# รายการอ้างอิง

## ภาษาไทย


ชนัญ ผลประไพ. สภาวะที่เหมาะสมในการเลี้ยงเชื้อเพื่อผลิตโพลีเบต้าไฮดรอกซีบิวทีเรทจาก *Alcaligenes* sp. สายพันธุ์ A-04 ในระดับถังหมัก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์. Polymer Science I. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรุณ ชาญชัยเชาว์วิวัฒน์. ลักษณะและการสร้างโพลี-เบต้า-ไฮดรอกซีบิวทีเรทโดย *Alcaligenes* sp. A-04. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

อัญชนา ศุรติขจร. การสร้างโพลี(3-ไฮดรอกซีบิวทีเรท-โค-3-ไฮดรอกซีวาเลอเรท)โคโพลีเมอร์โดย *Alcaligenes* sp. สายพันธุ์ A-04. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.


## ภาษาอังกฤษ


Adamus, G., Kowalczuk, M., Jedlinski, Z., Ballistreri, A., Scherer, T. and Lenz, R.W. Degradation behavior of poly(methyl methacrylate-g-3-hydroxybutyrate) polymer films. Polym. Degrad. & Stab. 50 (1995) : 269-276.

Akhtar, S., Pouton, C.W., and Notarianni, L.J. Crystallization behaviour and drug release from bacterial polyhydroxyalkanoates. Polymer. 33 (1992) : 117-126.

American Society for Testing and Materials. ASTM standard method D883-91a. Standard terminology relating to plastics. *In* annual book of ASTM standards. (1992) : 322-335. An american national standard, Philadalphia.

Bauer, H., and Owen, A.J. Some structural and mechanical properties of bacterially produced poly-β-hydroxybutyrate-co-β-hydroxyvalerate. Colloid & Polymer Science. 266 (1988) : 241-247.

Bloembergen, S., Holden, D. A., Hamer, G. K., Bluhm, T. L., and Marchessault, R. H. Studies of composition and crystallinity of bacterial poly(β-hydroxybutyrate-co-β-hydroxyvalerate). Macromolecules. 19 (1986) : 2865-2871.

Bluhm, T.L., Hamer, G.K., Marchessault, R.H. and Veregin, R.P. Isodimorphism in bacterial poly(β-hydroxybutyrate-co-β-hydroxyvalerate). Macromol. 19 (1986) : 2871-2876.

Brandl, H., Gross, R.A., Lenz, R.W., and Fuller, R.C. Plastic from bacteria and for bacteria: poly(β-hydroxyalkanoates) as natural, biocompatible and biodegradable polyesters. Adv. Biochem. Eng. Biotechol. 41 (1990) : 78-79.

Budwill, K., Fedorax, P.M., and Page, W.J. Methanogenic degradation of poly(3-hydroxy alkanoates). Appl. Environ. Microbiol. 58 (1992) : 1398-1401.

Cacciari, I., Quatrini, P., Zirletta, G., Mincione, E., Vinciguerra, V., Lupattelli, P., and Sermanni, G.G. Isotactic polypropylene biodegradation by a microbial community: physiochemical characterization of metabolites produced. Appl. Environ. Microbiol. 59 (1993) : 3695-3700.

Comeau, Y., Hall, K.J. and Oldham, W.K. Determination of poly β-hydroxybutyrate and poly β-hydroxyvalerate in activated sludge by gas-liqiud chromatography. Appl. Environ. Microbiol. 54 (1988) : 2325-2327.

Cox, M.K. The effect of material parameters on the properties and biodegradation of 'BIOPOL'. Biodegrad. Polym. & Plas. (1992) Royal Society of Chemistry. UK. : 95-100.

Csomorova, K., Rychly, J., Bakos, D. and Janigova, I. The effect of inorganic additives on the decomposition of poly(beta-hydroxybutyrate) into volatile products. Polym. Degrad. & Stab. 43 (1994) : 441-446.

De Koning, G.J.M., Scheeren, A.H.C., and Lemstra, P.J. Crystallization phenomena in bacterial poly[(R)-3-hydroxybutyrate]: 3. toughening via texture changes. Polymer. 35 (1994) : 4598-4605.

Doi, Y. Microbial polyesters. (1990) VCH Publishers, Inc. New York.

Doi, Y. Nuclear magnatic resonance studies on poly(β-hydroxybutyrate) and copolyester of β-hydroxybutyrate and β-hydroxyvalerate isolated from *Alcaligenes eutrophus* H16. Macromolecules. 19 (1986) : 2860-2864.

Doi, Y., and Fukuda, K. Biodegradable Plastics and Polymers. (1994) Elsevier Science B.V. Amsterdam.

Doi, Y., Kanesawa, Y., and Kunioka, M. Biodegradation of microbial copolyesters: poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) and poly(3-hydroxybutyrate-co-4-hydroxy butyrate). Macromolecules. 23 (1990) : 26-31.

Doi, Y., Kanesawa, Y., Koyama, N., Nakamura, S., and Hiramishu, M. Microbial synthesis and properties of biodegradable plastics. pp. 264-270.

Doi, Y., Kumagai, Y., Tanahashi and Mukai, K. Structural effects on biodegradation of microbial and synthetic poly(hydroxyalkanoates). Biodegrad. Polym. & Plas. (1992) Royal Society of Chemistry. UK. : 139-148.

Doi, Y., Segawa, A., and Kunioka, M. Biodegradable poly(3-hydroxybutyrate-co-4-hydroxy butyrate) produced from γ-butyrolactone and butyric acid by *Alcaligenes eutrophus*. Polymer Commun. 30 (1989) : 169-171.

Doi, Y., Kazuya, K.I., Abe, H., Koyama, N., Ishiwatari, S.I., Takagi, K. and Yoshida, Y. Evaluation of biodegradabilities of biosynthetic and chemosynthetic polyesters in river water. Polym. Degrad. & Stab. 51 (1996) : 281-286.

Evans, J.D., Sikdar, S.K. Biodegradable plastics: an idea whose time has come?. Chemtech. 5 (1987) : 38-42.

Foster, L.J.R. and Tighe, B.J. Enzymatic assey of hydroxybutyric acid monomer formation in poly(β-hydroxybutyrate) degradation studies. Biomaterials. 16 (1995) : 341-343.

Gilmore, D.F., Lotti, N., Lenz, R.W., Fuller, R.C. and Scandola, M. Biodegradability of blends of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) with ester-substututed celluloses. Biodegrad. Polym. & Plas. (1992) Royal Society of Chemistry. UK. : 251-258.

Holland, S.J., Jolly, A.W., Vasin, M., and Tighe, B.J. Polymers for Biodegradable medical device II.hydroxybutyrate-hydroxyvalerate copolymer: hydrolytic degradation studies. Biomaterials. 8 (1987) : 289-295.

Holmes, P.A. Application of PHB -a microbially produced Biodegradable thermoplastic. Phys. Technol. 16 (1985) : 32-36.

Hrdlovic, P. Degradable polymers: current state and future potentials. Int. polym. Sci. & Tech. 21 (1994) : T/47-T/56.

Huffman, G.L. and Keller, D.J. The plastic issue. In : Guillet J. (Ed.) Polym. Ecolog. Prob. (1973) p. 155. London, Plehum.

Ito, H., Marchessault, R.H., and Manley, R.St.J. Uniaxial deformation of poly(β-hydroxy butyrate-co-hydroxyvalerate) gel films. Polymer Commun. 32 (1991) : 164-167.

Johnson, K.E., Pometto III, A.L., and Nikolov, Z.L. Degradation of degradable starch-polyethylene plastics in a compost environment. Appl. Environ. Microbiol. 59 (1993) : 1155-1161.

Kanesawa, Y., Tanahashi, N., Doi, Y. and Saito, T. Enzymatic degradation of microbial poly(3-hydroxyalkanoates). Polym. Degrad. & Stab. 45 (1994) : 179-185.

Kazuya, K.I., Doi, Y. and Yao, T. Enzymatic degradation of poly[(R)-3-hydroxybutyrate] by *Comamonas testosteroni* ATSU of soil bacterium. Polym. Degrad. & Stab. 45 (1994) : 379-386.

Kazuya, K.I., Inoue, Y., Yamada, K. and Doi, Y. Kinatics of surface hydrolysis of poly [(R)-3-hydroxybutyrate] film by PHB depolymerase from *Alcaligenes faecalis* T1. Polym. Degrad. & Stab. 48 (1995) : 167-174.

Kelen, T. Polymer degradation. (1983) Van Nostrand Reinhold Company. New York.

Kimura, M., Toyota, K., Iwatsuki, M. and Sawada, H. Effects of soil condition on biodegradation of plastics and responsible microorganisms. Biodeg. Plast. & Polym. (1994) : 92-109.

Kunioka, M., and Doi, Y. Thermal degradation of microbial copolyesters: poly(3-hydroxy butyrate-co-3-hydroxyvalerate) and poly( 3-hydroxybutyrate-co-4-hydroxybutyrate ). Macromolecules. 23 (1990) : 1933-1936.

Kunioka, M., Tamaki, A., and Doi, Y. Crystalline and thermal properties of bacterial copolyesters: poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) and poly(3-hydroxybutyrate -co-4-hydroxybutyrate). Macromolecules. 22 (1989) : 694-697.

Lauzier, C., Rovel, J.F., Debzi, E.M., and Marchesault, R.H. Hydrolytic degradation of isolated poly(β-hydroxybutyrate) granules. Polymer. 35 (1994) : 4156-4162.

Leaversuch, R. Industry weights need to make polymers biodegradable. Mod. Plas. 64 (1987) : 52-55.

Lee, S.Y. Bacterial polyhydroxyalkanoates. Biotech. Bioeng. 49 (1996) : 1-14.

Marchessault, R.H., Monasterios, C.J., Jesudason, J.J., Ramsay, B., Saracovan, I., Ramsay, J. and Saito, T. Chemical, enzymatic and microbial dgradation of bacterial and synthetic poly-β-hydroxyalkanoates. Polym. Degrad. & Stab. 45 (1994) : 187-196.

McCarthy, S.P., Dave, P., Jahedi, T., Eberiel, D. and Gross, R. Enzymatic dgradation of blends containing poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate). Polym. Degrad. & Stab. 45 (1994) : 197-203.

Mergaert, J., Wouters, A., Swings, J. and Kersters, K. Microbial flora involved in the biodegradation of polyhydroxyalkanoates. Biodegrad. Polym. & Plas. (1992) Royal Society of Chemistry. UK. : 267-270.

Mergaert, J., Webb, A., Anderson, C., Wouters, A., and Swings, J. Microbial dgradation of poly(3-hydroxybutyrate) and poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) in soils. Appl. Environ. Microbiol. 59 (1993) : 3233-3238.

Mitomo, H., Barham, P.J., and Keller, A. Temperature dependence of mechanical properties of poly(β-hydroxybutyrate-co-β-hydroxyvalerate). Polymer Commun. 29 (1988) : 112-115.

Mitomo, H., Watanabe, Y., Ishigaki, I. and Saito, T. Radiation-induced degradation of poly (3-hydroxybutyrate) and the copolymer poly(3-hydroxybutyrate-co-4-hydroxy butyrate). Polym. Degrad. & Stab. 45 (1994) : 11-17.

Mukai, K., Yamada, K. and Doi, Y. Efficient hydrolysis of polyhydroxyalkanoates by *Pseudomonas stutzeri* YM1414 isolated from lake water. Polym. Degrad. & Stab. 43 (1994) : 319-327.

Nakamura, K., Yoshie, N., Sakurai, M., and Inoue, Y. A structure study of the crystalline state of the bacterial copolyester poly(3-hydroxybutyrate-co-4-hydroxybutyrate). Polymer. 35 (1994) : 193-197.

Narayan, R. Biodegradable plastics. Biotechnol. (1993) : 135-150.

Nicholson, J. The chemistry of polymers. (1994) The Royal Society of Chemistry. UK.

Nishida, H., and Tokiwa, Y. Effects of higher-order structure of poly(3-hydroxybutyrate) on its biodegradation. I. effects of heat treatment on microbial degradation. J. Appl. Polym. Sci. 46 (1992) : 1467-1476.

Nishida, H., and Tokiwa, Y. Effects of higher-order structure of poly(3-hydroxybutyrate) on its biodegradation. II. effects of crystal structure on microbial degradation. J. Environ. Polym. Degrad. 1 (1993) : 65-80.

Ohtake, Y., Kobayashi, T., Itoh, S., Asabe, H., Yabuki, M., Murakami, N. and Ono, K. Development of biodegradable LDPE compound and evaluation of its biodegradability. Int. Polym. Sci. & Tech. 22 (1995) : T/49-T/56.

Organ, S.J. Phase separation in blends of poly(hydroxybutyrate) with poly(hydroxy butyrate-co-hydroxyvalerate): variation with blend components. Polymer. 35(1994): 86-92.

Organ, S.J. Variation in melting point with molecular weight for hydroxybutyrate/ hydroxyvalerate copolymers. Polymer. 34 (1993) : 2175-2179.

Pearce, R., and Marchesault, R.H. Multiple melting in blends of isotactic and atactic poly(β-hydroxybutyrate). Polymer. 35 (1994) : 3990-3997.

Pearce, R., Brown, G.R., and Marchesault, R.H. Crystallization kinetics in blends of isotactic and atactic poly(β-hydroxybutyrate). Polymer. 35 (1994) : 3984-3989.

Raghavan, D. Characterization of biodegradable plastics. Polym.-Plast. Technol. Eng. 34 (1995) : 41-63.

Ramsay, B.A., Langlade, V., Carreau, P.J., and Ramsay, J.A. Biodegradability and mechanical properties of poly ( β-hydroxybutyrate-co-β-hydroxyvalerate )- starch blends. Appl. Environ. Microbiol. 59 (1993) : 1242-1246.

Satoh, H., Yoshie, N., and Inoue, Y. Hydrolytic degradation of blends of poly(3-hydroxy butyrate) with poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate). Polymer. 35 (1994) : 286-290.

Scandola, M., Geccouelli and Doi, Y. Viscoelastic relaxation and thermal properties of bacterial poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) and poly(3-hydroxybutyrate-co-4-hydroxybutyrate) Int. J. Biol. Macromol. 12 (1990) : 112-117.

Tomasi, G., Scandola, M., Briese, B.H., and Jendrossek, D. Enzymatic degradation of bacterial poly(3-hydroxybutyrate) by a depolymerase from *Pseudomonas lemoignei*. Macromolecules. 29 (1996) : 507-513.

Torres, A., Li, S. M., Roussos, S. and Vert, M. Screening of microorganisms of biodegradation of poly(lactic acid) and lactic acid-containing polymers. Appl. Environ. Microbiol. 62 (1996) : 2393-2397.

Urmeneta, J., Mas-Castella, J., and Guerrero, R. Biodegradation of poly-β-hydroxyalkanoates in a lake sediment sample increases bacterial sulphate reduction. Appl. Environ. Microbiol. 61 (1995) : 2046-2048.

Valentin, H., and Dennis, D. Metabolic pathway for poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxy valerate) formation in *Nocardia corallina*: inactivation of *mutB* by chromosomal integration of a kanamycin resistance gene. Appl. Environ. Microbiol. 62 (1996) : 372-379.

Wallen, L.L., and Rohwedder, W.K. Poly-β-hydroxyalkanoate from activated sludge. Environ. Sci. Technol. 8 (1974) : 576-579.

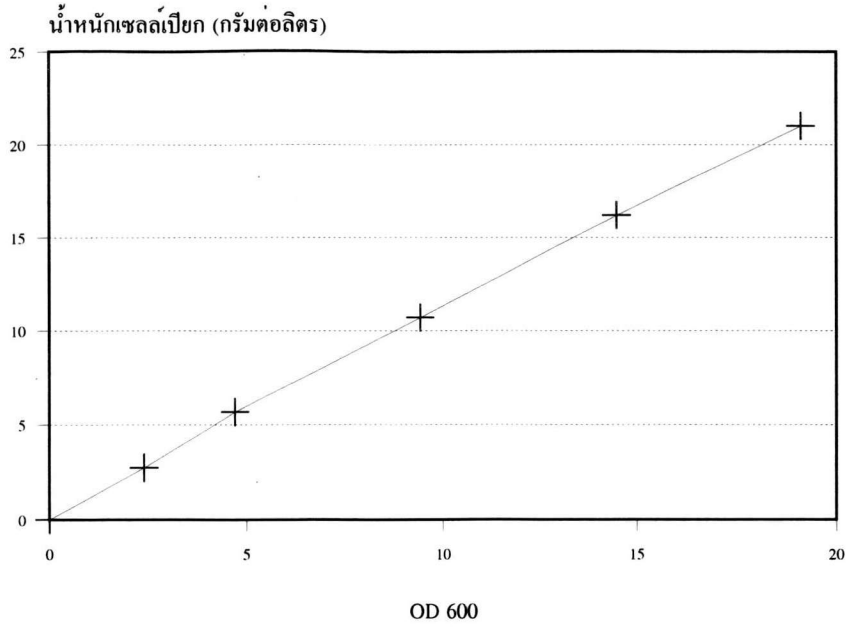
Wang, H.T., Palmer, H., Linhardt, R.J., Flanagan, D.R., and Schmitt, E. Degradation of poly(ester) micropheres. Biomaterials. 11 (1990) : 679-685.

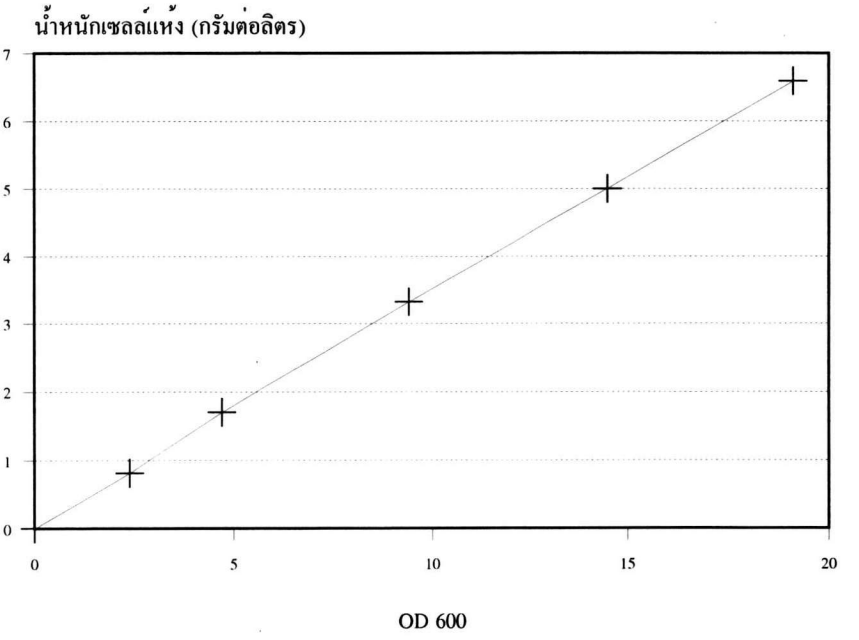
Yue, C.L., Gross, R.A. and McCarthy, S.P. Composting studies of Poly(β-hydroxybutyrate -co-β-hydroxyvalerate). Polym. Degrad. & Stab. 51 (1996) : 205-210.

# ภาคผนวก

## ก) การหาน้ำหนักเซลล์เปียกและน้ำหนักเซลล์แห้งในอาหารสำหรับเตรียมกล้าเชื้อ

เตรียมหัวเชื้อของ *Alcaligenes* sp. A-04 สำหรับเลี้ยงเป็นกล้าเชื้อ ซึ่งมีความเข้มข้นและปริมาณเริ่มต้นจากวิธีดำเนินงานวิจัยข้อ 2)การเตรียมหัวเชื้อสำหรับเลี้ยงเป็นกล้าเชื้อ นำมาเลี้ยงในอาหารเหลวสำหรับเลี้ยงกล้าเชื้อ ทำการเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 24 ชม. นำน้ำหมักมาตวงปริมาตร 10 20 40 60 และ 80 มล. ปั่นแยกเซลล์ที่ 8,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที นำมาละลายในน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 40 มล. และผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำแต่ละตัวอย่างมาเจือจางให้ได้ค่า $OD_{600}$ กระจายในช่วง 0.1-0.6 บันทึกค่าการเจือจางและค่า $OD_{600}$ ปิเปตตัวอย่าง 15 มล. กรองผ่านเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน ที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำมาชั่งหาน้ำหนักเซลล์เปียก จากนั้นนำไปอบแห้งจนน้ำหนักคงที่เพื่อชั่งหาน้ำหนักเซลล์แห้งต่อไป นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่าง $OD_{600}$ กับน้ำหนักเซลล์เปียกและน้ำหนักเซลล์แห้งเป็นกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ก)

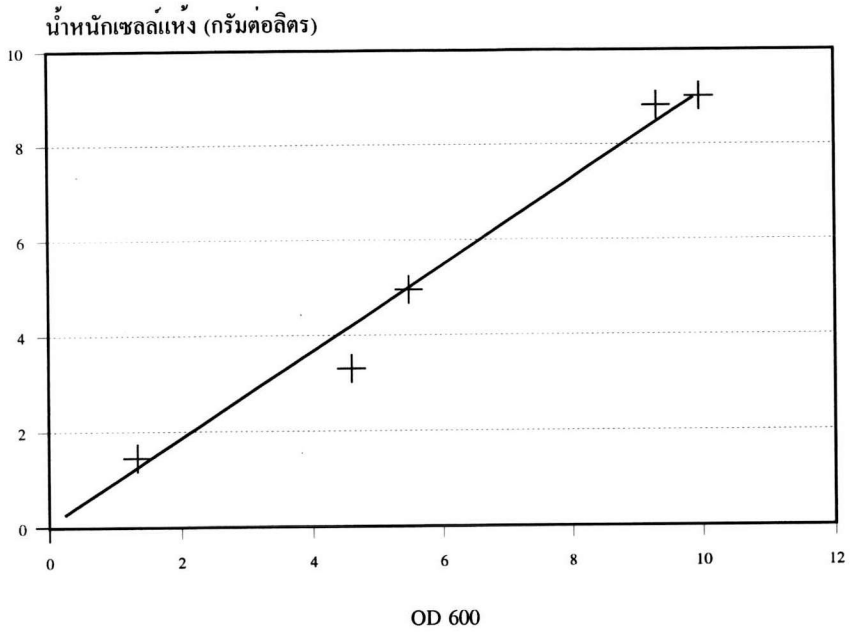



ภาคผนวก ก) กราฟมาตรฐาน ปริมาณน้ำหนักเซลล์เปียก และน้ำหนักเซลล์แห้งของ *Alcaligenes* sp. A-04 ในอาหารสำหรับเตรียมกล้าเชื้อ (น้ำหนักเซลล์เปียกเป็นกรัมต่อลิตรเท่ากับ 1.148 X OD 600 และน้ำหนักเซลล์แห้งเป็นกรัมต่อลิตรเท่ากับ 0.353 X OD 600 )

**ข) การหาน้ำหนักเซลล์แห้งในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อการผลิต PHA**

เตรียมหัวเชื้อของ *Alcaligenes* sp. A-04 สำหรับเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อการผลิต PHA ซึ่งมีความเข้มข้นและปริมาณเชื้อเริ่มต้น 12 กรัม(น้ำหนักเซลล์เปียก)ต่อลิตร นำมาลงในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อการผลิต PHA ทำการเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 60 ชม. ตวงน้ำหมักปริมาตร 10 20 40 60 และ 80 มล. ปั่นแยกเซลล์ที่ 8,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที นำมาละลายน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 40 มล. และผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำแต่ละตัวอย่างมาเจือจางให้ได้ค่า $OD_{600}$ อยู่ในช่วง 0.1-0.6 บันทึกค่าการเจือจางและค่า $OD_{600}$ เก็บไว้ ปิเปตสารละลายเซลล์ 20 มล. กรองผ่านเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอนที่ทราบน้ำหนักแห้งแล้ว ล้างเซลล์ด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง นำไปอบแห้งจนได้น้ำหนักคงที่ คำนวณหาน้ำหนักแห้งของเซลล์จากผลต่างของน้ำหนักเซลล์แห้งและเมมเบรนกับน้ำหนักเมมเบรนเปล่า นำข้อมูลมาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่า $OD_{600}$ กับน้ำหนักเซลล์แห้งเป็นกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ข)




ภาคผนวก ข) กราฟมาตรฐาน และน้ำหนักเซลล์แห้งของ *Alcaligenes* sp. A-04 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อการผลิต (น้ำหนักเซลล์แห้งเป็นกรัมต่อลิตรเท่ากับ 1.0625 X OD 600 )

**ค) การคำนวณปริมาณโมโนเมอร์ของ 3HB 3HV และ 4HB**

การคำนวณปริมาณโมโนเมอร์ของ 3HB 3HV และ 4HB (กรัมต่อลิตรต่อไลโอฟิไลซ์เซลล์ 20 มก.) ทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Star chromatogram Ver.4.0 ซึ่งคำนวณปริมาณโมโนเมอร์เป็นกรัมต่อลิตร (โดยมีสารมาตรฐานภายในเป็นกรดเบนโซอิก 2 มก.ต่อมล.) เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานที่ทำการวิเคราะห์ในภาวะเดียวกัน

$$\text{ปริมาณโมโนเมอร์ (กรัมต่อลิตร)} = \frac{\text{ค่าจากการวิเคราะห์ (กรัมต่อลิตร)} \times \text{น้ำหนักเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)}}{20 \times 1.10}$$

หมายเหตุ : 1.10 คือ corretion factor ระหว่างน้ำหนักเซลล์แห้งโดยการอบต่อน้ำหนักเซลล์แห้งภายใต้สูญญากาศ (dry cell weight = lyophilized cell weight x 1.10)

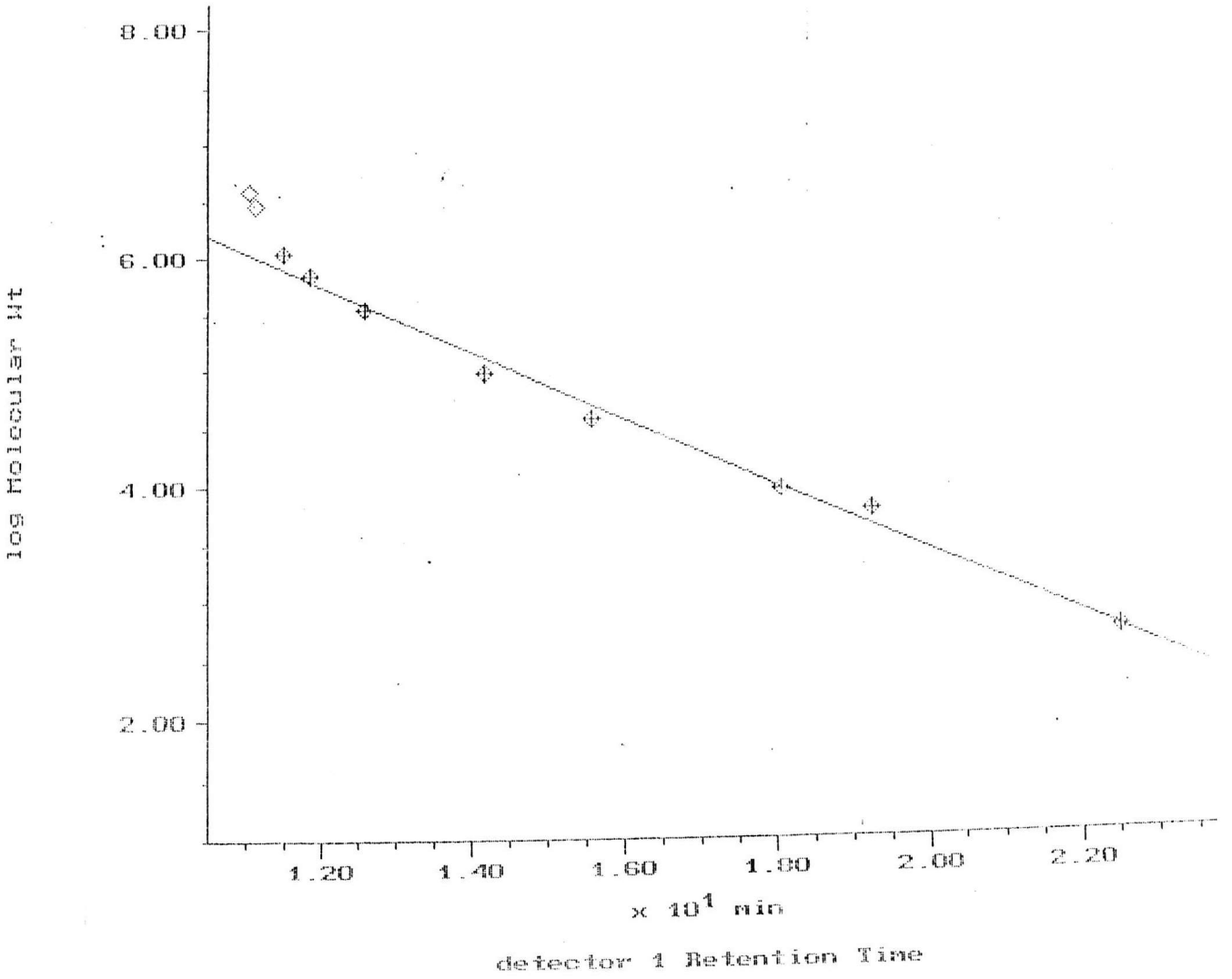
การคำนวณสัดส่วนองค์ประกอบในพอลิเมอร์ (mole fraction) ทำได้โดย

1. คำนวณหาปริมาณของแต่ละโมโนเมอร์จากสมการที่กล่าวมา
2. คำนวณหาจำนวนโมลของแต่ละโมโนเมอร์โดยการหารด้วยน้ำหนักโมเลกุลของแต่ละโมโนเมอร์ (น้ำหนักโมเลกุลของ 3HB, 4HB และ 3HV = 86, 86 และ 100 ตามลำดับ)
3. คำนวณหาโมลเปอร์เซ็นต์ (โมล %)

$$\text{โมลเปอร์เซ็นต์ ของ 3HB (โมล \%)} = \frac{\text{จำนวนโมลของ 3HB} \times 100}{\text{ผลรวมของจำนวนโมลของโมโนเมอร์ทั้งหมด}}$$

โมโนเมอร์ชนิดอื่นคำนวณในทำนองเดียวกัน

| สารมาตรฐาน | F380 | F288 | F128 | F80 | F40 | F10 | F4 | F1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| retention time | 11.06 | 11.15 | 11.51 | 11.87 | 12.59 | 14.21 | 15.74 | 18.16 |
| น้ำหนักโมเลกุล (specific MW) | 3840000 | 2890000 | 1090000 | 706000 | 355000 | 96400 | 37900 | 9100 |




**ง) กราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานพอลิสไตรีน F380-F1 สำหรับการคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของพอลิเมอร์**

# ประวัติผู้วิจัย

นางสาว สุกฤตยา วีระนนท์ เกิดเมื่อวันที่ 13 มีนาคม พ.ศ. 2514 ที่จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2535 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ภาควิชาจุลชีววิทยา ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อพ.ศ. 2536