวและมุมนี้จะป็นค่าตัวแปรโครงสร้างมิติอะตอม (lattice constants or lattices parameters) ทำให้เกิดเป็นระนาบ 3 ระนาบ ซึ่งมีความยาวและมุมเป็นตัวกำหนดรูปร่างของหน่วยเซลล์ และสามารถใช้การกระเจิงของรังสีเอกซ์เรย์ในการกำหนดความสัมพันธ์ของวิฎภาค ระหว่างสองความยาวคลื่นหรือมากกว่าได้

ลำแสงของรังสีเอกซ์เรย์จะมีลักษณะเป็นความยาวคลื่นของแสง ถ้าสมมติว่าลำแสงนี้เป็นระนาบคลื่นทางเดียว (plane-polarized) เราสามารถเขียนขั้วแสดง (electric field) ด้วยเวกเตอร์ที่มีทิศทางขึ้นและลงในระนาบ แสดงขนาดของคลื่นแสง ซึ่งถ้าลำแสงใดที่มีขนาดความยาวคลื่นเท่ากันและมี

ทิศทางไปทางเดียวกันในทุกๆ จุดที่วัดตามทิศทางตามการเดินทางของความยาวคลื่นแสง แสดงว่าอยู่ในวัฏภาค (in phase) เดียวกัน แต่ในวัฏภาคเดียวกันอาจจะลักษณะของเส้นความยาวคลื่นที่แตกต่างกันอาจมีลักษณะเป็นเส้นตรง และถูกกระทำโดยบางวิธีจนมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง (curve) แต่ถ้ามีความยาวคลื่นไม่เท่ากัน ก็จะอยู่นอกวัฏภาค (out of phase) สามารถสรุปได้ว่า ถ้ามีความแตกต่างของความยาว ทิศทางการเดินทางของคลื่นจะทำให้เกิดความแตกต่างของวัฏภาคขึ้น และการที่มีวัฏภาคที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของความยาวคลื่น

ความแตกต่างของความยาวของการเดินทางของลำแสงที่แตกต่างกันเกิดจากลำแสงของเอกซเรย์มีการกระเจิงจากการเข้าชนกับผลึก ในส่วนต่างของผลึกจะมีอะตอมที่เรียงตัวเป็นชุดในระนาบที่ขนานกัน (set of parallel planes) คือ A, B, C, D, ..., ถ้าให้ระยะระหว่างระนาบเป็น d'

สมมติว่าถ้าลำแสงของเอกซเรย์เป็นลำแสงขนานและมีความยาวคลื่นแบบโมนอคโรมาติก เมื่อตกกระทบ (incident) บนผลึกโดยมีมุมตกกระทบคือ มุม θ (Bragg angle) ที่วัดระหว่างลำแสงที่ตกกระทบกับระนาบของผลึกที่พิจารณา

ซึ่งการพิจารณาลำแสงของเอกซเรย์ที่ตกกระทบบนผลึกและถูกกระเจิงพบว่า ลำแสงที่ถูกกระเจิงหมายถึง ลำแสงที่เกิดการการกระจาย (scattered rays) และเกิดการเสริมร่วมกัน (reinforcing) ขึ้น ดังนั้น การกระเจิงของแสง หมายถึง ปรากฏการณ์การกระจายที่ไม่ใช่การเกิดของลำแสงใหม่แต่เกิดจากการกระทบของรังสีเอกซเรย์กับอะตอม ซึ่งอะตอมจะทำให้รังสีตกกระทบของเอกซเรย์เกิดการกระจายไปในทุกทิศทางและในบางทิศทางการกระจายของลำแสงจะเกิดวัฏภาคที่สมบูรณ์และเกิดการเสริมร่วมกันทำให้เกิดเป็นลำแสงที่กระเจิงขึ้น ดังนั้น ทำให้มีเพียงลำแสงที่กระเจิงเพียงลำแสงเดียว ซึ่งมีมุมของการสะท้อน (angle θ of refraction) เท่ากับมุมของการตกกระทบ (angle θ of incidence)

จากการสมมติระนาบขึ้นเป็น ระนาบที่หนึ่งและระนาบที่สองของอะตอมที่เกิดจากการเรียงตัวของอะตอมในผลึก เมื่อมีลำแสง 1 และ $1a$ เป็นลำแสงตกกระทบเข้าชนกับอะตอม K และ P ในระนาบแรกของอะตอมและเกิดการกระจัดกระจายในทุกทิศทาง มีเพียงทิศทาง $1'$ และ $1a'$ ที่มีลำแสงของการกระจายที่สมบูรณ์ในวัฏภาคและเกิดการเสริมร่วมกัน ลำแสงที่กระจัดกระจายโดยทุกอะตอมในระนาบแรกในทิศทางที่ขนานกับ $1'$ จะอยู่ในวัฏภาคเดียวกันและช่วยเสริมกันในลำแสงที่กระเจิง และในทุกระนาบที่ต่างกันยังพบว่า มีการเสริมร่วมกันของลำแสงที่กระจายโดยอะตอมที่อยู่คนละระนาบ เช่น ลำแสง 1 และ 2 กระทับกับ อะตอม K และ L ที่อยู่คนละระนาบและมีทิศทางของลำแสงที่แตกต่างกันคือ $1K1'$ และ $2L2'$ เกิดเป็นสมการของเบอร์ก์คือ $n\lambda = 2d' \sin\theta$ จากกฎของเบอร์ก์ (Bragg law) n คือ ลำดับของการสะท้อน

ลำแสงที่เกิดจากการกระจายโดยทุกอะตอมในทุกระนาบที่อยู่ในวัฏภาคเดียวกันและช่วยเสริมร่วมกันเรียกว่า การขัดขวางแบบเสริม (constructive interference) และเกิดเป็นลำแสงที่กระเจิงในทิศทางที่แสดง ส่วนลำแสงการกระจายในทิศทางอื่นที่อยู่นอกวัฏภาคจะเป็นการขัดขวางแบบทำลาย

(destructive interference) ลำแสงการกระเจิงค่อนข้างจะมีความเข้มสูงคล้ายการรวมของทุกลำแสงที่กระจัดกระจายในทิศทางเดียวกันเนื่องจาก เกิดการเสริมกันขึ้น แต่มีความเข้มน้อยกว่าลำแสงที่ตกกระทบ เพราะว่าอะตอมจะทำให้พลังงานบางส่วนที่ตกกระทบเกิดการกระจาย

โดยสรุป การกระเจิงของลำแสง คือปรากฏการณ์การกระจัดกระจายของลำแสงที่กระทบกับอะตอมหลายๆ อะตอมมารวมกันและมีทิศทางเดียวกัน เนื่องจากอะตอมเรียงตัวอยู่ในโครงสร้างมิติอะตอม ลำแสงที่กระจายโดยอะตอมจะมีความสัมพันธ์กับวิฎภาคระหว่างอะตอม

จากกฎของเบก์พบว่า ลำแสงที่ตกกระทบบนระนาบที่สะท้อนและลำแสงการกระเจิงจะเป็นระนาบร่วมกัน (coplanar) และมุมระหว่างลำแสงการกระเจิงและลำแสงส่องผ่านจะเท่ากับ 2θ ซึ่งคือมุมของการกระเจิง ที่ใช้วัดในการทดลองมากกว่า θ และจากสมการของเบก์พบว่า $\frac{n\lambda}{2d'} = \sin\theta < 1$ ดังนั้น $n\lambda$ ต้องน้อยกว่า $2d'$ สำหรับการกระเจิงของแสงมีค่า n น้อยที่สุดคือ 1 (ถ้า $n = 0$ ลำแสงของการกระเจิงจะมีทิศทางเดียวกันลำแสงการส่องผ่าน) ดังนั้นสภาพของการกระเจิงเมื่อสังเกตที่มุม 2θ คือ $\lambda < 2d'$ และจากสมการของเบก์ อาจเขียนได้เป็น $\lambda = \frac{2d'}{n} \sin\theta$ การพิจารณาการสะท้อนของระนาบแรก ช่องว่างที่ระยะ $1/n$ คือ ช่องว่างก่อนหน้านี้ ซึ่งตามที่เป็นจริงจะได้ค่า $d'/n = d$ และเขียนสมการของเบก์ ใหม่ในรูปของสมการคือ $\lambda = 2d \sin\theta$

การศึกษาหลักโดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอกซเรย์ เป็นวิธีการวิเคราะห์สารทางเคมี (chemical analysis) ประโยชน์ของการวิเคราะห์โดยวิธีนี้คือ ทำให้ทราบสารที่แท้จริงในตัวอย่างทดสอบ ไม่ใช่อยู่ในรูปของธาตุในสารประกอบ เช่น ถ้าตัวอย่างทดสอบประกอบด้วยสารประกอบ A_xB_y วิธีการวิเคราะห์โดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอกซเรย์ จะทำให้ทราบว่ามีการประกอบ A_xB_y ขณะที่การวิเคราะห์ทางเคมีแบบลำดับ (ordinary chemical analysis) จะแสดงเพียงธาตุ A และ B และถ้าในตัวอย่างทดสอบประกอบด้วย A_xB_y และ A_xB_{2y} ก็แสดงสารประกอบเหล่านี้ออกมา ซึ่งถ้าเป็นการวิเคราะห์ทางเคมีแบบลำดับก็จะแสดงเพียงธาตุ A และ B

ประโยชน์อีกประการคือ การวิเคราะห์แบบนี้สามารถใช้แยกแยะความแตกต่างที่มีการเปลี่ยนแปลง (allotropic modification) ของสารตัวเดียวกัน เช่น ในซิลิกาจะมีรูปร่างที่ไม่แน่นอนหนึ่งรูปแบบ และมีรูปแบบที่เปลี่ยนแปลงเป็นผลึกหกเหลี่ยม ซึ่งรูปแบบของการกระเจิงของรังสีเอกซเรย์ จะแสดงทั้งหมดเจ็ดรูปแบบ

การวิเคราะห์แบบนี้ยังใช้ประโยชน์ในการดูสถานะทางเคมีของการรวมตัวของธาตุที่เกี่ยวข้องหรือวิฎภาคเฉพาะที่สารแสดง นอกจากนี้ถ้าเปรียบเทียบการวิเคราะห์แบบนี้กับการวิเคราะห์ทางเคมีแบบลำดับ พบว่ามีความรวดเร็วกว่าและต้องการขนาดตัวอย่างเล็กมากและไม่ทำลายตัวอย่างทดสอบ

วิธีการวิเคราะห์การกระเจิงของรังสีสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่จะกล่าวในที่นี้คือ วิธีการวิเคราะห์แบบผง (powder method) แนะนำโดย Debye และ Scherrer ในปี 1916 และในปี 1917 โดย

Hull เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด สามารถให้รายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของวัสดุที่ตรวจสอบโดยมีพื้นฐานคือ การใช้การกระเจิงของรังสีเอกซ์เรย์แบบโมโนโครมาติกโดยใช้ตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผง

วิธีการวิเคราะห์แบบผง ผลึกที่ตรวจสอบจะถูกบดให้เป็นผงละเอียดแล้วใช้ลำแสงเอกซ์เรย์แบบโมโนโครมาติกในการทดสอบ แต่ละอนุภาคของผงคือ ผลึกขนาดเล็กที่ทิศทางของลำแสงตกกระทบที่ไม่แน่นอน บางอนุภาคจะมีทิศทางถูกต้องคือ ระนาบ (100) สามารถสะท้อนลำแสงตกกระทบ ส่วนอีกอนุภาคจะมีทิศทางที่ถูกต้องสำหรับการสะท้อนระนาบ (110) ผลจากทุกๆ ระนาบของโครงสร้างมีดิอะตอมจะทำให้เกิดการสะท้อนขึ้น

กำหนดระนาบหนึ่งที่มีเกิดการการกระเจิงของลำแสง ถ้าให้ระนาบนี้หมุนรอบลำแสงตกกระทบโดยใช้ลำแสงนี้เป็นแกนกลาง มีมุม θ เป็นมุมสะท้อน มีค่าคงที่และลำแสงสะท้อนจะเดินทางเป็นเส้นโค้งบนผิวของรูปกรวยโดยมีแกนของรูปกรวยจะเป็นลำแสงของการส่งผ่าน ซึ่งกรวยนั้นมีมุมระหว่างแกนกลางที่เป็นเส้นของมุมตกกระทบหรือมุมส่งผ่านของแสง ที่ทำกับพื้นผิวของกรวยเท่ากับ 2θ แต่ละกรวยของรังสีที่กระเจิงคือ ระนาบโครงสร้างมีดิอะตอม (lattice planes) ซึ่งจะแสดงผลออกเป็นเส้นโค้งที่ไม่ฟิล์ม

วิธีการนี้เหมาะสำหรับทดสอบวัสดุที่มีหลายๆ ผลึก (polycrystalline) และเหมาะสำหรับกำหนดค่าตัวแปรโครงสร้างมีดิอะตอม โดยมีความแม่นยำสูง และใช้ในการกำหนดวิภูภาค (identification phases) อาจจะมีวิภูภาคเดียว หรือหลายๆ วิภูภาค เช่น โลหะผสมที่มีหลายวิภูภาค ผลิตภัณฑ์ที่มีการกัดกร่อน

การวิเคราะห์การกระเจิงของรังสีเอกซ์เรย์มีสองรูปแบบคือการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (qualitative analysis) ซึ่งเป็นการแสดงรูปแบบการแพร่กระจายรังสีของวิภูภาคของสารแต่ละชนิดมีลักษณะคล้ายคลึงกับลายนิ้วมือของสารนั้นๆ โดยนำรูปแบบการกระเจิงของสารที่ไม่ทราบว่าเป็นสารอะไรนำไปเปรียบเทียบกับรูปแบบการกระเจิงของสารที่ทราบรูปแบบการกระจายแล้วเก็บเป็นแฟ้มข้อมูลไว้ เช่น ใน ASTM (American Society for Test Materials) โดยการเปรียบเทียบให้มีรูปแบบที่เหมือนกัน จึงทำให้ทราบได้ว่าสารนั้นเป็นสารอะไร

อีกวิธีคือการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ซึ่งอาศัยความเข้มของเส้น (intensities) แสดงการกระเจิงของรังสีของสารประกอบหนึ่งในสารผสม ซึ่งขึ้นอยู่กับสัดส่วนความเข้มข้น (concentration) ของสารประกอบนั้นในตัวอย่าง แต่ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของเส้นแสดงการแพร่กระจายรังสีและความเข้มข้นของสารมักจะไม่เป็นเส้นตรงเนื่องจากความเข้มของการแพร่กระจายรังสียังขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึม (absorption coefficient) ของสารผสมและมีความผันแปรกับค่าความเข้มข้นของสารนั้นด้วย ซึ่งการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของเส้นแสดงการกระเจิงของรังสีและความเข้มข้นของสารโดยใช้เครื่องวัดการแพร่กระจายของรังสี (diffractometer)

วิธีที่ใช้แก้ไขความผันแปรที่เกิดจากความแตกต่างของการดูดซึมของสารในสารผสมมีสองวิธีคือ วิธีการเปรียบเทียบโดยตรง (direct comparison method) จะใช้กับตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นก้อนและเป็นโพลิสไตรอลลิน อีกวิธีหนึ่งคือ วิธีใช้ตัวมาตรฐานภายใน (internal standard method) โดยใช้เส้นแสดงการแพร่กระจายของรังสีของภูมิภาคที่กำหนดเปรียบเทียบกับเส้นแสดงของสารที่เป็นตัวมาตรฐานที่ผสมกับสารที่รู้สัดส่วนที่แน่นอน วิธีการนี้จะใช้กับตัวอย่างที่อยู่ในรูปลักษณะเป็นผง

ตัวอย่างของวิธีการใช้ตัวมาตรฐานภายใน เช่น การกำหนดจำนวนของภูมิภาค A ในส่วนผสมของภูมิภาค A B C ฯลฯ ซึ่งความสัมพันธ์ของภูมิภาคอื่นในตัวอย่างหนึ่งอาจจะแตกต่างกับอีกตัวอย่างหนึ่ง เมื่อทราบจำนวนของตัวอย่างเริ่มต้นและนำมาผสมกับสารที่ใช้เป็นมาตรฐานทำให้เกิดตัวอย่างผสมใหม่ขึ้น

ต่อจากนั้นหาค่าอัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายรังสีโดยนำค่าความเข้มของเส้นภูมิภาค A มาหารด้วยความเข้มของเส้นแสดงของตัวมาตรฐาน ซึ่งค่าอัตราส่วนของความเข้มที่ได้จะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับสัดส่วนโดยน้ำหนักของสาร A ในตัวอย่างเริ่มต้น และทำการวัดขนาดความชันของกราฟ (calibration curve) ที่เตรียมจากตัวอย่างที่สร้างขึ้น ซึ่งรู้ความเข้มข้นของสาร A และความเข้มของตัวมาตรฐาน การหาค่าความเข้มข้นของ A ในตัวอย่างที่ไม่รู้ได้โดยวัดจากอัตราส่วนความเข้มของเส้นแสดงสาร A และความเข้มของตัวมาตรฐานในตัวอย่างผสมที่มีสารที่ไม่รู้ A อยู่ เมื่อนำมาคำนวณ จะทำให้ทราบความเข้มข้นของ A ในตัวอย่างที่ไม่ทราบได้ (Cullity, 1956)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS Release 7.5.2

MICROSOFT Window 98

X-ray diffraction

Descriptive Statistics

FACT		Mean	Std. Deviation	N
XRAY	cool=1,por=1	15.82540	1.19689	5
	cool=1,por=2	20.09080	1.15016	5
	cool=1,por=3	20.19600	2.04270	5
	cool=1,por=4	8.27760	1.83448	5
	cool=2,por=1	18.74980	2.07812	5
	cool=2,por=2	19.69500	1.20223	5
	cool=2,por=3	21.32920	1.45712	5
	cool=2,por=4	8.37300	2.47062	5
	Total	16.56710	5.29450	40

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

	F	df1	df2	Sig.
XRAY	1.118	7	32	.376

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept+FACT

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: XRAY

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power ^a
Corrected Model	996.101 ^b	7	142.300	46.878	.000	328.144	1.000
Intercept	10978.752	1	10978.752	3616.718	.000	3616.718	1.000
FACT	996.101	7	142.300	46.878	.000	328.144	1.000
Error	97.138	32	3.036				
Total	12071.990	40					
Corrected Total	1093.238	39					

a. Computed using alpha = .05

b. R Squared = .911 (Adjusted R Squared = .892)

Estimated Marginal Means

FACT

Dependent Variable: XRAY

FACT	Mean	Std. Error
cool=1,por=1	15.82540	.779
cool=1,por=2	20.09080	.779
cool=1,por=3	20.19600	.779
cool=1,por=4	8.27760	.779
cool=2,por=1	18.74980	.779
cool=2,por=2	19.69500	.779
cool=2,por=3	21.32920	.779
cool=2,por=4	8.37300	.779

Homogeneous Subsets

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

XRAY

Tukey HSD^{a,b}

FACT	N	Subset		
		1	2	3
cool=1,por=4	5	8.27760		
cool=2,por=4	5	8.37300		
cool=1,por=1	5		15.82540	
cool=2,por=1	5		18.74980	18.74980
cool=2,por=2	5			19.69500
cool=1,por=2	5			20.09080
cool=1,por=3	5			20.19600
cool=2,por=3	5			21.32920
Sig.		1.000	.174	.304

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 3.036.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

NPar Tests

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
XRAY	40	16.56710	5.29450	5.025	23.610

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		XRAY
N		40
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	16.56710
	Std. Deviation	5.29450
Most Extreme Differences	Absolute	.196
	Positive	.116
	Negative	-.196
Kolmogorov-Smirnov Z		1.243
Asymp. Sig. (2-tailed)		.091

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: XRAY

Tukey HSD

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) FACT	(J) FACT				Lower Bound	Upper Bound
cool=1,por=1	cool=1,por=2	-4.26540(*)	1.102	.010	-7.83486	-.69594
	cool=1,por=3	-4.37060(*)	1.102	.008	-7.94006	-.80114
	cool=1,por=4	7.54780(*)	1.102	.000	3.97834	11.11726
	cool=2,por=1	-2.92440	1.102	.174	-6.49386	.64506
	cool=2,por=2	-3.86960(*)	1.102	.026	-7.43906	-.30014
	cool=2,por=3	-5.50380(*)	1.102	.000	-9.07326	-1.93434
	cool=2,por=4	7.45240(*)	1.102	.000	3.88294	11.02186
cool=1,por=2	cool=1,por=1	4.26540(*)	1.102	.010	.69594	7.83486
	cool=1,por=3	-.10520	1.102	1.000	-3.67466	3.46426

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) FACT	(J) FACT				Lower Bound	Upper Bound
	cool=1,por=4	11.81320(*)	1.102	.000	8.24374	15.38266
	cool=2,por=1	1.34100	1.102	.921	-2.22846	4.91046
	cool=2,por=2	.39580	1.102	1.000	-3.17366	3.96526
	cool=2,por=3	-1.23840	1.102	.947	-4.80786	2.33106
	cool=2,por=4	11.71780(*)	1.102	.000	8.14834	15.28726
cool=1,por=3	cool=1,por=1	4.37060(*)	1.102	.008	.80114	7.94006
	cool=1,por=2	.10520	1.102	1.000	-3.46426	3.67466
	cool=1,por=4	11.91840(*)	1.102	.000	8.34894	15.48786
	cool=2,por=1	1.44620	1.102	.887	-2.12326	5.01566
	cool=2,por=2	.50100	1.102	1.000	-3.06846	4.07046
	cool=2,por=3	-1.13320	1.102	.966	-4.70266	2.43626
	cool=2,por=4	11.82300(*)	1.102	.000	8.25354	15.39246
cool=1,por=4	cool=1,por=1	-7.54780(*)	1.102	.000	-11.11726	-3.97834
	cool=1,por=2	-11.81320(*)	1.102	.000	-15.38266	-8.24374
	cool=1,por=3	-11.91840(*)	1.102	.000	-15.48786	-8.34894
	cool=2,por=1	-10.47220(*)	1.102	.000	-14.04166	-6.90274
	cool=2,por=2	-11.41740(*)	1.102	.000	-14.98686	-7.84794
	cool=2,por=3	-13.05160(*)	1.102	.000	-16.62106	-9.48214
	cool=2,por=4	-9.54000E-02	1.102	1.000	-3.66486	3.47406
cool=2,por=1	cool=1,por=1	2.92440	1.102	.174	-.64506	6.49386
	cool=1,por=2	-1.34100	1.102	.921	-4.91046	2.22846
	cool=1,por=3	-1.44620	1.102	.887	-5.01566	2.12326
	cool=1,por=4	10.47220(*)	1.102	.000	6.90274	14.04166
	cool=2,por=2	-.94520	1.102	.988	-4.51466	2.62426
	cool=2,por=3	-2.57940	1.102	.304	-6.14886	.99006
	cool=2,por=4	10.37680(*)	1.102	.000	6.80734	13.94626

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) FACT	(J) FACT				Lower Bound	Upper Bound
cool=2,por=2	cool=1,por=1	3.86960(*)	1.102	.026	.30014	7.43906
	cool=1,por=2	-.39580	1.102	1.000	-3.96526	3.17366
	cool=1,por=3	-.50100	1.102	1.000	-4.07046	3.06846
	cool=1,por=4	11.41740(*)	1.102	.000	7.84794	14.98686
	cool=2,por=1	.94520	1.102	.988	-2.62426	4.51466
	cool=2,por=3	-1.63420	1.102	.811	-5.20366	1.93526
	cool=2,por=4	11.32200(*)	1.102	.000	7.75254	14.89146
cool=2,por=3	cool=1,por=1	5.50380(*)	1.102	.000	1.93434	9.07326
	cool=1,por=2	1.23840	1.102	.947	-2.33106	4.80786
	cool=1,por=3	1.13320	1.102	.966	-2.43626	4.70266
	cool=1,por=4	13.05160(*)	1.102	.000	9.48214	16.62106
	cool=2,por=1	2.57940	1.102	.304	-.99006	6.14886
	cool=2,por=2	1.63420	1.102	.811	-1.93526	5.20366
	cool=2,por=4	12.95620(*)	1.102	.000	9.38674	16.52566
cool=2,por=4	cool=1,por=1	-7.45240(*)	1.102	.000	-11.02186	-3.88294
	cool=1,por=2	-11.71780(*)	1.102	.000	-15.28726	-8.14834
	cool=1,por=3	-11.82300(*)	1.102	.000	-15.39246	-8.25354
	cool=1,por=4	9.5400E-02	1.102	1.000	-3.47406	3.66486
	cool=2,por=1	-10.37680(*)	1.102	.000	-13.94626	-6.80734
	cool=2,por=2	-11.32200(*)	1.102	.000	-14.89146	-7.75254
	cool=2,por=3	-12.95620(*)	1.102	.000	-16.52566	-9.38674

Based on observed means. The error term is Error.

* The mean difference is significant at the .05 level.

Flexural strength

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					FLEX	1		
	2	113.46640	23.98006	7.58316	96.31211	130.62069	76.864	156.252
	3	117.08860	28.87816	9.13208	96.43042	137.74678	86.000	184.382
	4	110.94000	28.98786	9.16677	90.20334	131.67666	65.578	155.907
	5	97.25670	26.79379	8.47294	78.08959	116.42381	60.046	135.926
	6	93.58110	15.05575	4.76105	82.81087	104.35133	73.896	127.394
	7	127.34180	39.17458	12.38809	99.31801	155.36559	72.537	202.469
	8	122.39650	20.50425	6.48401	107.72865	137.06435	100.729	156.714
	Total	112.79743	28.17325	3.14986	106.52778	119.06707	60.046	202.469

ANOVA

Case Processing Summary^a

Cases					
Included		Excluded		Total	
N	Percent	N	Percent	N	Percent
80	100.0%	0	.0%	80	100.0%

a. flexural strength by Porcelain, cooling

ANOVA^{a,b}

			Unique Method				
			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
flexural strength	Main Effects	(Combined)	4679.211	4	1169.803	1.596	.185
		Porcelain	4115.969	3	1371.990	1.872	.142
		cooling	563.243	1	563.243	.768	.384
	2-Way Interactions	Porcelain * cooling	5252.662	3	1750.887	2.389	.076
	Model		9931.873	7	1418.839	1.936	.076
	Residual		2772.941	72	732.958		
	Total		2704.815	79	793.732		

a. flexural strength by Porcelain, cooling

b. All effects entered simultaneously

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
FLEX	1.262	7	72	.281

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
FLEX	Between Groups	9931.873	7	1418.839	1.936	.076
	Within Groups	52772.941	72	732.958		
	Total	62704.815	79			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: FLEX

Tukey HSD

(I) FACT	(J) FACT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 cool=1,por=1	2 cool=1,por=2	6.84190	12.107	.999	-30.95575	44.63955
	3 cool=1,por=3	3.21970	12.107	1.000	-34.57795	41.01735
	4 cool=1,por=4	9.36830	12.107	.994	-28.42935	47.16595
	5 cool=2,por=1	23.05160	12.107	.553	-14.74605	60.84925
	6 cool=2,por=2	26.72720	12.107	.360	-11.07045	64.52485
	7 cool=2,por=3	-7.03350	12.107	.999	-44.83115	30.76415
	8 cool=2,por=4	-2.08820	12.107	1.000	-39.88585	35.70945
2 cool=1,por=2	1 cool=1,por=1	-6.84190	12.107	.999	-44.63955	30.95575

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) FACT	(J) FACT				Lower Bound	Upper Bound
	3 cool=1,por=3	-3.62220	12.107	1.000	-41.41985	34.17545
	4 cool=1,por=4	2.52640	12.107	1.000	-35.27125	40.32405
	5 cool=2,por=1	16.20970	12.107	.881	-21.58795	54.00735
	6 cool=2,por=2	19.88530	12.107	.723	-17.91235	57.68295
	7 cool=2,por=3	-13.87540	12.107	.944	-51.67305	23.92225
	8 cool=2,por=4	-8.93010	12.107	.996	-46.72775	28.86755
3 cool=1,por=3	1 cool=1,por=1	-3.21970	12.107	1.000	-41.01735	34.57795
	2 cool=1,por=2	3.62220	12.107	1.000	-34.17545	41.41985
	4 cool=1,por=4	6.14860	12.107	1.000	-31.64905	43.94625
	5 cool=2,por=1	19.83190	12.107	.726	-17.96575	57.62955
	6 cool=2,por=2	23.50750	12.107	.528	-14.29015	61.30515
	7 cool=2,por=3	-10.25320	12.107	.990	-48.05085	27.54445
	8 cool=2,por=4	-5.30790	12.107	1.000	-43.10555	32.48975
4 cool=1,por=4	1 cool=1,por=1	-9.36830	12.107	.994	-47.16595	28.42935
	2 cool=1,por=2	-2.52640	12.107	1.000	-40.32405	35.27125
	3 cool=1,por=3	-6.14860	12.107	1.000	-43.94625	31.64905
	5 cool=2,por=1	13.68330	12.107	.948	-24.11435	51.48095
	6 cool=2,por=2	17.35890	12.107	.839	-20.43875	55.15655
	7 cool=2,por=3	-16.40180	12.107	.874	-54.19945	21.39585
	8 cool=2,por=4	-11.45650	12.107	.980	-49.25415	26.34115
5 cool=2,por=1	1 cool=1,por=1	-23.05160	12.107	.553	-60.84925	14.74605
	2 cool=1,por=2	-16.20970	12.107	.881	-54.00735	21.58795
	3 cool=1,por=3	-19.83190	12.107	.726	-57.62955	17.96575
	4 cool=1,por=4	-13.68330	12.107	.948	-51.48095	24.11435
	6 cool=2,por=2	3.67560	12.107	1.000	-34.12205	41.47325
	7 cool=2,por=3	-30.08510	12.107	.219	-67.88275	7.71255

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) FACT	(J) FACT				Lower Bound	Upper Bound
	8 cool=2,por=4	-25.13980	12.107	.440	-62.93745	12.65785
6 cool=2,por=2	1 cool=1,por=1	-26.72720	12.107	.360	-64.52485	11.07045
	2 cool=1,por=2	-19.88530	12.107	.723	-57.68295	17.91235
	3 cool=1,por=3	-23.50750	12.107	.528	-61.30515	14.29015
	4 cool=1,por=4	-17.35890	12.107	.839	-55.15655	20.43875
	5 cool=2,por=1	-3.67560	12.107	1.000	-41.47325	34.12205
	7 cool=2,por=3	-33.76070	12.107	.114	-71.55835	4.03695
	8 cool=2,por=4	-28.81540	12.107	.267	-66.61305	8.98225
7 cool=2,por=3	1 cool=1,por=1	7.03350	12.107	.999	-30.76415	44.83115
	2 cool=1,por=2	13.87540	12.107	.944	-23.92225	51.67305
	3 cool=1,por=3	10.25320	12.107	.990	-27.54445	48.05085
	4 cool=1,por=4	16.40180	12.107	.874	-21.39585	54.19945
	5 cool=2,por=1	30.08510	12.107	.219	-7.71255	67.88275
	6 cool=2,por=2	33.76070	12.107	.114	-4.03695	71.55835
	8 cool=2,por=4	4.94530	12.107	1.000	-32.85235	42.74295
8 cool=2,por=4	1 cool=1,por=1	2.08820	12.107	1.000	-35.70945	39.88585
	2 cool=1,por=2	8.93010	12.107	.996	-28.86755	46.72775
	3 cool=1,por=3	5.30790	12.107	1.000	-32.48975	43.10555
	4 cool=1,por=4	11.45650	12.107	.980	-26.34115	49.25415
	5 cool=2,por=1	25.13980	12.107	.440	-12.65785	62.93745
	6 cool=2,por=2	28.81540	12.107	.267	-8.98225	66.61305
	7 cool=2,por=3	-4.94530	12.107	1.000	-42.74295	32.85235

Homogeneous Subsets

FLEX

Tukey HSD^a

FACT	N	Subset for alpha = .05
		1
6 cool=2,por=2	10	93.58110
5 cool=2,por=1	10	97.25670
4 cool=1,por=4	10	110.94000
2 cool=1,por=2	10	113.46640
3 cool=1,por=3	10	117.08860
1 cool=1,por=1	10	120.30830
8 cool=2,por=4	10	122.39650
7 cool=2,por=3	10	127.34180
Sig.		.114

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Spectrophotometer

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
SPEC 1 cool=1,por=1	10	86.3660	1.6489	.5214	85.1864	87.5456	84.13	89.03
2 cool=1,por=2	10	91.2120	.7210	.2280	90.6962	91.7278	90.05	92.15
3 cool=1,por=3	10	72.8180	1.1338	.3585	72.0069	73.6291	71.43	74.28
4 cool=1,por=4	10	87.3450	1.3454	.4254	86.3826	88.3074	84.62	89.01
5 cool=2,por=1	10	84.9530	2.1242	.6717	83.4334	86.4726	83.00	89.91
6 cool=2,por=2	10	90.6950	1.0425	.3297	89.9492	91.4408	88.97	92.96
7 cool=2,por=3	10	71.8280	1.1943	.3777	70.9737	72.6823	69.78	73.25
8 cool=2,por=4	10	87.3900	1.0153	.3211	86.6637	88.1163	85.87	88.60
Total	80	84.0759	7.2227	.8075	82.4685	85.6832	69.78	92.96

ANOVA

Case Processing Summary^a

Cases					
Included		Excluded		Total	
N	Percent	N	Percent	N	Percent
80	100.0%	0	.0%	80	100.0%

a. spectrophotometer by Porcelain, cooling

ANOVA^{a,b}

			Unique Method				
			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
spectrophotometer	Main Effects	(Combined)	3985.821	4	996.455	553.943	.000
		Porcelain	3975.489	3	1325.163	736.677	.000
		cooling	10.332	1	10.332	5.744	.019
	2-Way Interactions	Porcelain * cooling	5.898	3	1.966	1.093	.358
	Model		3991.719	7	570.246	317.008	.000
	Residual		129.516	72	1.799		
	Total		4121.236	79	52.168		

a. spectrophotometer by Porcelain, cooling

b. All effects entered simultaneously

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
SPEC	1.540	7	72	.168

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
SPEC	Between Groups	3991.719	7	570.246	317.008	.000
	Within Groups	129.516	72	1.799		
	Total	4121.236	79			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: SPEC

Tukey HSD

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) FACT	(J) FACT				Lower Bound	Upper Bound
1 cool=1,por=1	2 cool=1,por=2	-4.8460(*)	.600	.000	-6.7185	-2.9735
	3 cool=1,por=3	13.5480(*)	.600	.000	11.6755	15.4205
	4 cool=1,por=4	-.9790	.600	.729	-2.8515	.8935
	5 cool=2,por=1	1.4130	.600	.279	-.4595	3.2855
	6 cool=2,por=2	-4.3290(*)	.600	.000	-6.2015	-2.4565
	7 cool=2,por=3	14.5380(*)	.600	.000	12.6655	16.4105
	8 cool=2,por=4	-1.0240	.600	.683	-2.8965	.8485

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) FACT	(J) FACT				Lower Bound	Upper Bound
2 cool=1,por=2	1 cool=1,por=1	4.8460(*)	.600	.000	2.9735	6.7185
	3 cool=1,por=3	18.3940(*)	.600	.000	16.5215	20.2665
	4 cool=1,por=4	3.8670(*)	.600	.000	1.9945	5.7395
	5 cool=2,por=1	6.2590(*)	.600	.000	4.3865	8.1315
	6 cool=2,por=2	.5170	.600	.988	-1.3555	2.3895
	7 cool=2,por=3	19.3840(*)	.600	.000	17.5115	21.2565
	8 cool=2,por=4	3.8220(*)	.600	.000	1.9495	5.6945
3 cool=1,por=3	1 cool=1,por=1	-13.5480(*)	.600	.000	-15.4205	-11.6755
	2 cool=1,por=2	-18.3940(*)	.600	.000	-20.2665	-16.5215
	4 cool=1,por=4	-14.5270(*)	.600	.000	-16.3995	-12.6545
	5 cool=2,por=1	-12.1350(*)	.600	.000	-14.0075	-10.2625
	6 cool=2,por=2	-17.8770(*)	.600	.000	-19.7495	-16.0045
	7 cool=2,por=3	.9900	.600	.718	-.8825	2.8625
	8 cool=2,por=4	-14.5720(*)	.600	.000	-16.4445	-12.6995
4 cool=1,por=4	1 cool=1,por=1	.9790	.600	.729	-.8935	2.8515
	2 cool=1,por=2	-3.8670(*)	.600	.000	-5.7395	-1.9945
	3 cool=1,por=3	14.5270(*)	.600	.000	12.6545	16.3995
	5 cool=2,por=1	2.3920(*)	.600	.004	.5195	4.2645
	6 cool=2,por=2	-3.3500(*)	.600	.000	-5.2225	-1.4775
	7 cool=2,por=3	15.5170(*)	.600	.000	13.6445	17.3895
	8 cool=2,por=4	-4.5000E-02	.600	1.000	-1.9175	1.8275
5 cool=2,por=1	1 cool=1,por=1	-1.4130	.600	.279	-3.2855	.4595
	2 cool=1,por=2	-6.2590(*)	.600	.000	-8.1315	-4.3865
	3 cool=1,por=3	12.1350(*)	.600	.000	10.2625	14.0075
	4 cool=1,por=4	-2.3920(*)	.600	.004	-4.2645	-.5195
	6 cool=2,por=2	-5.7420(*)	.600	.000	-7.6145	-3.8695

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) FACT	(J) FACT				Lower Bound	Upper Bound
	7 cool=2,por=3	13.1250(*)	.600	.000	11.2525	14.9975
	8 cool=2,por=4	-2.4370(*)	.600	.003	-4.3095	-.5645
6 cool=2,por=2	1 cool=1,por=1	4.3290(*)	.600	.000	2.4565	6.2015
	2 cool=1,por=2	-.5170	.600	.988	-2.3895	1.3555
	3 cool=1,por=3	17.8770(*)	.600	.000	16.0045	19.7495
	4 cool=1,por=4	3.3500(*)	.600	.000	1.4775	5.2225
	5 cool=2,por=1	5.7420(*)	.600	.000	3.8695	7.6145
	7 cool=2,por=3	18.8670(*)	.600	.000	16.9945	20.7395
	8 cool=2,por=4	3.3050(*)	.600	.000	1.4325	5.1775
7 cool=2,por=3	1 cool=1,por=1	-14.5380(*)	.600	.000	-16.4105	-12.6655
	2 cool=1,por=2	-19.3840(*)	.600	.000	-21.2565	-17.5115
	3 cool=1,por=3	-.9900	.600	.718	-2.8625	.8825
	4 cool=1,por=4	-15.5170(*)	.600	.000	-17.3895	-13.6445
	5 cool=2,por=1	-13.1250(*)	.600	.000	-14.9975	-11.2525
	6 cool=2,por=2	-18.8670(*)	.600	.000	-20.7395	-16.9945
	8 cool=2,por=4	-15.5620(*)	.600	.000	-17.4345	-13.6895
8 cool=2,por=4	1 cool=1,por=1	1.0240	.600	.683	-.8485	2.8965
	2 cool=1,por=2	-3.8220(*)	.600	.000	-5.6945	-1.9495
	3 cool=1,por=3	14.5720(*)	.600	.000	12.6995	16.4445
	4 cool=1,por=4	4.500E-02	.600	1.000	-1.8275	1.9175
	5 cool=2,por=1	2.4370(*)	.600	.003	.5645	4.3095
	6 cool=2,por=2	-3.3050(*)	.600	.000	-5.1775	-1.4325
	7 cool=2,por=3	15.5620(*)	.600	.000	13.6895	17.4345

* The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous Subsets

SPEC

Tukey HSD^a

FACT	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
7 cool=2,por=3	10	71.8280			
3 cool=1,por=3	10	72.8180			
5 cool=2,por=1	10		84.9530		
1 cool=1,por=1	10		86.3660	86.3660	
4 cool=1,por=4	10			87.3450	
8 cool=2,por=4	10			87.3900	
6 cool=2,por=2	10				90.6950
2 cool=1,por=2	10				91.2120
Sig.		.718	.279	.683	.988

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000

NPar Tests

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		flexural strength	spectrophotometer
N		80	80
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	112.79742	84.0759
	Std. Deviation	28.17325	7.2227
Most Extreme Differences	Absolute	.100	.206
	Positive	.100	.162
	Negative	-.054	-.206
Kolmogorov-Smirnov Z		.897	1.842
Asymp. Sig. (2-tailed)		.397	.002

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

ประวัติผู้เขียน

ข้าพเจ้า นายบุญชัย บุญลิขิตานารา เกิดที่ รพ.หัวเฉียว จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จากคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2536 เข้ารับราชการในตำแหน่ง ทันตแพทย์ 4 ที่ ร.พ. ท่าช้าง จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นเวลา 2 ปี แล้วย้ายมารับราชการต่อในตำแหน่ง ทันตแพทย์ 5 ที่ ร.พ. ไซยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นเวลา 2 ปี และต่อจากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2541



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย