



รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เจน รัตน์ไพศาล. ทันตวัสดุศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, 2522.

รัชณี ประดิษฐ์ธำรงค์ การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะของแรงที่ลดลงในพลาสติกโมดูล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.

วิรัช พัฒนาการณ์. การวิเคราะห์ขนาดฟัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.

ภาษาอังกฤษ

Andreasen, G.F., and Bishara, S. Comparison of Alastik chains with Elastics involved with intra-arch molar to molar forces. Angle Orthod. 40 (1970): 151-158.

_____, and Zwanziger, D. A Clinical evaluation of the differential force concept on applied to the edgewise bracket. Am. J. Orthod. 78 (1980): 25-40.

Ash, J.L., and Nikolai, R.J. Relaxation of orthodontic elastomeric chains and modules in vitro and in vivo. J. Dent. Res. 57 (1978): 685-690.

Baty, D.L. Force displacement and dimensional stability of various colored elastomeric chains in air, distilled water and artificial saliva. Master 's Thesis, University of Louisville, 1992.

_____, Volz, J.E., and von Fraunhofer, J.A. Force delivery properties of colored elastomeric modules. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 106 (1994): 40-46.

Baeten, L.R. Canine retraction : A photoelastic study. Am. J. Orthod. 67 (1975): 11-23.

Begg, P.F. Differentail force in orthodontic treatment. Am. J. Orthod. 42 (1956): 481-510.

- Billmeyer, Jr. F.W. Textbook of polymers science. 2nd ed., New York: Wiley-Interscience, 1971.
- Bishara, S.E., and Andreasen, G.F. A comparison of time related forces between plastic Alastiks and latex elastics. Angle Orthod. 40 (1970): 319-328.
- Boester, C.H., and Johnston, L.E. A clinical investigation of the concepts of differential and optimal force in canine retraction. Angle Orthod. 44 (1974): 113-119.
- Brantley, W.A., Salander, S., Myers, C.L., and Winders, R.V. Effects of prestretching on force degradation characteristics of plastic modules. Angle Orthod. 49 (1979): 37-43.
- Brookes, D.G., and Hershey, H.G. Effect of heat and time on stretched plastic orthodontic modules. J. Dent. Res. 55 (special issue B) (1976): 363, 152.
- Burstone, C.J., and Pryputniewicz, R.J. Halo graphic determination of center of rotation produced by orthodontic force. Am. J. orthod. 77 (1980): 396-409
- _____, and Groves, M.H. Threshold and optimum force values for maxillary anterior tooth movement. J. Dent. Res. 39 (1961): 695.
- Busse, W.F. J.Phys.Chem., 36, 2862, 1932 cited by Craig, D., In Fettes, E.M. (ed.) Chemical reactions of polymers. high polymers. Vol. 19: pp.779. New York: Interscience Publishers, 1964.
- Charrier, J.M. General concepts and topics. In Polymeric materials and processing plastics, elastomers and composites. pp. 11-54. Munich: Hanser publishers, 1991.
- Chung P.C.K., Wei, S.H.Y., and Reynolds, I.R. In vitro testing of elastomeric modules. Br. J. Orthod. 16 (1989): 265-269.
- Coolidge, E.D. The thickness of human periodontal membrane. Jour. A.D.A. & D. Cos. 24 (1937): 1260-1270.
- DeBoest, J.F. Reinforced polypropylenes In ASM international handbook committee (ed.) Engineering plastics. Vol. 2: pp. 192-193. Sanfrancisco: ASM international, 1988.

- De Genova, D.C., McInnes-Ledoux, P., Weinberg, R., and Shaye, R. Force degradation of orthodontic elastomeric chains - A product comparison study. *Am. J. Orthod.* 87 (1985): 377-384.
- Dieterich, D., Grigat, E., and Hahn, W. Chemical and physical-chemical principles of polyurethane chemistry. In O., Gunter (ed.) *Polyurethane handbook*. pp. 35-36. Munich: Hanser Publishers, 1985.
- Ferriter, J.P., Meyers, C.E., and Lorton, L. The effect of hydrogen ion concentration on the force-degradation rate of orthodontic polyurethane chain elastics. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 98 (1990): 404-410.
- Gianelly, A.A., and Goldman, H.M. *Biologic basis of orthodontics*. pp. 146-162. Philadelphia: Lea & Febiger, 1971.
- Harper, C.A. *Handbook of plastics and elastomers*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1975.
- Hearle, J.W.S. *Polymers and their properties, Vol I, fundamentals of structure and mechanics*. pp. 26-27. New York: Ellis Horwood Limited, 1982.
- Hershey, H.G., and Reynolds, W.G. The plastic module as an orthodontic tooth-moving mechanism. *Am. J. Orthod.* 67 (1975): 554-562.
- Hixon, E.H., Atikian, H., Callow, G.E., McDonald, H.W., and Tacy, R.J. Optimal force, differential force, and anchorage. *Am. J. Orthod.* 55 (1969): 437-457.
- _____, Aasen, T.O., Arango, J., Clark, R.A., Klosterman, R., Miller, S.S., and Odom, W.M. On force and tooth movement. *Am. J. orthod.* 57 (1970): 476-489.
- Howard, R.S., and Nikolai, R.J. On the relaxation of orthodontic elastic threads. *Angle Orthod.* 49 (1979): 167-172.
- Huffman, D.J., and Way, D.C. A clinical evaluation of tooth movement along arch wires of two different sizes. *Am. J. Orthod.* 83 (1983): 453-459.
- Joseph, V.P., Grobler, S.R., and Rossouw, P.E. Fluoride release from orthodontic elastic chain. *J. Clin. Orthod.* 27 (1993): 101-105.

- Killiary, D.M., and Duplessis, J. Relaxation of elastomeric chains. J. Clin. Orthod. 19 (1985): 592-593.
- Kovatch, J.S., Lautenschlager, E.P., Apfel, D.A., and Keller, J.C. Load-extension-time behavior of orthodontic Alastiks. J. Dent. Res. 55 (1976): 783-786.
- Kuster, R., Ingervall, B., and Burgin, W. Laboratory and intra-oral tests of degradation of elastic chains. Eur. J. Orthod. 8 (1986): 202-208.
- Mark, H.F., Bikales, N.M., Overberger, C.G., Menges, G. Encyclopedia of polymer science and engineering. pp.746-758. NewYork: John Wiley & sons, 1985.
- Morton-Jones, D.H., and Ellis, J.W. Polyurethanes. In Polymer products design, materials and processing. pp. 119-126. London: Chapman and Hall, 1986.
- Nikolai, R.J. Bioengineering analysis of orthodontic mechanics. Philadelphia: Lea & Febiger, 1985.
- Paulson, R. C., Speidel, T.M., and Isaacson, R.J. A Laminagraphic study of cuspid retraction versus molar anchorage loss. Angle Orthod. 40 (1970): 20-27.
- Proffit, W.R., Fields, H.W., Ackerman, J.L., Sinclair, P.M., Thomas, P.M., and Tulloch, J.F.C. Mechanical principles in orthodontic force control. In Contemporary orthodontics. 2nd ed., pp. 307. Saint Louis: Mosby-Year Book, 1993.
- Quinn, R.S., and Yoshikawa, D.K. A reassessment of force magnitude in orthodontics. Am. J. Orthod. 88 (1985): 252-260.
- Reitan, K. Some factors determining the evaluation of forces in orthodontics. Am.J. Orthod. 43 (1957): 32-45.
- _____, Biomechanical principles and reactions. In Graber, T.M. (ed.), Current orthodontic concepts and techniques. Vol. 1: pp. 88. Philadelphia: W.B. Saunders, 1969.
- Richards, J.H., Cram, D.J., and Hammond, G.S. Synthetic polymers. In Elements of organic chemistry. pp. 399-414. New York: McGraw-Hill Book Company, 1967.

- Rock, W.P., Wilson, H.J., and Fisher, S.E. A laboratory investigation of orthodontic elastomeric chains. *Br. J. Orthod.* 12 (1985): 202-207.
- _____, Wilson, H.J., and Fisher, S.E. Force reduction of orthodontic elastomeric chains after one month in the mouth. *Br. J. Orthod.* 13 (1986): 147-150.
- Saiko, F., et al. Fluoride content of dental cement and its release in water. *Jap. J. Cons. Dent.* 33 (1990): 39-49.
- Sitthi S. Srisopark. A study on the size of permanent teeth, shovel-shaped incisors and paramolar tubercle in Thai skull. *J. Dent. Assoc. Thai.* 22 (1972): 199-205.
- Sonis, A.L., Van der Plas, E., and Gianelly, A. A comparison of elastomeric auxiliaries versus elastic thread on premolar extraction site closure: An in vivo study. *Am. J. Orthod.* 89 (1986): 73-78.
- Storey, E., and Smith, R. Force in orthodontics and its relation to tooth movement. *Aus. J. Dent.* 56 (1952): 11-18.
- Storie, D.J., Regennitter, F., and von Fraunhofer, J.A. Characteristics of fluoride-releasing elastomeric chain. *Angle Orthod.* 64 (1994): 199-210.
- von Fraunhofer, J.A., Coffelt, M-T.P., and Orbell, G.M. The effects of artificial saliva and topical fluoride treatments on the degradation of the elastic properties of orthodontic chains. *Angle Orthod.* 62 (1992): 265-274.
- Weinstein, S. Minimal forces in tooth movement. *Am. J. Orthod.* 53 (1967): 881-903.
- _____, Haack, D.C., Lightle M.Y., Snyder, B.B., and Attaway, H.E. On equilibrium theory of tooth position. *Angle. Orthod.* 33 (1963): 26.
- Wilson, T.G., and Gregory R.L. Clinical effectiveness of fluoride-releasing elastomers. I : salivary *Streptococcus mutans* numbers. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 107 (1995): 293-297.
- Wolkenbreit, S. Thermoplastic polyurethane elastomers. In Walker, B.M. (ed.) *Handbook of thermoplastic elastomers*. pp. 216-246. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1979.
- Wong, A.K. Orthodontic elastic materials. *Angle Orthod.* 46 (1976): 196-205.

Young, J., and Sandrik, J.L. The influence of preloading on stress relaxation of orthodontic elastic polymers. *Angle Orthod.* 49 (1979): 104-109.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

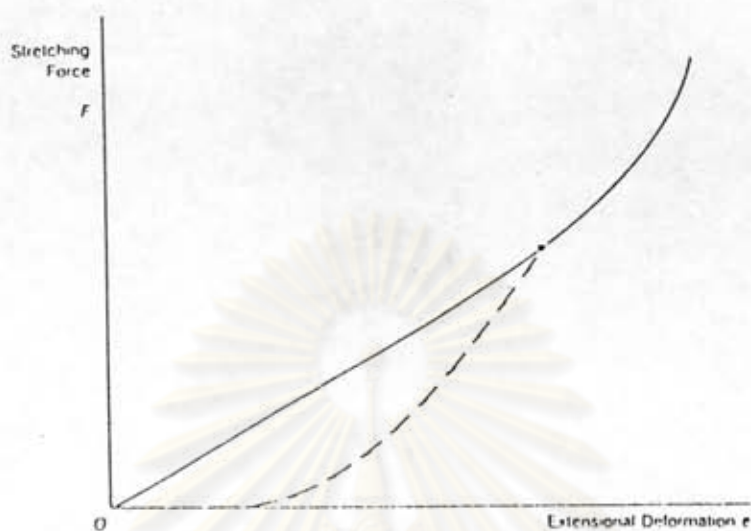
ศัพท์ทางคุณสมบัติเชิงกลที่เกี่ยวข้อง
(Terminology of mechanical properties)

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูป (load-deformation behavior)

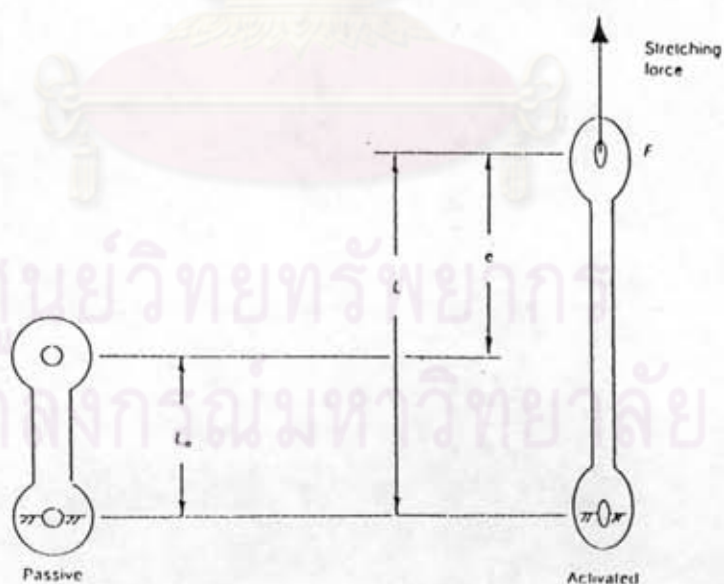
แรง (load) หมายถึงแรงภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุ ทำให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนรูป (Nikolai, 1985) ซึ่งส่วนใหญ่แรงที่กระทำต่อพลาสติกโมดูลจะเป็นแรงดึงทำให้พลาสติกโมดูลยืดตัว

การเปลี่ยนรูป (deformation) หมายถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัตถุเพียงบางส่วนหรือทั้งหมด ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระบบแรงของวัตถุนั้น (Nikolai, 1985) และดังที่กล่าวแล้วนั้นว่าแรงกระทำส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับพลาสติกโมดูลเป็นแรงดึงให้พลาสติกโมดูลยืดตัวออกซึ่งก็คือเกิดการเปลี่ยนรูปให้ยาวขึ้น ดังนั้นปริมาณการเปลี่ยนรูปแบบยืดตัว ซึ่งใช้สัญลักษณ์ ϵ (รูปที่ 38) สามารถคำนวณได้จากความยาวหลังยืดตัว (L) ลบด้วยความยาวเริ่มแรก (L_0) (Nikolai, 1985) และจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูป สามารถสร้างเป็นกราฟดังรูปที่ 39

ในช่วงแรกที่พลาสติกโมดูลได้รับแรงดึง ส่วนที่มีความอ่อนตัว (soft segment) จะคลายตัวจากที่ม้วนงออยู่เดิม (uncoil) ทำให้ลักษณะกราฟในช่วงแรกเป็นเส้นตรง (เส้นทึบ) และเมื่อส่วนที่มีความอ่อนตัวคลายตัวหมดแล้ว พลาสติกโมดูลจะมีความแข็งดึง (stiffness) เพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงดึงที่ยังกระทำต่อเนื้ออยู่นั้นไปทำให้เกิดการยืดตัวของพันธะปฐมภูมิ ทำให้ลักษณะกราฟชันขึ้น ซึ่งความชันนี้ก็คือความแข็งดึงนั่นเอง (Nikolai, 1985) และเมื่อมีแรงดึงกระทำต่อพลาสติกโมดูลไปเรื่อยๆ จะทำให้ถึงจุดที่โมดูลขาด ซึ่งแสดงด้วย x ในรูปที่ 39



รูปที่ 38 : แสดงการเปลี่ยนแปลงของพลาสติกโมดูลจากแรงดึง ทำให้ความยาวเพิ่มขึ้น
เป็นระยะทาง e (Nikolai, 1985)



รูปที่ 39 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนแปลงรูปของพลาสติกโมดูล
(Nikolai, 1985)

เส้นประในรูปที่ 39 แสดงถึงการหยุดแรงดึงที่กระทำต่อพลาสติกโมดูล ทำให้พลาสติกโมดูลเกิดการหดตัวอย่างรวดเร็ว และถึงแม้จะหยุดแรงกระทำก่อนที่จะถึงจุดที่จะเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (elastic limit : el) ก็ยังพบว่าพลาสติกโมดูลมีการเปลี่ยนแปลงรูปหลงเหลืออยู่ ซึ่งพบเมื่อหยุดแรงกระทำโดยทันที แต่ถ้าทิ้งไว้นานๆ พลาสติกโมดูลก็จะสามารถกลับสู่สภาพเดิมก่อนให้แรงได้ เนื่องจากมีการสร้างพันธะทุติยภูมิกลับคืนมาใหม่ (Nikolai, 1985)

จากรูปยังไม่สามารถแสดงการสูญเสียแรงได้อย่างแท้จริง เนื่องจากแรงที่ได้จากพลาสติกโมดูล นอกจากขึ้นกับระยะทางแล้วยังขึ้นกับเวลาที่ผ่านไปด้วย

ความเค้นเชิงกล (mechanical stress)

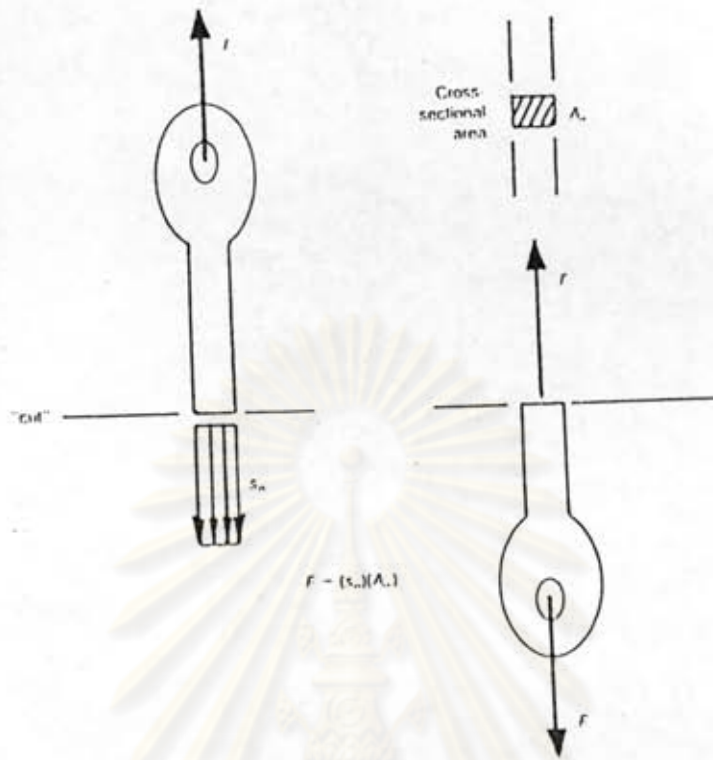
ความเค้น (stress) หมายถึงแรงต้านทานที่เกิดขึ้นภายในเนื้อวัตถุเมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอก (Hearle, 1982) ค่าของความเค้นคำนวณได้จากแรงกระทำต่อหน่วยพื้นที่ที่วัตถุนั้นถูกกระทำ โดยอาศัยเส้นตัดจินตภาพ (imaginary cut) ซึ่งตั้งฉากกับแนวแรง ดังรูปที่ 7 และมีหน่วยเป็นกรัมต่อตารางมิลลิเมตร และจากการที่แรงกระทำส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับพลาสติกโมดูลเป็นแรงดึง ทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นเป็นความเค้นแบบดึง (tensile stress) ซึ่งจะเกิดขึ้นบนพื้นที่ซึ่งตั้งฉากกับแนวแรง (Nikolai, 1985) ดังรูปที่ 7

ความเครียด (strain)

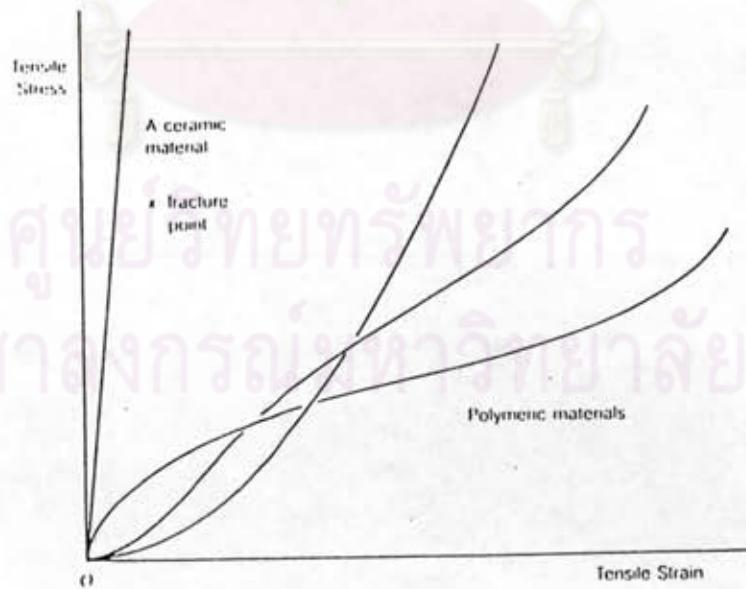
ความเครียด เป็นภาวะที่วัตถุเปลี่ยนแปลงความยาวเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ (Hearle, 1982) และจากแรงดึงที่กระทำต่อพลาสติกโมดูลทำให้ความเครียดที่เกิด เป็นความเครียดแบบดึง (tensile strain) ซึ่งมีสัญลักษณ์ " ϵ " คำนวณได้จาก

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0}$$

โดย L_0 คือความยาวเริ่มแรก และ L คือความยาวหลังยืด



รูปที่ 40 : แสดงความเค้นแรงดึงที่เกิดขึ้นภายในพลาสติกโมดูล (Nikolai, 1985)



รูปที่ 41 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของ โพลีเมอร์ (Nikolai, 1985)

ความเครียดเป็นค่าอัตราส่วนจึงไม่มีหน่วย (Nikolai, 1985) และจากคำจำกัดความของความเค้นและความเครียดจะเห็นได้ว่าเป็นการคำนวณแรง (force) และการเปลี่ยนรูป (deformation) ที่เกิดขึ้นภายนอกวัตถุให้เป็นความเค้น (stress) และความเครียด (strain) ที่เกิดขึ้นภายในวัตถุ ดังนั้นลักษณะของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเปลี่ยนรูป จึงมีลักษณะเดียวกับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของวัตถุเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 41 ซึ่งกราฟนี้จะเป็นพื้นฐานของคุณสมบัติเชิงกลต่างๆ ที่จะกล่าวต่อไป

ขีดจำกัดยืดหยุ่น (elastic limit : el) (Hearle, 1982 ; Nikolai, 1985)

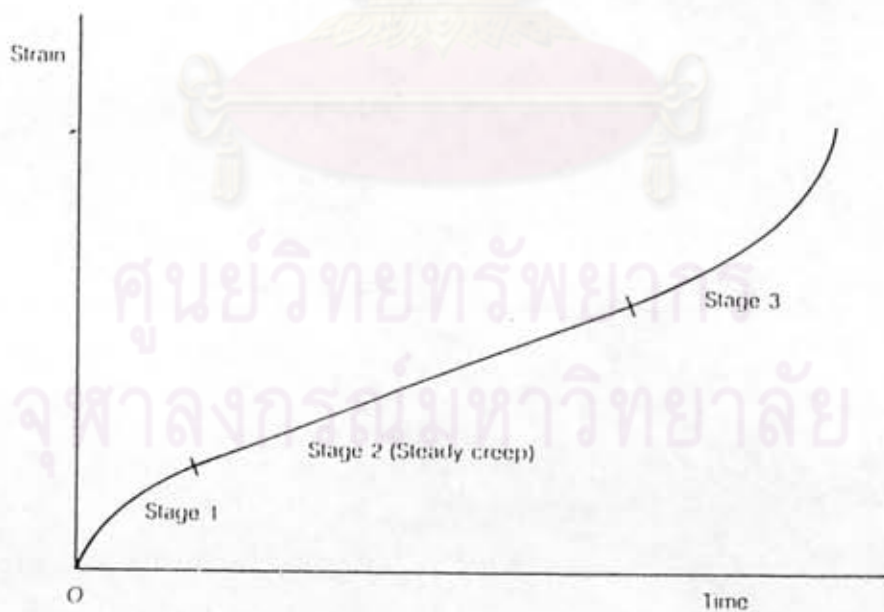
เป็นขีดจำกัดของหน่วยแรงสูงสุดที่วัตถุสามารถรับได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนรูปถาวร จากรูปที่ 8 ขีดจำกัดยืดหยุ่นคือจุดที่ความลาดชันของกราฟเริ่มเพิ่มขึ้น

ความแข็งตึงต่อหนึ่งปริมาตร (stiffness per unit volume) (Hearle, 1982 ; Nikolai, 1985)

ความแข็งตึงต่อหนึ่งปริมาตร หรือเรียกว่าโมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) หรือโมดูลัสของยัง (Young's modulus) คือคุณสมบัติของวัสดุที่ต้านทานความเค้นที่กระทำต่อวัสดุหนึ่งหน่วยปริมาตรเพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนรูป โดยความเค้นนี้ต้องไม่เกินขีดจำกัดยืดหยุ่นด้วย

$$\text{โมดูลัสยืดหยุ่น} = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}}$$

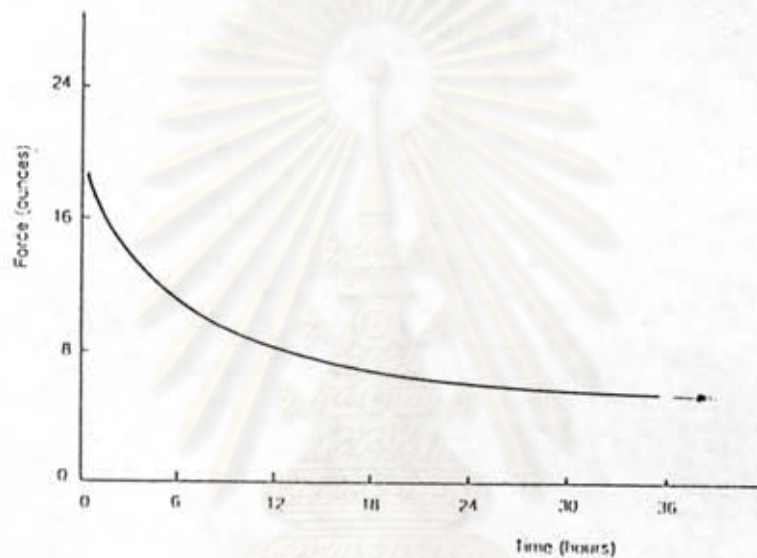
จากกราฟจะเห็นได้ว่าโพลิเมอร์มีความลาดชันไม่คงที่ เนื่องจากกราฟไม่เป็นเส้นตรง ดังนั้นโมดูลัสยืดหยุ่นของโพลิเมอร์จึงมีค่าไม่คงที่ เป็นเหตุให้คุณสมบัติเชิงกลของโพลิเมอร์ เช่น พลาสติกโมดูล กำหนดจากการทดลองได้ยาก (Nikolai, 1985) เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นต่อความเครียด เมื่อถูกแรงดึงกระทำเป็นระยะเวลาหนึ่งนั้น จะเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ถูกดึง โดยพบว่าเมื่อยืดพลาสติกโมดูลด้วยแรงดึงขนาดปานกลางและให้แรงดึงนั้นมีขนาดคงที่แล้ววัฏการผิดรูปที่เกิดขึ้น จะพบว่าวัสดุยังมีการยืดยาว (elongation) เพิ่มขึ้นอีกอย่างต่อเนื่อง เรียกคุณสมบัตินี้ว่า "ครีพ" (creep) ดังกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับเวลา (รูปที่ 42)



รูปที่ 42 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับเวลา แสดงให้เห็นการเกิดครีพซึ่งแบ่งเป็น 3 ระยะ (Nikolai, 1985)

ครีพ (creep) (Nikolai, 1985)

หมายถึงการผิดรูปเพิ่มขึ้นของวัตถุตลอดเวลาที่ผ่านมา เมื่อวัตถุถูกกระทำด้วยแรงคงที่ วัตถุที่มีครีพจะพบคุณสมบัติอีกอย่างหนึ่ง คือมีการรีแลกเซชัน (relaxation) ซึ่งหมายถึงการลดลงของแรงตามระยะเวลาที่ผ่านมา เมื่อมีความเครียดคงที่ (รูปที่ 10)

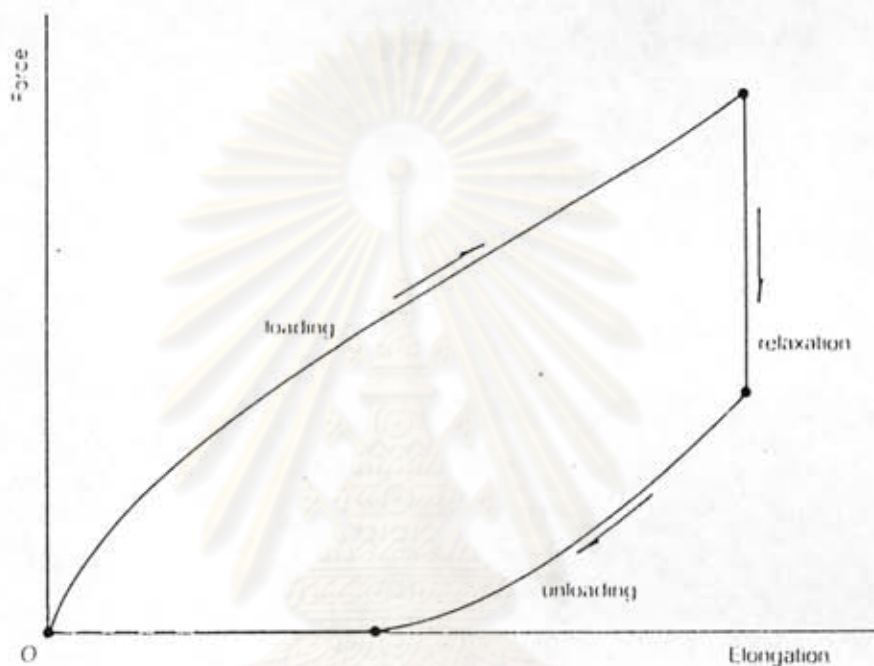


รูปที่ 43 : กราฟแสดงรีแลกเซชันของโพลีเมอร์บางชนิด (Nikolai, 1985)

รีแลกเซชัน (relaxation) (Nikolai, 1985)

รีแลกเซชันเกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียพันธะทุติยภูมิจากการที่วัตถุถูกดึงให้ยืดออกเป็นระยะเวลานานทำให้วัตถุสูญเสียความตึงไป ส่งผลให้แรงที่ได้ลดลงตามระยะเวลาที่ผ่านมาเมื่อมีความเครียดคงที่ โดยขนาดของแรงที่สูญเสียไปขึ้นอยู่กับ

1. วัสดุที่ใช้ทำพลาสติกโมดูล
2. ขนาดของแรงเริ่มต้นซึ่งสัมพันธ์กับรูปร่างเดิมของวัตถุ
3. ระยะเวลาที่วัตถุถูกยึด
4. สภาพแวดล้อม พบว่าสารยึดหยุ่นที่ใช้งานภายในช่องปาก เช่น พลาสติกโมดูล มีการสูญเสียแรงมากกว่าที่ใช้งานนอกช่องปาก



รูปที่ 44 : ไดอะแกรมแสดงลักษณะของแรงดึงที่ได้จากพลาสติกโมดูล ซึ่งแบ่งได้เป็น 4 ระยะ (Nikolai, 1985)

จากรูปที่ 44 เป็นกราฟแสดงลักษณะของแรงดึงที่ได้จากพลาสติกโมดูล แบ่งได้เป็น 4 ระยะ ดังนี้

- ระยะที่ 1 เป็นการให้แรงดึงโมดูลในตอนเริ่มต้น
- ระยะที่ 2 แสดงรีแลกเซชันที่เกิดขึ้น เมื่อมีความเครียดคงที่เป็นระยะเวลาหนึ่ง
- ระยะที่ 3 แสดงการสูญเสียแรงอย่างรวดเร็ว เมื่อไม่มีความเค้นกระทำต่อโมดูล
- ระยะที่ 4 โมดูลจะค่อยๆ คืนสู่ความยาวเดิม ถ้าไม่มีการดึงซ้ำอีก แต่พบว่า พลาสติกโมดูลจะยังมีการผิดรูปหลงเหลืออยู่บ้าง

การกัดกร่อน (corrosion) (Nikolai, 1985)

คือการเสื่อมสภาพของวัสดุจากปฏิกิริยาเคมี ส่งผลให้วัสดุมีสภาพที่มองเห็นได้เปลี่ยนไป แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1 การกัดกร่อนแบบแห้ง (dry corrosion) เป็นผลจากปฏิกิริยาเคมีของวัสดุกับก๊าซโดยเฉพาะอากาศ สำหรับพลาสติกโมดูลผลที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการเสื่อมอายุเร็วขึ้น (aging) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) โดยผลของปฏิกิริยาจะเพิ่มการเชื่อมขวาง (cross-links) ซึ่งเป็นพันธะทุติยภูมิ ทำให้วัสดุมีความแข็ง (hardness) ความแข็งดิ่ง และความเปราะ (brittleness) มากขึ้น

ความร้อน แสงสว่าง ความดัน และก๊าซโอโซน ทำให้การเสื่อมอายุเร็วขึ้น ซึ่งอาจเติมสารต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน (antioxidants) เพื่อต่อต้านการเสื่อมอายุ

2 การกัดกร่อนแบบเปียก (wet corrosion) เกิดขึ้นเมื่อวัตถุนั้นสัมผัสกับของเหลวหรือความชื้น เช่น น้ำลาย เหงื่อ น้ำมันจากผิวหนัง ทำให้เกิดการเสื่อมอายุเช่นกัน พบว่าสารยึดหยุ่นที่ใช้งานในช่องปากมีการเสื่อมสภาพเร็วกว่าที่ใช้งานนอกช่องปาก ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นทำให้โมเลกุลยาวสลายตัวเป็นโมเลกุลสั้นๆ ส่งผลให้ความแข็งแรงลดลง ปฏิกิริยานี้จะดำเนินไปอย่างเชื่องช้าโดยจะพบการเปลี่ยนสี (discoloration) เป็นตัวชี้ให้เห็นว่ามีการเริ่มต้นของปฏิกิริยานี้

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของพลาสติกโมดูล การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เช่น ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิในช่องปาก หรือระหว่างอาหารร้อนและเย็นที่รับประทาน ล้วนแต่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของพลาสติกโมดูล โดยส่งเสริมให้เกิดการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาเคมีเร็วขึ้น โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอะตอมและโมเลกุลจะมีความเคลื่อนไหวมากขึ้น ทำให้คุณสมบัติความแข็งแรงลดลง และอัตราเร็วของการเกิดครีฟและรีแล็กเซชันสูงขึ้น รวมทั้งอัตราการเกิดการกัดกร่อนและออกซิเดชันเร็วขึ้นด้วย

ภาคผนวก ข

ข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

- ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของขนาดของแรง (กรัม) ของพลาสติกโมดูลแต่ละสีที่เวลาต่างๆ โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ .05 แล้วทำการเปรียบเทียบพหุคูณ (multiple comparison test) ด้วยวิธีของ Tukey HSD ที่ระดับนัยสำคัญ .05

Time = 0 hr.

Variable FORCE by Variable COLOR

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	8	26470.4167	3308.8021	118.8062	.0000
Within Groups	261	7268.9583	27.8504		
Total	269	33739.3750			

G G G G G G G G G

r r r r r r r r r

p p p p p p p p p

7 9 6 1 8 3 2 4 5

Mean	COLOR
76.7500	Grp 7
89.6667	Grp 9 *
94.1667	Grp 6 **
99.1667	Grp 1 ***
99.9167	Grp 8 ***
103.5833	Grp 3 ****
106.5000	Grp 2 *****
106.5000	Grp 4 *****
111.0000	Grp 5 *****

Subset 1

Group Grp 7
Mean 76.7500

Subset 2

Group Grp 9
Mean 89.6667

Subset 3

Group Grp 6
Mean 94.1667

Subset 4

Group Grp 1 Grp 8
Mean 99.1667 99.9167

Subset 5

Group Grp 8 Grp 3
Mean 99.9167 103.5833

Subset 6

Group Grp 3 Grp 2 Grp 4
Mean 103.5833 106.5000 106.5000

Subset 7

Group Grp 5
Mean 111.0000

Time = 1 hr.

Variable FORCE by Variable COLOR

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	8	40806.0185	5100.7523	312.3887	.0000
Within Groups	261	4261.6667	16.3282		
Total	269	45067.6852			

GGGGGGGGG

rrrrrrrrr

ppppppppp

7 9 6 1 8 3 2 4 5

Mean	COLOR	
56.0833	Grp 7	
65.5000	Grp 9	*
65.8333	Grp 6	*
68.5000	Grp 1	*
72.4167	Grp 8	****
75.1667	Grp 3	****
76.9167	Grp 2	*****
92.5833	Grp 4	*****
96.6667	Grp 5	*****

Subset 1

Group	Grp 7
Mean	56.0833

Subset 2

Group	Grp 9	Grp 6	Grp 1
Mean	65.5000	65.8333	68.5000

Subset 3

Group	Grp 8	Grp 3
Mean	72.4167	75.1667

Subset 4

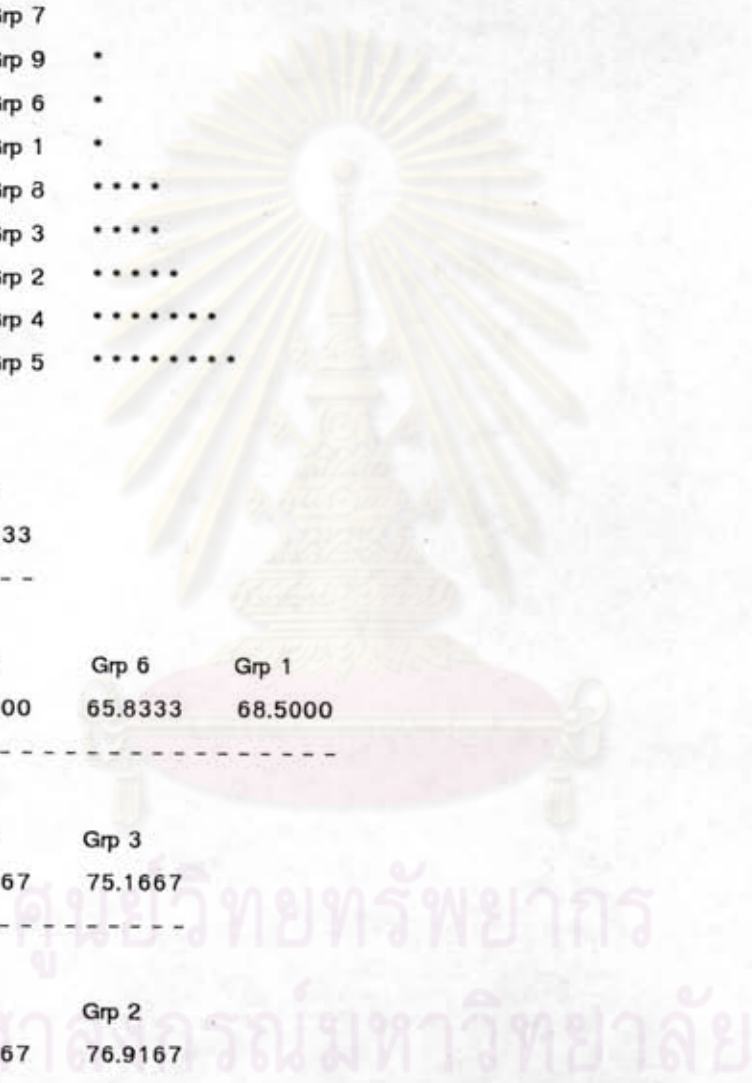
Group	Grp 3	Grp 2
Mean	75.1667	76.9167

Subset 5

Group	Grp 4
Mean	92.5833

Subset 6

Group	Grp 5
Mean	96.6667



ศูนย์วิทยทรัพยากร
มหาวิทยาลัย

Time = 4 hrs.

Variable FORCE by Variable COLOR

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	8	48306.1574	6038.2697	465.3795	.0000
Within Groups	261	3386.4583	12.9749		
Total	269	51692.6157			

G G G G G G G G

r r r r r r r r

P P P P P P P P

7 6 1 9 3 8 2 4 5

Mean	COLOR	
49.3333	Grp 7	
55.7500	Grp 6	*
56.3333	Grp 1	*
57.4167	Grp 9	*
62.1667	Grp 3	****
63.3333	Grp 8	****
67.0833	Grp 2	*****
87.1667	Grp 4	*****
90.3333	Grp 5	*****

Subset 1

Group	Grp 7
Mean	49.3333

Subset 2

Group	Grp 6	Grp 1	Grp 9
Mean	55.7500	56.3333	57.4167

Subset 3

Group	Grp 3	Grp 8
Mean	62.1667	63.3333

Subset 4
 Group Grp 2
 Mean 67.0833

Subset 5
 Group Grp 4
 Mean 87.1667

Subset 6
 Group Grp 5
 Mean 90.3333

Time = 24 hrs.

Variable FORCE by Variable COLOR

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	8	65067.2685	8133.4086	880.6096	.0000
Within Groups	261	2410.6250	9.2361		
Total	269	67477.8935			

GGGGGGGGG

rrrrrrrrr

PPPPPPPPP

7 1 6 9 3 8 2 4 5

Mean	COLOR	
41.1667	Grp 7	
47.0000	Grp 1	*
47.6667	Grp 6	*
48.0833	Grp 9	*
50.8333	Grp 3	****
52.7500	Grp 8	****
56.6667	Grp 2	*****
83.7500	Grp 4	*****
86.6667	Grp 5	*****

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 วิทยาลัย
 วิศวกรรมมหาวิทยาลัย

Subset 1
 Group Grp 7
 Mean 41.1667

Subset 2
 Group Grp 1 Grp 6 Grp 9
 Mean 47.0000 47.6667 48.0833

Subset 3
 Group Grp 3 Grp 8
 Mean 50.8333 52.7500

Subset 4
 Group Grp 2
 Mean 56.6667

Subset 5
 Group Grp 4
 Mean 83.7500

Subset 6
 Group Grp 5
 Mean 86.6667

Time = 7 days

Variable FORCE by Variable COLOR

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	8	65318.3796	8164.7975	1069.6286	.0000
Within Groups	261	1992.2917	7.6333		
Total	269	67310.6713			

GGGGGGGGG

rrrrrrrrr

ppppppppp

7 1 6 9 3 8 2 4 5

Mean	COLOR	
34.8333	Grp 7	
37.1667	Grp 1	*
40.5833	Grp 6	**
40.5833	Grp 9	**
41.5000	Grp 3	**
44.0833	Grp 8	*****
47.1667	Grp 2	*****
75.6667	Grp 4	*****
79.0000	Grp 5	*****

Subset 1

Group	Grp 7
Mean	34.8333

Subset 2

Group	Grp 1
Mean	37.1667

Subset 3

Group	Grp 6	Grp 9	Grp 3
Mean	40.5833	40.5833	41.5000

Subset 4

Group	Grp 8
Mean	44.0833

Subset 5

Group	Grp 2
Mean	47.1667

Subset 6

Group	Grp 4
Mean	75.6667

Subset 7

Group	Grp 5
Mean	79.0000



ศูนย์วิทยทรัพยากร
 ภาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Time = 14 days

Variable FORCE by Variable COLOR

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	8	61572.5000	7696.5625	1011.4606	.0000
Within Groups	261	1986.0417	7.6094		
Total	269	63558.5417			

G G G G G G G G

r r r r r r r r

P P P P P P P P

7 1 6 9 3 8 2 4 5

Mean	COLOR	
32.0833	Grp 7	
32.5833	Grp 1	
35.2500	Grp 6	**
36.0833	Grp 9	**
36.6667	Grp 3	**
37.8333	Grp 8	***
40.3333	Grp 2	*****
71.2500	Grp 4	*****
72.1667	Grp 5	*****

Subset 1

Group	Grp 7	Grp 1
Mean	32.0833	32.5833

Subset 2

Group	Grp 6	Grp 9	Grp 3
Mean	35.2500	36.0833	36.6667

Subset 3

Group	Grp 9	Grp 3	Grp 8
Mean	36.0833	36.6667	37.8333

Subset 4

Group	Grp 2
Mean	40.3333

Subset 5

Group	Grp 4	Grp 5
Mean	71.2500	72.1667

Time = 21 days

Variable FORCE by Variable COLOR

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	8	51770.6019	6471.3252	757.2647	.0000
Within Groups	261	2230.4167	8.5457		
Total	269	54001.0185			

G G G G G G G G

r r r r r r r r

P P P P P P P P

1 7 6 3 9 8 2 4 5

Mean	COLOR	
26.2500	Grp 1	
28.2500	Grp 7	
31.9167	Grp 6	**
32.0000	Grp 3	**
32.0833	Grp 9	**
33.3333	Grp 8	**
35.2500	Grp 2	*****
63.0833	Grp 4	*****
65.0000	Grp 5	*****

Subset 1

Group	Grp 1	Grp 7
Mean	26.2500	28.2500

Subset 2

Group	Grp 6	Grp 3	Grp 9	Grp 8
Mean	31.9167	32.0000	32.0833	33.3333

Subset 3

Group	Grp 8	Grp 2
Mean	33.3333	35.2500

Subset 4

Group	Grp 4	Grp 5
Mean	63.0833	65.0000

2. ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของขนาดของแรง (กรัม) ที่เวลาต่างๆ ของพลาสติกโมดูลแต่ละสีโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ .05 แล้วทำการเปรียบเทียบพหุคูณ (multiple comparison test) ด้วยวิธีของ Tukey HSD ที่ระดับนัยสำคัญ .05

Color = Pink

Variable FORCE by Variable TIME

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	6	113986.0119	18997.6687	1847.0693	.0000
Within Groups	203	2087.9167	10.2853		
Total	209	116073.9286			

GGGGGGG

rrrrrrr

ppppppp

7 6 5 4 3 2 1

Mean	TIME	
26.2500	Grp 7	
32.5833	Grp 6	*
37.1667	Grp 5	**
47.0000	Grp 4	***
56.3333	Grp 3	****
68.5000	Grp 2	*****
99.1667	Grp 1	*****

Subset 1
 Group Grp 7
 Mean 26.2500

 Subset 2
 Group Grp 6
 Mean 32.5833

 Subset 3
 Group Grp 5
 Mean 37.1667

 Subset 4
 Group Grp 4
 Mean 47.0000

 Subset 5
 Group Grp 3
 Mean 56.3333

 Subset 6
 Group Grp 2
 Mean 68.5000

 Subset 7
 Group Grp 1
 Mean 99.1667



ศูนย์วิทยทรัพยากร
 ภาควิชาการณั่มหาวิทยาลัย

Color = Purple

Variable FORCE by Variable TIME

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	6	109700.6952	18283.4492	1419.3677	.0000
Within Groups	203	2614.9250	12.8814		
Total	209	112315.6202			

GGGGGGG

rrrrrrr

ppppppp

7 6 5 4 3 2 1

Mean	TIME	
35.2500	Grp 7	
40.3333	Grp 6	*
47.1667	Grp 5	**
56.6667	Grp 4	***
67.0833	Grp 3	****
76.9167	Grp 2	*****
106.4667	Grp 1	*****

Subset 1

Group	Grp 7
Mean	35.2500

Subset 2

Group	Grp 6
Mean	40.3333

Subset 3

Group	Grp 5
Mean	47.1667

Subset 4

Group	Grp 4
Mean	56.6667

Subset 5

Group	Grp 3
Mean	67.0833

Subset 6

Group	Grp 2
Mean	76.9167



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Subset 7
 Group Grp 1
 Mean 106.4667

Color = Green

Variable FORCE by Variable TIME

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	6	115267.0833	19211.1806	1986.9838	.0000
Within Groups	203	1962.7083	9.6685		
Total	209	117229.7917			

GGGGGGG
 rrrrrrr
 ppppppp

 7 6 5 4 3 2 1

Mean	TIME	
32.0000	Grp 7	
36.6667	Grp 6	*
41.5000	Grp 5	**
50.8333	Grp 4	***
62.1667	Grp 3	****
75.1667	Grp 2	*****
103.5833	Grp 1	*****

Subset 1
 Group Grp 7
 Mean 32.0000

Subset 2
 Group Grp 6
 Mean 36.6667

Subset 3
 Group Grp 5
 Mean 41.5000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 วิทยาลัยราชภัฏบรจรัม

Subset 4

Group Grp 4
 Mean 50.8333

Subset 5

Group Grp 3
 Mean 62.1667

Subset 6

Group Grp 2
 Mean 75.1667

Subset 7

Group Grp 1
 Mean 103.5833

Color = Clear (Ormco)

Variable FORCE by Variable TIME

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	6	37487.9119	6247.9853	314.8492	.0000
Within Groups	203	4028.4083	19.8444		
Total	209	41516.3202			

GGGGGGG

rrrrrrr

ppppppp

7 6 5 4 3 2 1

Mean	TIME
63.0833	Grp 7
71.2500	Grp 6 *
75.6667	Grp 5 **
83.7500	Grp 4 ***
87.1667	Grp 3 ****
92.5833	Grp 2 *****
106.4833	Grp 1 *****

Subset 1
 Group Grp 7
 Mean 63.0833

 Subset 2
 Group Grp 6
 Mean 71.2500

 Subset 3
 Group Grp 5
 Mean 75.6667

 Subset 4
 Group Grp 4 Grp 3
 Mean 83.7500 87.1667

 Subset 5
 Group Grp 2
 Mean 92.5833

 Subset 6
 Group Grp 1
 Mean 106.4833

 Color = Grey (Ormco)

Variable FORCE by Variable TIME

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	6	43175.0000	7195.8333	359.2018	.0000
Within Groups	203	4066.6667	20.0328		
Total	209	47241.6667			

GGGGGGG

rrrrrrr

PPPPPPP

7 6 5 4 3 2 1

Mean	TIME	
65.0000	Grp 7	
72.1667	Grp 6	*
79.0000	Grp 5	**
86.6667	Grp 4	***
90.3333	Grp 3	****
96.6667	Grp 2	*****
111.0000	Grp 1	*****

Subset 1

Group	Grp 7
Mean	65.0000

Subset 2

Group	Grp 6
Mean	72.1667

Subset 3

Group	Grp 5
Mean	79.0000

Subset 4

Group	Grp 4
Mean	86.6667

Subset 5

Group	Grp 3
Mean	90.3333

Subset 6

Group	Grp 2
Mean	96.6667

Subset 7

Group	Grp 1
Mean	111.0000



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Color = Smoke

Variable FORCE by Variable TIME

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	6	84274.0476	14045.6746	1526.1045	.0000
Within Groups	203	1868.3333	9.2036		
Total	209	86142.3810			

GGGGGGG

rrrrrrr

ppppppp

7 6 5 4 3 2 1

Mean	TIME
31.9167	Grp 7
35.2500	Grp 6 *
40.5833	Grp 5 **
47.6667	Grp 4 ***
55.7500	Grp 3 ****
65.8333	Grp 2 *****
94.1667	Grp 1 *****

Subset 1

Group Grp 7
Mean 31.9167

Subset 2

Group Grp 6
Mean 35.2500

Subset 3

Group Grp 5
Mean 40.5833

Subset 4

Group Grp 4
Mean 47.6667

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Subset 5
 Group Grp 3
 Mean 55.7500

Subset 6
 Group Grp 2
 Mean 65.8333

Subset 7
 Group Grp 1
 Mean 94.1667

Color = Tooth

Variable FORCE by Variable TIME

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	6	51401.6667	8566.9444	630.4857	.0000
Within Groups	203	2758.3333	13.5878		
Total	209	54160.0000			

GGGGGGG

rrrrrrr

ppppppp

7 6 5 4 3 2 1

Mean	TIME	
28.2500	Grp 7	
32.0833	Grp 6	*
34.8333	Grp 5	*
41.1667	Grp 4	***
49.3333	Grp 3	****
56.0833	Grp 2	*****
76.7500	Grp 1	*****

Subset 1
 Group Grp 7
 Mean 28.2500

Subset 2

Group	Grp 6	Grp 5
Mean	32.0833	34.8333

Subset 3

Group	Grp 4
Mean	41.1667

Subset 4

Group	Grp 3
Mean	49.3333

Subset 5

Group	Grp 2
Mean	56.0833

Subset 6

Group	Grp 1
Mean	76.7500

Color = Clear (Unitek)

Variable FORCE by Variable TIME

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	6	96866.6667	16144.4444	1689.3414	.0000
Within Groups	203	1940.0000	9.5567		
Total	209	98806.6667			

GGGGGGG

rrrrrrr

ppppppp

7 6 5 4 3 2 1

Mean	TIME	
33.3333	Grp 7	
37.8333	Grp 6	*
44.0833	Grp 5	**
52.7500	Grp 4	***
63.3333	Grp 3	****
72.4167	Grp 2	*****
99.9167	Grp 1	*****

Subset 1

Group	Grp 7
Mean	33.3333

Subset 2

Group	Grp 6
Mean	37.8333

Subset 3

Group	Grp 5
Mean	44.0833

Subset 4

Group	Grp 4
Mean	52.7500

Subset 5

Group	Grp 3
Mean	63.3333

Subset 6

Group	Grp 2
Mean	72.4167

Subset 7

Group	Grp 1
Mean	99.9167



ศูนย์วิทยทรัพยากร
 ภาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Color = Grey (unitek)

Variable FORCE by Variable TIME

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	6	73396.8452	12232.8075	1115.9674	.0000
Within Groups	203	2225.2083	10.9616		
Total	209	75622.0536			

G G G G G G G

r r r r r r r

P P P P P P P

7 6 5 4 3 2 1

Mean	TIME	
32.0833	Grp 7	
36.0833	Grp 6	*
40.5833	Grp 5	**
48.0833	Grp 4	***
57.4167	Grp 3	****
65.5000	Grp 2	*****
90.0000	Grp 1	*****

Subset 1

Group Grp 7
Mean 32.0833

Subset 2

Group Grp 6
Mean 36.0833

Subset 3

Group Grp 5
Mean 40.5833

Subset 4

Group Grp 4
Mean 48.0833

ศูนย์วิทยทรัพยากร
สุพาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Subset 5
 Group Grp 3
 Mean 57.4167

Subset 6
 Group Grp 2
 Mean 65.5000

Subset 7
 Group Grp 1
 Mean 90.0000

3. ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของร้อยละของแรงเริ่มต้นที่ลดลงของพลาสติก โมดูลแต่ละสีที่ช่วงเวลาต่างๆ โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ .05 แล้วทำการเปรียบเทียบพหุคูณ (multiple comparison test) ด้วยวิธีของ Tukey HSD ที่ระดับนัยสำคัญ .05

Color = Pink

Variable FORCE by Variable RANGE

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	5	13555.7971	2711.1594	342.5488	.0000
Within Groups	174	1377.1520	7.9147		
Total	179	14932.9491			

ศูนย์วิจัยการพอลิเมอร์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

GGGGGG
 rrrrrr
 pppppp
 5 6 3 4 2 1

Mean	RANGE
4.6100	Grp 5
6.3967	Grp 6
9.3667	Grp 3 **
9.9433	Grp 4 **
12.3300	Grp 2 ****
30.8400	Grp 1 *****

Subset 1

Group	Grp 5	Grp 6
Mean	4.6100	6.3967

Subset 2

Group	Grp 3	Grp 4
Mean	9.3667	9.9433

Subset 3

Group	Grp 2
Mean	12.3300

Subset 4

Group	Grp 1
Mean	30.8400

Color = Purple

Variable FORCE by Variable RANGE

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	5	10507.5689	2101.5138	358.2338	.0000
Within Groups	174	1020.7397	5.8663		
Total	179	11528.3086			

G G G G G

r r r r r

P P P P P

6 5 4 2 3 1

Mean	RANGE
4.7833	Grp 6
6.1067	Grp 5
9.2533	Grp 4 **
9.2700	Grp 2 **
9.7633	Grp 3 **
27.7400	Grp 1 *****

Subset 1

Group	Grp 6	Grp 5
Mean	4.7833	6.1067

Subset 2

Group	Grp 4	Grp 2	Grp 3
Mean	9.2533	9.2700	9.7633

Subset 3

Group	Grp 1
Mean	27.7400

Color = Green

Variable FORCE by Variable RANGE

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	5	10599.1618	2119.8324	336.5528	.0000
Within Groups	174	1095.9673	6.2987		
Total	179	11695.1291			

G G G G G G

r r r r r r

p p p p p p

6 5 4 3 2 1

Mean RANGE

4.5267	Grp 6	
4.6733	Grp 5	
9.0000	Grp 4	**
10.9833	Grp 3	***
12.5367	Grp 2	***
27.3267	Grp 1	*****

Subset 1

Group	Grp 6	Grp 5
Mean	4.5267	4.6733

Subset 2

Group Grp 4
 Mean 9.0000

Subset 3

Group Grp 3 Grp 2
 Mean 10.9833 12.5367

Subset 4

Group Grp 1
 Mean 27.3267

Color = Clear (Ormc0)

Variable FORCE by Variable RANGE

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	5	1892.9918	378.5984	101.7967	.0000
Within Groups	174	647.1340	3.7192		
Total	179	2540.1258			

G G G G G G

r r r r r r

p p p p p p

3 5 2 4 6 1

Mean RANGE

3.1633 Grp 3

4.1933 Grp 5

5.0933 Grp 2 *

7.6067 Grp 4 ***

7.6633 Grp 6 ***

13.0267 Grp 1 *****

Subset 1

Group Grp 3 Grp 5
 Mean 3.1633 4.1933

Subset 2
 Group Grp 5 Grp 2
 Mean 4.1933 5.0933

Subset 3
 Group Grp 4 Grp 6
 Mean 7.6067 7.6633

Subset 4
 Group Grp 1
 Mean 13.0267

Color = Grey (Ormco)

Variable FORCE by Variable RANGE

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	5	1546.1067	309.2213	39.0827	.0000
Within Groups	174	1376.6853	7.9120		
Total	179	2922.7920			

GGGGGG

rrrrrr

PPPPPP

3 2 5 6 4 1

Mean	RANGE
3.2800	Grp 3
5.7133	Grp 2 *
6.1833	Grp 5 *
6.4433	Grp 6 *
7.9767	Grp 4 **
12.8433	Grp 1 *****

Subset 1
 Group Grp 3
 Mean 3.2800

Subset 2

Group	Grp 2	Grp 5	Grp 6
Mean	5.7133	6.1833	6.4433

Subset 3

Group	Grp 5	Grp 6	Grp 4
Mean	6.1833	6.4433	7.9767

Subset 4

Group	Grp 1
Mean	12.8433

Color = Smoke

Variable FORCE by Variable RANGE

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	5	13938.8271	2787.7654	323.3529	.0000
Within Groups	174	1500.1293	8.6214		
Total	179	15438.9564			

G G G G G G

r r r r r r

p p p p p p

6 5 4 3 2 1

Mean	RANGE
3.5600	Grp 6
5.7033	Grp 5
7.5033	Grp 4 *
8.5767	Grp 3 **
10.6967	Grp 2 ***
30.0533	Grp 1 *****

Subset 1

Group	Grp 6	Grp 5
Mean	3.5600	5.7033

Subset 2

Group	Grp 5	Grp 4
Mean	5.7033	7.5033

Subset 3

Group	Grp 4	Grp 3
Mean	7.5033	8.5767

Subset 4

Group	Grp 3	Grp 2
Mean	8.5767	10.6967

Subset 5

Group	Grp 1
Mean	30.0533

Color = Tooth

Variable FORCE by Variable RANGE

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	5	9970.7964	1994.1593	86.2261	.0000
Within Groups	174	4024.1160	23.1271		
Total	179	13994.9124			

GGGGGG

rrrrrr

PPPPPP

5 6 4 2 3 1

Mean	RANGE
3.5567	Grp 5
5.1533	Grp 6
8.3567	Grp 4 *
8.8367	Grp 2 **
10.6967	Grp 3 **
26.2533	Grp 1 *****

Subset 1

Group	Grp 5	Grp 6
Mean	3.5567	5.1533

Subset 2

Group	Grp 6	Grp 4
Mean	5.1533	8.3567

Subset 3

Group	Grp 4	Grp 2	Grp 3
Mean	8.3567	8.8367	10.6967

Subset 4

Group	Grp 1
Mean	26.2533

Color = Clear (Unitek)

Variable FORCE by Variable RANGE

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	5	10375.0487	2075.0097	305.0842	.0000
Within Groups	174	1183.4493	6.8014		
Total	179	11558.4980			

GGGGGG

rrrrrr

PPPPPP

6 5 4 2 3 1

Mean	RANGE
4.5167	Grp 6
6.2700	Grp 5
8.6633	Grp 4 **
9.0667	Grp 2 **
10.6067	Grp 3 ***
27.4967	Grp 1 *****

Subset 1

Group	Grp 6	Grp 5
Mean	4.5167	6.2700

Subset 2

Group	Grp 4	Grp 2
Mean	8.6633	9.0667

Subset 3

Group	Grp 2	Grp 3
Mean	9.0667	10.6067

Subset 4

Group	Grp 1
Mean	27.4967

Color = Grey (Unitek)

Variable FORCE by Variable RANGE

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	5	10244.4218	2048.8844	300.4007	.0000
Within Groups	174	1186.7677	6.8205		
Total	179	11431.1895			

GGGGGG

rrrrrr

PPPPPP

6 5 4 2 3 1

Mean	RANGE
4.4567	Grp 6
5.0733	Grp 5
8.3633	Grp 4 **
9.0100	Grp 2 **
10.4067	Grp 3 ***
26.9000	Grp 1 *****

Subset 1		
Group	Grp 6	Grp 5
Mean	4.4567	5.0733

Subset 2		
Group	Grp 4	Grp 2
Mean	8.3633	9.0100

Subset 3		
Group	Grp 2	Grp 3
Mean	9.0100	10.4067

Subset 4		
Group	Grp 1	
Mean	26.9000	

4. ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของร้อยละของแรงเริ่มต้นที่ลดลง ที่ช่วงเวลาต่างๆของพลาสติกโมดูลแต่ละสี โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ .05 แล้วทำการเปรียบเทียบพหุคูณ (multiple comparison test) ด้วยวิธีของ Tukey HSD ที่ระดับนัยสำคัญ .05

Range = 0-1 hr.

Variable FORCE by Variable COLOR

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	8	11232.4980	1404.0622	77.5322	.0000
Within Groups	261	4726.5540	18.1094		
Total	269	15959.0520			

GGGGGGGGG
 rrrrrrrrr
 P P P P P P P P P P

5 4 7 9 3 8 2 6 1

Mean	COLOR	
12.8433	Grp 5	
13.0267	Grp 4	
26.2533	Grp 7	**
26.9000	Grp 9	**
27.3267	Grp 3	**
27.4967	Grp 8	**
27.7400	Grp 2	**
30.0533	Grp 6	***
30.8400	Grp 1	*****

Subset 1

Group	Grp 5	Grp 4
Mean	12.8433	13.0267

Subset 2

Group	Grp 7	Grp 9	Grp 3	Grp 8	Grp 2
Mean	26.2533	26.9000	27.3267	27.4967	27.7400

Subset 3

Group	Grp 9	Grp 3	Grp 8	Grp 2	Grp 6
Mean	26.9000	27.3267	27.4967	27.7400	30.0533

Subset 4

Group	Grp 8	Grp 2	Grp 6	Grp 1
Mean	27.4967	27.7400	30.0533	30.8400

Range = 1-4 hrs.

Variable FORCE by Variable COLOR

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	8	1571.2752	196.4094	23.1776	.0000
Within Groups	261	2211.7420	8.4741		
Total	269	3783.0172			

GGGGGGGGG

rrrrrrrrr

ppppppppp

4 5 7 9 8 2 6 1 3

Mean	COLOR	
5.0933	Grp 4	
5.7133	Grp 5	
8.8367	Grp 7	**
9.0100	Grp 9	**
9.0667	Grp 8	**
9.2700	Grp 2	**
10.6967	Grp 6	**
12.3300	Grp 1	*****
12.5367	Grp 3	*****

Subset 1

Group	Grp 4	Grp 5
Mean	5.0933	5.7133

Subset 2

Group	Grp 7	Grp 9	Grp 8	Grp 2	Grp 6
Mean	8.8367	9.0100	9.0667	9.2700	10.6967

Subset 3

Group	Grp 6	Grp 1	Grp 3
Mean	10.6967	12.3300	12.5367

Range = 4-24 hrs.

Variable FORCE by Variable COLOR

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	8	2314.0207	289.2526	34.5205	.0000
Within Groups	261	2186.9563	8.3791		
Total	269	4500.9771			

GGGGGGGGG

rrrrrrrrr

ppppppppp

4 5 6 1 2 9 8 7 3

Mean	COLOR	
3.1633	Grp 4	
3.2800	Grp 5	
8.5767	Grp 6	**
9.3667	Grp 1	**
9.7633	Grp 2	**
10.4067	Grp 9	**
10.6067	Grp 8	**
10.6967	Grp 7	**
10.9833	Grp 3	***

Subset 1

Group	Grp 4	Grp 5
Mean	3.1633	3.2800

Subset 2

Group	Grp 6	Grp 1	Grp 2	Grp 9	Grp 8	Grp 7
Mean	8.5767	9.3667	9.7633	10.4067	10.6067	10.6967

Subset 3

Group	Grp 1	Grp 2	Grp 9	Grp 8	Grp 7	Grp 3
Mean	9.3667	9.7633	10.4067	10.6067	10.6967	10.9833

Range = 24 hrs.-7 days

Variable FORCE by Variable COLOR

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	8	150.8641	18.8580	2.7057	.0071
Within Groups	261	1819.1233	6.9698		
Total	269	1969.9874			

GGGGGGGGG

rrrrrrrrr

ppppppppp

6 4 5 7 9 8 3 2 1

Mean	COLOR
7.5033	Grp 6
7.6067	Grp 4
7.9767	Grp 5
8.3567	Grp 7
8.3633	Grp 9
8.6633	Grp 8
9.0000	Grp 3
9.2533	Grp 2
9.9433	Grp 1

Subset 1

Group	Grp 6	Grp 4	Grp 5	Grp 7	Grp 9	Grp 8	Grp 3	Grp 2
Mean	7.5033	7.6067	7.9767	8.3567	8.3633	8.6633	9.0000	9.2533

Subset 2

Group	Grp 5	Grp 7	Grp 9	Grp 8	Grp 3	Grp 2	Grp 1
Mean	7.9767	8.3567	8.3633	8.6633	9.0000	9.2533	9.9433

Range = 7-14 days

Variable FORCE by Variable COLOR

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	8	225.6640	28.2080	6.2681	.0000
Within Groups	261	1174.5697	4.5003		
Total	269	1400.2337			

GGGGGGGGG

rrrrrrrrr

ppppppppp

7 4 1 3 9 6 2 5 8

Mean	COLOR
3.5567	Grp 7
4.1933	Grp 4
4.6100	Grp 1
4.6733	Grp 3
5.0733	Grp 9
5.7033	Grp 6 *
6.1067	Grp 2 **
6.1833	Grp 5 **
6.2700	Grp 8 **

Subset 1

Group	Grp 7	Grp 4	Grp 1	Grp 3	Grp 9
Mean	3.5567	4.1933	4.6100	4.6733	5.0733

Subset 2

Group	Grp 4	Grp 1	Grp 3	Grp 9	Grp 6
Mean	4.1933	4.6100	4.6733	5.0733	5.7033

Subset 3

Group	Grp 1	Grp 3	Grp 9	Grp 6	Grp 2	Grp 5	Grp 8
Mean	4.6100	4.6733	5.0733	5.7033	6.1067	6.1833	6.2700

Range = 14-21 days

Variable FORCE by Variable COLOR

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	8	399.8913	49.9864	10.0885	.0000
Within Groups	261	1293.1953	4.9548		
Total	269	1693.0867			

GGGGGGGGG

rrrrrrrrr

ppppppppp

6 9 8 3 2 7 1 5 4

Mean	COLOR	
3.5600	Grp 6	
4.4567	Grp 9	
4.5167	Grp 8	
4.5267	Grp 3	
4.7833	Grp 2	
5.1533	Grp 7	
6.3967	Grp 1	****
6.4433	Grp 5	****
7.6633	Grp 4	*****

Subset 1

Group	Grp 6	Grp 9	Grp 8	Grp 3	Grp 2	Grp 7
Mean	3.5600	4.4567	4.5167	4.5267	4.7833	5.1533

Subset 2

Group	Grp 2	Grp 7	Grp 1	Grp 5
Mean	4.7833	5.1533	6.3967	6.4433

Subset 3

Group	Grp 1	Grp 5	Grp 4
Mean	6.3967	6.4433	7.6633

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ประวัติผู้เขียน

ร้อยเอกหญิง ชนันทน์ ไตรทรัพย์ เกิดเมื่อวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2508 ที่โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ อำเภอปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จากคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2531 และเข้ารับราชการที่กองทันตกรรม โรงพยาบาลอานันทมหิดล อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี เป็นเวลา 4 ปี จึงได้ลาศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2536 ปัจจุบันรับราชการในสังกัดกระทรวงกลาโหม



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย