

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- เกศินี สรรวานิช.2534. ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ดินตะกอนหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) บริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- จรูญ สารินทร์.2537. การกระจายของอะลิฟาทิกและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนบริเวณอ่าวไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชนะชัย เลิศสุชาตวนิช.2542. สถิติน้ำมันรั่วไหลในประเทศไทย.วารสารกรมเจ้าท่า 2 : 95 - 99.
- ชรัตน์ รุ่งเรืองศิลป์.2533. น้ำมัน : ปัญหาภาวะมลพิษจากการปนเปื้อนในน้ำและการจัดการแก้ไข. กองวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม. สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 84 - 91.
- เชาวน์ นกอยู่.2538. การปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ตะกอนและหอยแมลงภู่ *Perna viridis* บริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปัญญาพล ชินาคม. 2543. การสร้างกลุ่มประชากรจุลินทรีย์เพื่อการย่อยสลายน้ำมันดิบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มณี ผลิตผลการพิมพ์.2538. การย่อยสลายน้ำมันดิบ โดยจุลินทรีย์จากดิน. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ชีววิทยาสภาวะแวดล้อม) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ยูเรศน์ เอมเข้ม.2537. การย่อยสลายนอร์มัล - อัลเคนในน้ำจืด โดย *Pseudomonas fluorescens* และ *Alcaligenes faecalis*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- วิมล ชอบชื่นชม. 2541. การย่อยสลายสารพิษตกค้างด้วยจุลชีพ. Thai Environmental Engineering Journal 12 : 42 – 45.
- วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.2537. เทคโนโลยีชีวภาพช่วยแก้ปัญหาคราบน้ำมัน (พฤษภาคม – สิงหาคม).: 8 – 15.

วีระ ธีรภัทร.2528.พุดจากภาษาน้ำมัน.สำนักพิมพ์บริษัทสามัคคีสาสน์,พิมพ์ที่บริษัทศรีสมบัติการ
พิมพ์ จำกัด, พิมพ์ครั้งที่ 1. 1 - 148.

สุจิตรา เชาว์ปรีชา.2530.ผลกระทบของน้ำมันดิบอะเรเบียนชนิดเบาในรูปละลายน้ำต่อลูกปลา
กะพงขาว.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริพร เหลืองนฤทัย.2535.การย่อยสลายปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล *Flavobacterium*
meningosepticum และ *Pseudomonas fluorescens*.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหา
บัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาเอกอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยมหิดล.

อรรณวลุณี อิมพลทรัพย์. 2537 . รายงานการวิจัยการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันในประเทศไทย
(Bioremediation of oil – polluted water in Thailand). ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 45 หน้า.

ภาษาอังกฤษ

Alexander,M.1999.Biodegradation and Bioremediation,2 nd ed.Academic Press,San Diego,Calif.

Ampai ,S.1999.Effect of temperature and surfactant on bioremediation of crude oil in soil by
Candida tropicalis.Master's thesis, Major of Environmental Biology , Faculty of Graduate
studies, Mahidol University.

Atlas ,R.M.1975.Effect of temperature and crude oil composition on petroleum
biodegradation.Appl Microbiol 30 : 396 - 403.

Atlas ,R.M.1977.Stimulated petroleum biodegradation.Crit Rev in Microbiol 5 : 137 - 386.

Atlas ,R.M.1981.Petroleum Microbiology.New York : Macmillan.

Atlas ,R.M.1981.Microbial degradation of petroleum hydrocarbon : an environmental
perspective.Microbiol Rev 45(1) : 180 - 209.

Atlas ,R.M.1984.Petroleum Microbiology.New York : Macmillan.

Atlas ,R.M.1995.Petroleum biodegradation and oil spill bioremediation.Mar Pollut Bull 31 : 178

- 182.

- Atlas ,R.M., and Bartha ,R.1972.Degradation and mineralization of petroleum in seawater : limitation by nitrogen and phosphorus.Biotechnology and Bioengineering14 : 309 - 317.
- Atlas ,R.M., and Bartha ,R.1973.Fate and effects of oil pollution in the marine environment.Residual Rev 45 : 180 - 209.
- Atlas ,R.M., and Bartha ,R.1973.Abundance, distribution and oil biodegradation potential of microorganisms in Raritan Bay.Environmental Pollution 4 : 291 - 300.
- Atlas ,R.M.;Schofield ,E.A.; Morelli ,F.A., and Cameron,R.E.1976.Interaction of microorganisms and petroleum in the Arctic.Environ. Pollut 10 : 35 - 40.
- Baker ,K.H.; Herson ,D.S.1994.Bioremediation.New York : McGraw - Hill.
- Bartha ,R.,and Atlas ,R.M.1977.The microbiology of aquatic oil spills.Adv. Appl. Microbiol 22 : 225 - 266.
- Bearstecher ,E.1954.Petroleum Microbiology.New York Elsevier Press.
- Banat ,I.M.1995.Biosurfactants production and possible uses in microbial enhanced oil recovery and oil pollution remediation : A review. Biores. Technol 51 : 1 – 12.
- Bertrand ,J.C.; Rambeloarisoa ,E.; Rontani ,J.F; Giusti ,G.; Matti ,G.1983.Microbial degradation of crude oil in sea water in continuous culture.Biot. Lett. 5 :567 – 572.
- Bossert, I.,and Bartha, R. 1984.The fate of petroleum in soil ecosystems In : Atlas ,R.M., Editor. Petroleum Microbiology New York : Macmillan. : 434 - 476.
- Bossert ,I.D.,and Compean ,G.C. 1995.Cleanup of petroleum hydrocarbon contamination in soil. In : Yong ,L.Y.,and Cerniglia ,C.E., editors. Microbial transformation and degradation of toxic organic chemicals.New York : Wiley - Liss. : 77 - 125.
- Braddock ,F.J.;Linstrom,E.J.,and Brown ,J.E.1995.Distribution of hydrocarbon – degrading microorganisms in sediments from Prince William Sound,Alaska, following the Exxon Valdez Oil Spill.Mar. Pollut. Bull. 30 : 125 - 132.

- Britton, L.N. 1984. Microbial Degradation of Aliphatic Hydrocarbon, Microbial Degradation of Organic Compounds, Gibson, D.T. (Ed.), Marcel Dekker, New York, :89 - 130.
- Bruheim, P.; Bredholt, H., and Eimhjellen, K. 1997. Bacterial degradation of emulsified crude oil and the effect of various surfactants. Can. J. Microbiol 43:17 - 22.
- Bruheim, P.; Bredholt, H., and Eimhjellen, K. 1999. Effect of surfactant mixtures, including Corexil 9527, on bacterial oxidation of acetate and alkanes in crude oil. Appl. Environ. Microbiol 65 : 1658 – 1661.
- Busdosh, M., and Atlas, R.M. 1977. Toxicity of oil slicks to Arctic amphipods. Arctic 30(2) : 85 - 92.
- Calomiris, J.J., Austin, B.; Walker, J.D., and Colwell, R.R. 1976. Enrichment for estuarine petroleum - degrading bacteria using liquid and solid media. J. Appl. Bacteriol 12 : 135 - 144.
- Cassidy, D.P. 2001. Biological Surfactant Production in a Biological Slurry Reactor Treating Diesel Fuel Contaminated Soil. Water Environ Res 73 : 87 - 94.
- Cookson, J.R. 1995. Bioremediation Engineering Design and Application. McGraw - Hill, Inc. Printed in the United States of America. pp.524.
- Cooney, J.J. 1984. The fate of petroleum pollutants in freshwater ecosystems. In : Petroleum Microbiology (Atlas, R.M., ed.), pp.399 - 434. Macmillan Publishing Co., New York.
- Cooney, J.J.; Silver, S.A., and Beck, E.A. 1985. Factors influencing hydrocarbon degradation in three freshwater lakes. Microb. Ecol 11 : 127 - 137.
- Colwell, R.R.; Mill, A.L.; Walker, J.D.; Garcia, T.P., and Compas, P.V. 1978. Microbial ecology of the Metula spill in the strains of Magellan. J. Fish. Res. Board. Can 35 : 573 - 580.
- Crathorne, B., and Dobbs, A.J. 1990. Chemical Pollution of the Aquatic Environment by Priority Pollutants and Its Control. Water Research. : 292
- Davies, J.B. 1967. Petroleum Microbiology. Amsterdam, London and New York : Elsevier.
- Davies, J.A., and Hughes, D.E. 1968. In Proc. Symp. Biol. Eff. Oil Pollut. Littoral

,Communities,ed.J.D.Carth.Field Studies Council,London,;p.139.

- Davies ,S.J.,and Gibbs, C.F.1975.The effect of weathering on crude oil residue exposed at sea.Wat. Res 9 : 275 - 285.
- Davies ,J.S., and westlake ,D.W.S.1979.Crude oil utilization by fungi.Can. J. Microbiol 25 : 146 - 156.
- Dibble ,J.T., and Bartha ,R.1979.Effect of environmental parameters on the biodegradation of oil sludge.Applied and Environ. Microbiol 37 : 729 - 739.
- Dodd, E.N. 1974. Oil and dispersants : chemical consideration., ecological aspects of toxicity testing of oil and dispersants. Applied Science Publisher, LTD.
- Duffus,J.H.1982.Petroleum and Radionuclides.Environmental Toxicology.John Wiley and Sons,New York. : 94 - 97.
- Dumenil ,G.; Mattei ,G., Sergent ,M.; Bertrand ,J.C.; Laget,M.,and Phan Tan Luu ,R.1988. Application of a Doehlert experimental design to the optimization of microbial degradation of crude oil in sea water by continuous culture.Appl Microbiol.and Biotehnlol 27:405 – 409.
- El ,A.M.M.,and Moursy ,A.S.1962. Envi.Int.;7: 309.
- Environmental Protection Agency.1977.A summary of Accidents Related to Non – Nuclear Energy.Pecision Series,EPA. : 3 - 4.
- Fan ,C.Y.,and Tafuri ,A.N.1994.Engineering application of biooxidation processes for treating petroleum contaminated soil.In Wise ,D.L.,and Trantolo ,D.J.,editors : Remediation of hazardous waste contaminated soils. New York. : p.373 - 401
- Farrington ,T.D., and Meyer,P.A..1975.Hydrocarbons in the marine environment. Environmental Chemistry.Specialist periodical reports.The Chemistry Society,Burlington Home,London. : 109 - 135.
- Floodgate, G.D. 1984. The fate of petroleum in marine ecosystem. In: Atlas, R.M., editor. Petroleum Microbiology. New York : Macmillan. : 355 – 397.

- Foght, J.M.; Gutnick, D.L., and Westlake, W.S. 1989. Effect of emulsan on biodegradation of crude oil by pure and mixed bacterial cultures. Appl. Environ. Microbiol 55: 36 – 42.
- Frank ,C.E.1959.Hydrocarbon autoxidation.Chem. Rev 16 : 155 - 169.
- Geyer ,R.A.1980.Hydrocarbon Amsterdam.Marine Environmental Pollution.Elsevier Scientific Publishing Company.
- Guerra,S., Kappeli ,L., and Fiechter ,A.1986.Dependence of *Pseudomonas aeruginosa* continuous culture biosurfactant production on nutritional and environmental factors.Appl.Microbiol.Biotech 24: 443 - 448.
- Hoff ,R.Z.1993.Bioremediation: an overview of its development and use for oil spill cleanup.Mar. Pollut. Bull 16 : 476 - 481.
- Horowitz ,A., and Atlas ,R.M.1979.Response of microorganisms to an accidental gasoline spillage in an Arctic freshwater ecosystem.Appl. Environ. Microbiol 33 : 1252 - 1258.
- Horowitz ,A., and Atlas ,R.M.1980.Microbial seeding to enhance petroleum hydrocarbon biodegradation in aquatic arctic ecosystems. In : Proceeding of the Fourth International Biodegradation Symposium (Oxley, T.A.; Becker,G.,and Allsopp ,D.,eds.),Pitman,London. : 15 - 20.
- Horowitz ,A .; Gutnick ,D., and Rosenberg ,E.1975.Sequential growth of bacteria on crude oil.Appl. Microbiol 30 : 10 - 19.
- Ishigami ,Y.Y.; Gama ,H., Nagahora ,M.; Yamaguchi ,H.;Nakahara ,H., and Kamata ,T.1987.The pH-sensitive conversion of molecular aggregates of rhamnolipid biosurfactant.Chem. Lett 5: 763 - 766.
- Jamison ,V.M.;Taymand ,R.L., and Hudson ,J.O.1975.Biodegradation of high - octane gasoline in groundwater.Dev. Ind. Microbiol 16 : 305 - 312.
- Javaheri ,M.;Jenneman ,G.E., Mcinerney ,M.J. and Knapp ,R.M.1985.Anaerobic production of a biosurfactant by *Bacillus licheniformis* JF - 2.Appl.Environ.Microbiol 50: 698 - 700.

- Jenneman ,G.E.; Knapp, R.M.; McInerney, M.J.; Menzie ,D.E., and Revus ,D.E.1983.A halotolerant, biosurfactant-producing *Bacillus* species potentially useful of enhanced oil recovery.Dev.Ind.Microbiol 24: 485 - 492.
- Jennings,E.M.,and Tanner, R.S.2001.Biosurfactant - producing bacterial found in contaminate and uncontaminated soils.In : Proceedings of the 2000 Conference on Hazardous Waste Research : 299 - 306
- Jobson ,A.; Cook ,F.D.;Westlake ,D.W.S.1972.Microbial utilization of crude oil. Appl. Microbiol 23(6) : 1082 - 1089.
- Jones,D.M.;Douglas,A.G.;Parkers ,R.J.;Taylor ,J.;Giger ,W., and Schaffner ,C..1983.The recognition of biodegraded petroleum - derived aromatic hydrocarbons in recent marine sediments.Mar. Pollut. Bull 14 : 103 - 108.
- Jones ,J.G.,and Eddington ,M.A.1968.An ecological survey of hydrocarbon oxidizing microorganism.J.Gen. Microbiol 52 : 381 - 390.
- Jordan ,R.E., and Payne ,J.R.1980.Fate and weathering of petroleum spills in the marine environment.A literature Review and Synopsis. Ann Arbor Science Publishers,Inc.,Michigan.:115 - 124.
- Kampfer, P.; Steiof, M.; Becker, P.M.; and Dott, W. 1993.Characterization of chemoheterotrophic bacteria associated with in situ bioremediation of a waste – oil contaminated site. Microb. Ecol 26 : 161 – 188.
- Kinghorn ,R.R.F.1983.An Introduction to the physics and chemistry of Petroleum.John Wiley Son Ltd.,Singapore.: 69 - 113.
- Korda ,A.; Santas ,P.; Tenente ,A.;Santas ,R.1997.Petroleum hydrocarbon bioremediation : Sampling and analytical techniques, in situ treatments and commercial microorganisms currently used.Appl Microbiol Biotechnol 48 : 677 - 686.
- Lai,B., and Khanna,S.1996.Degradation of crude oil by *Acinetobacter calcoaceticus* and *Alcaligenes odorans*.J.Appl.Bacteriol 81 : 355 – 362.

- Leahy ,J.G., and Colwell ,R.R.1990.Microbial degradation of hydrocarbons in the environment.Microbiol .Rev 54(3) : 305 - 315.
- Leahy,J.G.;Somerville,C.C.;Cunningham,K.A.;Admantiades,G.A.;Byrd,J.J.,and Colwell,R.R.1990.Hydrocarbon mineralization in sediments and plasmid incidence in sediment bacteria from the Campeche Bank.Appl.Environ.Microbiol 56:1565 – 1570.
- Lepo ,J.E., and Cripe ,C.R.1999.Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) from crude oil in sandy-beach microcosms,Atlantic Canada Society for Microbial Ecology,Halifax.
- Liky,X.U.T; Cawley ,W.A.; Colapret ,J.A.; Bonner ,J.S.; Ernest ,A.,and Verramachaneni ,P.B.1994.Field test and mathematical modeling of bioremediation of an oil - contaminated soil - part 1 : field test.Waste .Manage 14(7) : 561 - 569.
- Liky,X.U.T.; Cawley ,W.A.; Colapret ,J.A.; Bonner ,J.S.; Ernest ,A.,and Verramachaneni ,P.B.1994.Field test and math modeling of bioremediation of an oil - contaminated soil - part 2 : Mathematical modeling.Waste managa 4(7) : 571 - 579.
- Linden ,O.1975.Acute effect of oil and oil/dispersants mixture on larval of baltic herring.Ambio 4 (3) : 130 - 133.
- Linden ,O.1976.The influence of crude oil/dispersants on the onto genic development of the baltic herring *Clupea herengusmenbra*.Ambio 5(3) : 136 - 141.
- Lindley ,N.D.1992.Hydrocarbon – degrading yeasts and filamentous fungi of biotechnological importance. In : Handbook of applied micrology : fungal biotechnology Vol 4 (edited by Arora ,D.K.;Elander ,R.P., and Mukerji ,K.G.),pp 905 – 929.Marcel Dekker,Inc.,New York.
- Lodder,J.1972.The Yeast.Second edition.,U.S.A.:Williams & Wilkins.
- Malley,J.P.;Eliason, P.A., and Wagler, J.1993.Point - of entry treatment of petroleum contaminated water supplies.Wat.Environ.Res 65:119 - 128.

- Margesin, R., and Schinner, F. 1997. Bioremediation of diesel – oil – contaminated alpine soil at low temperatures. Appl. Microbiol. Biotechnol 47: 462 – 468.
- Mattei, G., and Bertrand, J.D. 1985. Production of biosurfactants by a mixed bacteria population grown in continuous culture on crude oil. Biotechnol. Lett 7: 217 – 222.
- Mattei, G.; Rambeloarisoa, E.; Giusti, G.; Rontani, J.F., and Bertrand, J.C. 1986. Fermentation procedure of a crude oil in continuous culture on seawater. Appl. Microbiol. Biotechnol 23: 302 – 304.
- McAuliffe, C. 1963. Solubility in water of C_1 - C_9 Hydrocarbon. Nature 200 : 1092 - 1093.
- Mechalac, B.J.; Meyers, T.J., and Kolpack, R.L. 1972. Microbial decomposition patterns using crude oil in the microbial degradation of oil pollutant. USA.
- Mikael, E.; Jong, O.K., and William, W.M. 2001. Effect of low temperature and Freeze - Thaw Cycles on hydrocarbon biodegradation in Arctic Tundra soil. 67 : 5107 - 5112.
- Morgan, P., and Watkinson, R.J. 1989. Hydrocarbon degradation in soil and method for soil biotreatment. CrC. Crit. Rev. in Biotechnol 8(4) : 305 - 333.
- Morozov, N. 1978. Effect of environment on growth of crude oil degrading microorganism. Gichobio, Zh 14 : 55 – 61.
- Mueller, G.M.; Resnick, M.S.; Shelton, E.M., and Pritchard, H.P. 1992. Effect of inoculation on the biodegradation of weathered Prudhoe Bay crude oil. J. Ind. Microbiol 10 : 95 - 102.
- Mulligan, C.N. and Gibbs. 1989. The Correlation of nitrogen metabolism with biosurfactant production by *Pseudomonas aeruginosa*. Appl. Environ. Microbiol 55: 3016 - 3019.
- Mulkins, P.G.J., and Stewart, J.E. 1974. Effect of four dispersants on biodegradation and growth of bacteria on crude oil. Appl. microbiol 28(40) : 547 - 552.
- Mulkins, P.G.J., and Stewart, J.E. 1974. Effect of Environmental parameters on bacterial degradation of Bunker C oil, crude oils and hydrocarbons. Appl. Microbiol 26 : 915 - 922.

- Mulkins ,P.G.J.,and Stewart JE.1974.Distribution of hydrocarbon utilizing bacteria in northwestern Atlantic waters and coastal sediments.Can. J. Microbiol 20 : 955 – 962.
- Nitas ,P.1998.Crude oil degrading properties of the Bacterial Strain isolated in Thailand.Doctor's thesis,Major of Biopharmaceutical Science,Faculty of Graduate studies,Mahidol University.
- Pareilloux,A.1979.Hydrocarbon assimilation by *Candida lipolytica* : Formation of a biosurfactant ; Effect of respiration activity and growth.Appl.Microbiol.Biotechnol 8 : 91 - 101.
- Pfiffner ,S.M.;McInerney ,M.J.; Jenneman ,G.E.,and Knapp ,R.M.1986.Isolation of halotolerant, Thermotolerant, Facultative polymer - producing bacteria and characterization of the exopolymer.Appl.Environ.Microbiol 51: 1224 - 1229.
- Pickard ,M.A.;Roman ,R.;Tinoco ,R.;Vazquez ,D.R.1999.Polycyclic aromatic hydrocarbon metabolism by white rot fungi and oxidation by *Corioloropsis gallica* UAHM 8260 Laccase.Appl .Environ.Microbiol 65:3805 - 3809.
- Rainwater ,K.;Scholze ,R.J.1991.In situ biodegradation for treatment of contaminated soil and groundwater.In : Freeman HM , editor. Biological process vol.3 : Innovative hazardous waste treatment technology series. USA : P.R. Sferra Technomic. : 107 - 121.
- Reisfeld ,A.;Rosenberg ,E.,and Gutnick ,D.1972.Microbial degradation of oil : factors affecting oil dispersion in seawater by mixed and pure culture.Appl. Environ. Microbiol 24 : 363 - 368.
- Reisinger ,H.J.1995.Hydrocarbon bioremediation - an overview.In : Hincee,R.E;Kittel ,J.A.,and Reisinger ,H.J., editors.Applied bioremediation of petroleum hydrocarbons.Columbus (OH) : Battelle Press. : 1 - 9.
- Risebrough,R.W. et al.1983. Application of the mussel watch concept in studies of the distribution of hydrocarbons in the coastal zone of the Ebro Delta. Mar. Poll. Bull 14 : 181 - 187.
- Robson, A.; Cook, F.D., and Westlake, D.W.S. 1972 , Microbial utilization of crude oil. Appl. Microbiol 23 : 1082 – 1089.

- Rocha, C., and Infante, C. 1997. Enhanced oily sludge biodegradation by a tensio-active agent isolated from *Pseudomonas aeruginosa* USB - CS1. Appl. Microbiol. Biotechnol 47:615 - 619.
- Rosenberg, M. 1991. Basic and applied aspects of microbial adhesion at the hydrocarbon : water interface. CRC Crit Rev in Microbiol 18: 159 – 173.
- Rosenberg, M., and Rosenberg, E. 1981. Role of adherence in growth of *Acinetobacter calcoaceticus* RAG – 1 on hexadecane. J. Bacteriol 148: 51 – 57.
- Rosenberg, M., and Rosenberg, E. 1985. Bacterial adherence at the hydrocarbon – water interface. Oil Petrolchem. Pollut 2 : 155 – 162.
- Rosenberg, E.; Legmann, R.; Kushmaro, A.; Adler, E.; Raube, R.; Taube, A., and Ron, E.Z. 1992. Petroleum biodegradation – a multiphase problem. Biodegrad 3 : 337 – 350.
- Roy, P.K.; Singh, H.D.; Bhagat, S.D., and Baruah, J.N. 1979. Characterization of hydrocarbon emulsification and solubilization occurring during the growth of *Endomycopsis lipolytica* on hydrocarbons. Biotechnol. Bioeng 21 : 955 – 974.
- Sakai, Y.; Maeng, J.H.; Kobota, S.; Tani, A.; Tani, Y.; and Kato, N. 1996. A non-conventional dissimilation pathway for long chain n-alkanes in *Acinetobacter* sp. M - 1 that starts with a dioxygenase reaction. J. Ferment. Bioeng 81 : 286 - 291.
- Schobert, H.H. 1990. The Chemistry of hydrocarbon Fuels, Butterworth - Heinemann Ltd., Oxford. : 85 - 112.
- Schwarz, J.R.; Walker, J.D.; and Colwell RR. 1975. Deep-sea bacteria : growth and Utilization of n-hexadecane at in situ temperature and pressure. Can. J. Microbiol 21 : 682 - 687.
- Selano, S.F.; Marchal, R.; Lebeault, J.M.; and Vandecasteele, J.P. 1999. Biodegradation of gasoline : Kinetic, mass balance and fate of individual hydrocarbons. J. of Appl. Microbiol 86 : 1008 - 1016.
- Sexstone, A.J., and Atlas, R.M. 1977. Response of microbial populations in Arctic tundra soils

- to crude oil.Can. J. of Microbiol 23 : 1327 - 1333.
- Singer, M.E., and Finnerty, W.R. 1984. Microbial metabolism of straight - chain and branched alkane. In : Atlas, R.M. editor. Petroleum Microbiology. New York. Macmillan : 1 - 60.
- Sirawaris ,S. 2000. Crude oil biodegradation by *Pseudomonas J- 45* through biosurfactant formation. Master's thesis, Major of Environmental Sanitation, Faculty of Graduate studies, Mahidol University.
- Speight ,J.G. 1990. Fuel Science and Technology Handbook, Marcel Dekker, Inc., New York.: 71 - 83.
- Soli ,G., and Bens ,E.M. 1972. Bacteria which attack petroleum hydrocarbons in a saline medium. Biotechnol. Bioeng 14 : 319 - 330.
- Song ,H.G., and Bartha ,R. 1990. Effect of jet on the microbial community soil. Appl. Environ. Microbiol 56(3) : 646 - 651.
- Sono ,K., and Futka ,M. 1966. Aspects concerning the treatment of wastewater from oil refineries in Romania. Presented at 3 rd Int Conf. on Water. Poll. Res., Munich, FRG, II – 11.
- Sorkhoh, N.A.; Ibrahim, A.S.; Ghannoum, M.A., and Radwan, S.S. 1993. High – temperature hydrocarbon degradation by *Bacillus stearothermophilus* from oil – polluted Kuwaiti desert. Appl. Microbiol. Biotechnol 39 : 123 – 126.
- Sugiura, K.; Ishihara, M.; Shimauchi, T.; and Harayama, S. 1997. Physicochemical properties and biodegradability of crude oil. Environ. Sci. Technol 31 : 45 - 51.
- Tagger ,S.; Deveze, L.; and Lepetit ,J. 1976. The conditions for biodegradation of petroleum hydrocarbons at sea. Mar. Pollut. Bull 7 : 172 - 174.
- Venkateswaran, K., and Harayama, S. 1995. Sequential enrichment of microbial populations exhibiting enhanced biodegradation of crude oil. Can. J. Microbiol 41 : 767 - 775.
- Vogel ,T.M., and Grbic ,G.D. 1986. Incorporation of oxygen from water into toluene and

- benzene during anaerobic fermentative transformation. Appl. Environ. Microbiol 52: 200 - 202.
- Walker ,J.D.; Colwell ,R.R.; Petrakis ,L.1975.Evaluation of petroleum degrading Potential of bacteria from water and sediment. Appl Microbiol 30 : 1036 - 1039.
- Walker ,J.D., and Colwell ,R.R.1975.Microbial petroleum degradation : application of computerized mass spectrometry. Can. J. Microbiol 21 : 1961 - 2227.
- Walker ,J.D., and Colwell ,R.R.1975.Biodegradation rates of components of petroleum. Can. J. Microbiol 22 : 1209 - 1213.
- Walker ,J.D., and Colwell ,R.R.1976.Petroleum : degradation by estuarine microorganisms Proceeding of the Third International Biodegradation Symposium.London : Applied Science.Publishes Ltd. : 197 - 204.
- Walker ,J.D. ;Petrakis ,L.; and Colwell ,R.R.1976.Composition of the biodegradability of crude and fuel oil. Can. J. Microbiol 72 : 598 - 602.
- Ward ,D.M.,and Brock ,T.D.1976.Environmental factors influencing the rate of hydrocarbon oxidation in temperate lakes. Appl. Environ. Microbiol 31 : 764 - 772.
- Ward ,D.M.,and Brock ,T.D.1978. Hydrocarbon biodegradation in hypersaline environments. Appl. Environ. Microbiol 35 : 353 - 359.
- Westlake ,J.D.;Jobson ,A.; Phillippe ,R.; and Cook ,F.D.1974.Biodegradability and crude oil composition. Can. J. Microbiol 20 : 915 - 928.
- Wilson,N.G.,and Bradley,G.1996.Enhanced degradation of petro (Slovene diesel) in an aqueous system by immobilized *Pseudomonas fluorescens*. J. appl. Bacteriol 80 : 90 - 104.
- Wilson,S.C.,and Jones,K.C.1993.Bioremediation of soil contaminated with polynuclear aromatic hydrocarbon in soil (PAHs) a review. Environ Pollut 84 : 229 - 249.
- Whyte ,L.G.; Hawari ,J.; Zhou ,E.; Bourbonniere, L.; Inniss, W.E;and Greer

,C.W.1998.Biodegradation of variable chain length alkanes at low temperatures by a psychrotrophic *Rhodococcus sp.*Appl.Environ.Microbiol 64 : 2578 - 2584.

Yamin ,Z., and Raina ,M.M.1992.Enhanced octadecane dispersion and biodegradation by a *Pseudomonas rhamnolipid* surfactant(biosurfactant).Appl.Environ.Microbiol 58: 3276 - 3282.

Yerushalmi ,S., and Giot ,S.R.1998.Kinetics of biodegradation of gasoline and its hydrocarbon constituents.Appl Microbiol Biotechnol 49 : 475 - 481.

Zajic ,J.E., and Supplisson, B.1972.Emulsification and Degradation of "Bunker C" fuel oil by Microorganism.Biotechnol Bioeng 14 : 331 - 343.

Zobbel ,C.E.1969.In proc. API/FWC Conf.,Publ.no 4040,American petroleum Institute,Washington DC. : p.317.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
สูตรและวิธีเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

การเตรียมน้ำมันดิบ

น้ำมันดิบที่ใช้ในการทดลองนี้จะต้องผ่านการฆ่าเชื้อด้วยการกรองผ่านกระดาษกรอง (Gelman Super – 450) ขนาด 0.45 ไมโครเมตร

อาหาร Bushnell – Haas (BH) (Difco)

เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการศึกษาการย่อยสลายของไฮโดรคาร์บอนโดยจุลินทรีย์ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้ คือ

แมกนีเซียมซัลเฟต	0.2	กรัม
แคลเซียมคลอไรด์	0.02	กรัม
โปแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต	1.0	กรัม
ไดโปแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต	1.0	กรัม
แอมโมเนียมไนเตรด	1.0	กรัม
เฟอริกคลอไรด์	0.05	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร

นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว 121 °ซ เป็นเวลานาน 15 – 20 นาที

1% w/v 1-Eicosene (Internal standard)

1-Eicosene	1.0	กรัม
n-Hexane	100	มิลลิลิตร

เก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกระทั่งนำมาใช้

อาหารแข็งนิวเทรียนท์ (Nutrient Agar)

เนื้อสกัด	3.0	กรัม
แบคโตเปปโตน	5.0	กรัม
วุ้นผง	20.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร

นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว 121 °ซ เป็นเวลานาน 15 – 20 นาที

อาหารเหลวทริยีนท์ (Nutrient Broth)

เนื้อสกัด	3.0	กรัม
แบคโคเปปโตน	5.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000	มิลลิลิตร

นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว 121 °ซ เป็นเวลานาน 15 – 20 นาที

Potato Dextrose Agar (Difco)

Potatoes, Infusion from	200.0	กรัม
Bacto Dextrose	20.0	กรัม
Bacto Agar	15.0	กรัม

นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว 121 °ซ เป็นเวลานาน 15 – 20 นาที
ความเป็นกรด – ด่าง สุกท้ายเท่ากับ 5.6 ± 0.2

อาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง Herellea plus Pen G&C สำหรับ Acinetobacter sp.

แบคโคทริปโตน	15.0	กรัม
แบคโคชอยโตน	5.0	กรัม
แล็กโทส	10.0	กรัม
มอสโทส	10.0	กรัม
Bile Salt no. 3	1.25	กรัม
บรอมคลีซอเพอเฟด	0.02	กรัม
โซเดียมคลอไรด์	5.0	กรัม
ผงวุ้น	16.0	กรัม
น้ำกลั่น	1	ลิตร

นึ่งฆ่าเชื้อที่ความดันและอุณหภูมิมาตรฐาน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว, 121 °ซ เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้อุ่นพอมือที่จะทนได้ เติมเพนนิซิลลินจี 100,000 หน่วย และ คลอแรมฟินิโคล 100,000 ไมโครกรัม ผสมเบา ๆ ให้เข้ากันก่อนเทใส่จานเพาะเชื้อ

ภาคผนวก ข

สีย้อมและสารเคมีที่ใช้ทดลอง

สีย้อมที่ใช้ทดลอง

สารละลายคริสตอลไวโอเล็ต (Crystal violet solution)

คริสตอลไวโอเล็ต	4.0	กรัม
น้ำกลั่น	400	มิลลิลิตร

สารละลายสีซาฟรานิน (Safranin Staining Solution)

ซาฟรานิน	4.0	กรัม
น้ำกลั่น	200	มิลลิลิตร

สารละลายแกรมนไอโอดีน (Gram's iodine solution)

ไอโอดีนคริสตอล	10.0	กรัม
โปแตสเซียมไอโอดีน(KI)	0.5	กรัม
โซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH)	2.0	กรัม
น้ำกลั่น	50	มิลลิลิตร

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในน้ำกลั่นช้า ๆ แล้วจึงเติมไอโอดีนคริสตอลลงไปและเติมโปแตสเซียมไอโอดีนเป็นลำดับสุดท้าย

สารละลายแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์(95% Alcohol)

แอลกอฮอล์บริสุทธิ์	9.5	มิลลิลิตร
เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร	100	มิลลิลิตร

ภาคผนวก ก

วิธีการย้อมแกรม (Gram stain)

1. Smear เชื้อ โดยหยดน้ำบนสไลด์ ใช้ลูป (Loop) ตักเชื้อจำนวนเล็กน้อยแล้วเกลี่ยให้เป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ โดยวนลูปไปในทิศทางเดียวกัน
2. วางแผ่นสไลด์ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง (Air dry) แล้ว Heat fix ด้วยเปลวไฟ 4 - 6 ครั้ง
3. นำแผ่นสไลด์ที่ผ่านการ Heat fix แล้ว ไปย้อมแกรม (Gram stain) ที่อ่างน้ำดังวิธีต่อไปนี้
 - 3.1 หยดสารละลายคริสตอลไวโอเล็ต (Crystal violet solution) หรือ Gram's Crystal Violet จนท่วม Smear ทิ้งไว้เป็นเวลานาน 1 นาที
 - 3.2 ล้างสีย้อมออกโดยให้น้ำไหลผ่านช้า ๆ แล้วย้อมต่อทันทีด้วยสารละลายแกรมไอโอดีน (Gram's iodine solution) จนท่วม Smear แล้วทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลานาน 1 นาที
 - 3.3 ล้างสารละลายแกรมไอโอดีนออกด้วยน้ำโดยให้ไหลผ่านอย่างช้า ๆ
 - 3.4 Decolorization โดยเอียงสไลด์แล้วหยด 95 % เอทานอล เป็นเวลานาน 10 - 15 วินาที หรือจนสังเกตเห็นว่าไม่มีสีน้ำเงินของ Gram's Crystal Violet ละลายออกมาปนกับเอทานอลอีก
 - 3.5 จากนั้นล้างสไลด์ด้วยน้ำโดยให้ไหลผ่านอย่างช้า ๆ เพื่อหยุดปฏิกิริยา และย้อมด้วยสารละลายสีซาฟรานิน (Safranin Staining Solution) หรือ Gram's Safranin O จนท่วม Smear เป็นเวลานาน 20 - 30 วินาที
 - 3.6 ล้างสไลด์ด้วยน้ำโดยให้ไหลผ่านอย่างช้า ๆ อีกครั้ง และทิ้งไว้ให้สไลด์แห้ง จากนั้นนำไปส่องดูลักษณะและการติดสีของเซลล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

สถิติที่ใช้ในการแปลผลเปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือ(%)
ระหว่างในระดับถังหมัก ขนาด 3 ลิตร กับในระดับขวดเขย่า

T-Test

ตารางที่1-ง Paired Samples Statistics

Pair	Mean	N	Std. Deviation	Std. Mean
1. % Residual total hydrocarbons in laboratory scale	31.9360	5	39.8849	17.8371
% Residual total hydrocarbons in shake flask	38.4360	5	36.3864	16.2725
2. % Residual total hydrocarbons of control in laboratory scale	48.7300	5	30.5794	13.6755
% Residual total hydrocarbons of control in shake flask	88.820	5	7.4576	3.3351

ตารางที่2-ง Paired Samples Correlations

Pair	N	Correlation	Sig.
1. % Residual total hydrocarbons in laboratory scale & % Residual total hydrocarbons in shake flask	5	0.998	0.000
2. % Residual total hydrocarbons of control in laboratory scale & % Residual total hydrocarbons of control in shake flask	5	0.944	0.016

ตารางที่ 3-3 Paired Samples Test

Pair	Paired						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Mean	95% Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
1. % Residual total hydrocarbons in laboratory scale - % Residual total hydrocarbons in shake flask	-6.5000	4.1841	1.8712	-11.6952	-1.3048	-3.474	4	0.025	
2. % Residual total hydrocarbons of control in laboratory scale - % Residual total hydrocarbons of control in shake flask	-40.0900	23.6638	10.5828	-69.425	-10.7075	-3.788	4	0.019	

Paired - Samples T Test เป็นสถิติที่ใช้ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่าง 2 กลุ่มตัวอย่างที่มีความสัมพันธ์กันหรือที่เรียกว่า "การทดสอบเป็นคู่ด้วยสถิติ Students't" จะมีการทดสอบความแตกต่างเป็นคู่ ๆ โดยแต่ละคู่มีความสัมพันธ์กัน จึงอาจจะเรียกการทดสอบแบบนี้ว่าเป็นการทดสอบความทดสอบแบบจับคู่ (Paired Difference Tests)

จากตารางที่ 2 - ง กำหนดสมมติฐานให้

H_0 : % Residual total hydrocarbons in laboratory scale และ % Residual total hydrocarbons in flask shake ไม่มีความสัมพันธ์กัน

H_1 : % Residual total hydrocarbons in laboratory scale และ % Residual total hydrocarbons in flask shake มีความสัมพันธ์กัน

และ

H_0 : % Residual total hydrocarbons of control in laboratory scale และ % Residual total hydrocarbons of control in flask shake ไม่มีความสัมพันธ์กัน

H_1 : % Residual total hydrocarbons of control in laboratory scale และ % Residual total hydrocarbons of control in flask shake มีความสัมพันธ์กัน

กำหนดระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 95% ($\alpha = 0.05$)

จะพบว่าค่าความน่าจะเป็น Sig. เท่ากับ 0.000 และ 0.016 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α ที่กำหนดคือ 0.05

ดังนั้นจึงตัดสินใจปฏิเสธสมมติฐาน H_0 จึงสามารถสรุปผลได้ว่า % Residual total hydrocarbons in laboratory scale และ % Residual total hydrocarbons in flask shake มีความสัมพันธ์กัน และ % Residual total hydrocarbons of control in laboratory scale และ % Residual total hydrocarbons of control in flask shake มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และมีความสัมพันธ์กันมาก อีกทั้งไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากค่า Correlation เท่ากับ 0.998 และ 0.944 ตามลำดับ

จากตารางที่ 3 - ง กำหนดสมมติฐานให้

H_0 : % เฉลี่ย Residual total hydrocarbons in laboratory scale และ % เฉลี่ย Residual total hydrocarbons in flask shake ไม่แตกต่างกัน

H_1 : % เฉลี่ย Residual total hydrocarbons in laboratory scale และ % เฉลี่ย Residual total hydrocarbons in flask shake แตกต่างกัน

และ

H_0 : % เกลี่ย Residual total hydrocarbons of control in laboratory scale และ % เกลี่ย Residual total hydrocarbons of control in flask shake ไม่แตกต่างกัน

H_1 : % เกลี่ย Residual total hydrocarbons of control in laboratory scale และ % เกลี่ย Residual total hydrocarbons of control in flask shake แตกต่างกัน

กำหนดระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 95% ($\alpha = 0.05$)

จะพบว่าค่าความน่าจะเป็น 2 - tail Sig. เท่ากับ 0.025 และ 0.019 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α ที่กำหนดคือ 0.05

ดังนั้นจึงตัดสินใจปฏิเสธสมมติฐาน H_0 จึงสามารถสรุปผลได้ว่า % เกลี่ย Residual total hydrocarbons in laboratory scale และ % เกลี่ย Residual total hydrocarbons in flask shake แตกต่างกัน และ % เกลี่ย Residual total hydrocarbons of control in laboratory scale และ % เกลี่ย Residual total hydrocarbons of control in flask shake แตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

องค์ประกอบบางประการของน้ำมันดิบ

น้ำมันดิบ (Tapis crude oil) ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทบางจาก มหาชน (จำกัด) (Bangchak oil refinery) ถนนสุขุมวิท ซอย 64 กรุงเทพฯ มีองค์ประกอบของน้ำมันดิบดังตารางที่ 1 - จ

ตารางที่ 1 - จ แสดงองค์ประกอบบางประการของน้ำมันดิบ (Tapis crude oil)

องค์ประกอบของน้ำมันดิบบางประการ	ค่าที่วัดได้
<u>ทางกายภาพ</u>	
ค่าความถ่วงจำเพาะ (Gravity)	45.5 API
ค่าความหนืด (Viscosity) ที่ 30 °ซ	2.39 cst
<u>ทางเคมี</u>	
ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulfur content)	0.029 % โดยน้ำหนัก (wt)
ปริมาณไนโตรเจน (Total nitrogen content in total crude)	ไม่มีข้อมูล
ปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus content)	ไม่มีข้อมูล
แอสฟัลทีน (Asphaltene)	<0.05 % โดยน้ำหนัก (wt)
ปริมาณน้ำ (Water content)	<0.05 % โดยปริมาตร (vol)
สัดส่วนของไฮโดรคาร์บอน (Assay yield on Crude Gas to C ₄) ได้แก่ Ethane, propane, Isobutane, n – butane	1.9 % โดยน้ำหนัก (wt)
Light distillate to 149 °C (API)	21.90% โดยน้ำหนัก (wt)
เคโรซีน (Kerosine) 149 – 232 °C	21.75% โดยน้ำหนัก (wt)
ก๊าซน้ำมัน (Gas oil) 232 – 342 °C	28.95% โดยน้ำหนัก (wt)
ส่วนที่เหลือ (Residue) above 342 °C	25.50% โดยน้ำหนัก (wt)

ที่มา : ข้อมูลจากบริษัทบางจากมหาชน (จำกัด)

ภาคผนวก ฉ

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เหลืออยู่ในระบบถังหมักขนาด 3 ลิตร

ปริมาณของไฮโดรคาร์บอนที่เหลืออยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ นำมาใช้ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันดิบของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้โดยคิดในรูปของเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ได้ฟีก (Mueller และคณะ ,1992 อ้างถึงใน ปัญจพล ชิโนดม , 2543) ซึ่งพื้นที่ได้ฟีกของไฮโดรคาร์บอนจะมีค่าเท่ากับ อัตราส่วนของผลรวมของพื้นที่ได้ฟีกของไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดในโครมาโตแกรมกับค่าพื้นที่ฟีกของสารมาตรฐานในการสกัด (Internal standard) ซึ่งวิเคราะห์ด้วยภาวะเดียวกัน ดังสมการ 1

สมการ 1

$$\text{อัตราส่วนพื้นที่ฟีกของไฮโดรคาร์บอน} = \frac{\text{ผลรวมของพื้นที่ฟีกไฮโดรคาร์บอน}}{\text{พื้นที่ของฟีกสารมาตรฐานในการสกัด}}$$

โดยที่ # พื้นที่ของฟีกสารมาตรฐานในการสกัด = พื้นที่ได้กราฟของฟีก Internal Standard (ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ 1 - อีโคซิน)

ผลรวมของพื้นที่ฟีกไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดในน้ำมันดิบที่นำมาคำนวณในสมการ 1 เป็นปริมาณของไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ

ผลรวมของพื้นที่ฟีกไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดในน้ำมันดิบ = พื้นที่ทั้งหมดของโครมาโทแกรม - พื้นที่ทั้งหมดของสารประกอบที่ไม่เกี่ยวข้อง {สารประกอบที่ไม่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ตัวทำละลาย (Solvent : Hexane) , สารมาตรฐานในการสกัด (Internal Standard) , และสารปนเปื้อนอื่นๆ ที่มีในตัวทำละลาย (Impurity)}

เปอร์เซ็นต์ของไฮโดรคาร์บอนที่เหลืออยู่ คำนวณได้จากดังสมการ 2 (Mueller และคณะ ,1992 อ้างถึงใน ปัญจพล ชิโนดม , 2543)

สมการ 2

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของไฮโดรคาร์บอนที่เหลืออยู่} = \text{อัตราส่วนพื้นที่ของไฮโดรคาร์บอนที่เหลืออยู่ (สมการ 1) X 100}$$

อัตราส่วนพื้นที่ของไฮโดรคาร์บอนที่เหลือของชุดควบคุมวันที่ 0 (ซึ่งไม่มีการเติมจุลินทรีย์ : Abiotic loss)

ตารางที่ 1 – จ พื้นที่ใต้พีค (Peak area) ของไฮโดรคาร์บอนและองค์ประกอบต่าง ๆ ที่พบในน้ำมันดิบ Tapir crude oil 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรต่อปริมาตรในถังหมักขนาด 3 ลิตร ของชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์

ลำดับที่	เวลา (นาที) (Retention time)	พื้นที่ใต้พีค (Peak area)	ลำดับที่	เวลา (นาที) (Retention time)	พื้นที่ใต้พีค (Peak area)
1	2.068	26252100	25	4.214	1654
2	2.143	136573	26	4.284	1077
3	2.859	486	27	4.362	1936
4	2.906	338	28	4.420	573
5	2.969	524	29	4.471	914
6	3.085	2080	30	4.506	399
7	3.134	298	31	4.552	519
8	3.261	406	32	4.627	1886
9	3.309	196	33	4.674	2242
10	3.349	416	34	4.735	4070
11	3.392	296	35	4.820	2233
12	3.430	542	36	4.916	768
13	3.527	502	37	4.995	396
14	3.581	1281	38	5.039	614
15	3.613	1380	39	5.123	1760
16	3.680	1840	40	5.215	24392
17	3.717	360	41	5.336	1907
18	3.755	1581	42	5.426	2270
19	3.869	437	43	5.534	746
20	3.916	519	44	5.586	1793
21	3.970	11239	45	5.636	2499
22	4.029	2844	46	5.814	1201
23	4.101	607	47	5.853	1343
24	4.168	904	48	5.908	2084

ลำดับที่	เวลา (นาที) (Retention time)	พื้นที่ใต้พีค (Peak area)	ลำดับที่	เวลา (นาที) (Retention time)	พื้นที่ใต้พีค (Peak area)
49	6.001	3108	77	8.467	5299
50	6.070	2157	78	8.557	1114
51	6.150	4891	79	8.634	390
52	6.252	2606	80	8.722	2948
53	6.299	641	81	8.828	735
54	6.408	648	82	8.880	209
55	6.569	510	83	9.011	603
56	6.610	1311	84	9.086	1776
57	6.708	35810	85	9.212	692
58	6.822	1188	86	9.307	3024
59	6.899	4738	87	9.417	2120
60	6.966	1009	88	9.488	4261
61	7.017	1067	89	9.555	346
62	7.147	962	90	9.668	846
63	7.239	361	91	9.751	298
64	7.317	529	92	9.803	272
65	7.352	416	93	9.884	36485
66	7.391	423	94	9.998	1676
67	7.442	2041	95	10.103	144
68	7.510	1507	96	10.203	199
69	7.543	1994	97	10.308	188
70	7.624	2062	98	10.391	2732
71	7.714	3711	99	10.461	2576
72	7.833	8709	100	10.513	1176
73	7.878	899	101	10.615	887
74	7.931	897	102	10.676	523
75	8.234	127	103	10.714	1135
76	8.299	34543	104	10.802	6796

ลำดับที่	เวลา (นาที) (Retention time)	พื้นที่ใต้พีค (Peak area)	ลำดับที่	เวลา (นาที) (Retention time)	พื้นที่ใต้พีค (Peak area)
105	10.862	2410	133	14.324	2923
106	10.967	1958	134	14.408	881
107	11.093	1811	135	14.573	831
108	11.272	182	136	14.854	520
109	11.356	603	137	14.909	209
110	11.419	33787	138	14.953	387
111	11.682	942	139	15.046	662
112	11.808	505	140	15.131	1587
113	11.963	2072	141	15.187	633
114	12.075	2689	142	15.236	649
115	12.174	1207	143	15.528	1270
116	12.278	2977	144	15.621	28176
117	12.353	3371	145	15.697	2725
118	12.457	838	146	15.779	362
119	12.503	354	147	16.027	749
120	12.576	337	148	16.141	762
121	12.724	312	149	16.346	506
122	12.815	512	150	16.427	1012
123	12.887	32797	151	16.531	1068
124	12.970	847	152	16.747	1923
125	13.047	344	153	16.895	28665
126	13.141	477	154	17.086	451
127	13.535	6171	155	17.384	597
128	13.600	558	156	17.539	1235
129	13.685	433	157	17.583	1893
130	13.773	2583	158	17.687	3088
131	13.880	758	159	17.764	698
132	14.070	2744	160	17.817	702

ลำดับที่	เวลา (นาที) (Retention time)	พื้นที่ใต้พีค (Peak area)	ลำดับที่	เวลา (นาที) (Retention time)	พื้นที่ใต้พีค (Peak area)
161	17.957	1766	189	22.646	544
162	18.048	68058	190	22.763	19651
163	18.115	25833	191	23.631	809
164	18.513	257	192	24.097	340
165	18.563	354	193	24.186	17884
166	18.728	154	194	24.658	1372
167	18.847	1183	195	25.163	703
168	18.952	1776	196	25.323	421
169	19.043	650	197	25.787	17102
170	19.277	25627	198	26.879	517
171	19.581	386	199	27.572	16110
172	19.701	570	200	28.779	773
173	19.843	354	201	29.539	12825
174	19.909	386	202	29.846	689
175	19.983	1233	203	30.848	1131
176	20.081	359	204	31.676	11863
177	20.216	583	205	33.127	965
178	20.330	1185	206	34.095	8256
179	20.394	22520			
180	21.003	430			
181	21.077	1029			
182	21.180	372			
183	21.256	286			
184	21.361	531			
185	21.504	21937			
186	21.632	499			
187	21.925	436			
188	22.272	997			

ตัวอย่างการคำนวณ

สมการ 1

$$\text{อัตราส่วนพื้นที่ที่ฟักของไฮโดรคาร์บอน} = \frac{\text{ผลรวมของพื้นที่ฟักไฮโดรคาร์บอน}}{\text{พื้นที่ของฟักสารมาตรฐานในการสกัด}}$$

หรือ

พื้นที่ของไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด

$$= \{ \text{พื้นที่ทั้งหมดในโครมาโทแกรม} - (\text{พื้นที่ของตัวทำละลาย} + \text{พื้นที่ของสารปนเปื้อน} + \text{พื้นที่ของสารมาตรฐานในการสกัด}) \}$$

พื้นที่ของสารมาตรฐานในการสกัด

จากตารางแทนค่าในสมการได้

$$\text{พื้นที่ทั้งหมดในโครมาโทแกรม} = 27156789$$

$$\text{พื้นที่ของตัวทำละลาย} = 26252100$$

$$\text{พื้นที่ของสารปนเปื้อน} = 136573$$

$$\text{พื้นที่ของสารมาตรฐานในการสกัด} = 68058$$

ดังนั้น

$$\text{พื้นที่ของไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด} = 700058 / 68058$$

$$= 10.29$$

สมการ 2

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของไฮโดรคาร์บอนที่เหลืออยู่} = \frac{\text{พื้นที่ของไฮโดรคาร์บอนที่เหลืออยู่ (สมการ 1)} \times 100}{\text{พื้นที่ของไฮโดรคาร์บอนที่เหลือของชุดควบคุมวันที่ 0}}$$

$$= (10.29 \times 100) / 10.29$$

$$= 100 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

การคำนวณปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือ จากการย่อยสลายน้ำมันดิบ (Tapis crude oil)

คำนวณ โดยการหาค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันดิบเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลอง

จากสูตร

141.5

$$\text{API}^\circ \text{ ของน้ำมันดิบชนิดหนึ่ง} = \frac{141.5}{\text{ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันดิบชนิดนั้น}} - 131.5$$

(หมายเหตุ : ณ อุณหภูมิ 60 ° F หรือ 16.5° C)

ดังนั้นหากในกรณีของน้ำแล้วจะมีค่าองศาเอพีโอเท่ากับ 10

$$\text{โดยที่ API}^\circ \text{ ของน้ำมันดิบ จากตารางที่ 1 - จ} = 45.5$$

แทนค่าในสูตรจะได้

141.5

$$45.5 + 131.5 = \frac{141.5}{\text{ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันดิบ}}$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันดิบ} = 0.7994 \quad \text{กรัม}$$

$$\text{หรือ} = 799.4 \quad \text{มิลลิกรัม}$$

$$\text{จากวิธีการทดลองใช้น้ำมันดิบ} = 0.5 \text{ เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร}$$

$$\text{ดังนั้นจึงพบว่าในระดับขวดเขย่า 50 มิลลิลิตรจะมีปริมาณน้ำมันดิบเริ่มต้น} = 0.25 \times 0.7994$$

$$= 0.19985 \text{ กรัม}$$

$$\text{หรือ } 199.85 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$\text{ในระดับถังหมัก 3 ลิตร จะมีปริมาณน้ำมันดิบเริ่มต้น} = 15 \times 0.7994$$

$$= 11.991 \text{ กรัม}$$

$$\text{หรือ } 11,991 \text{ มิลลิกรัม}$$

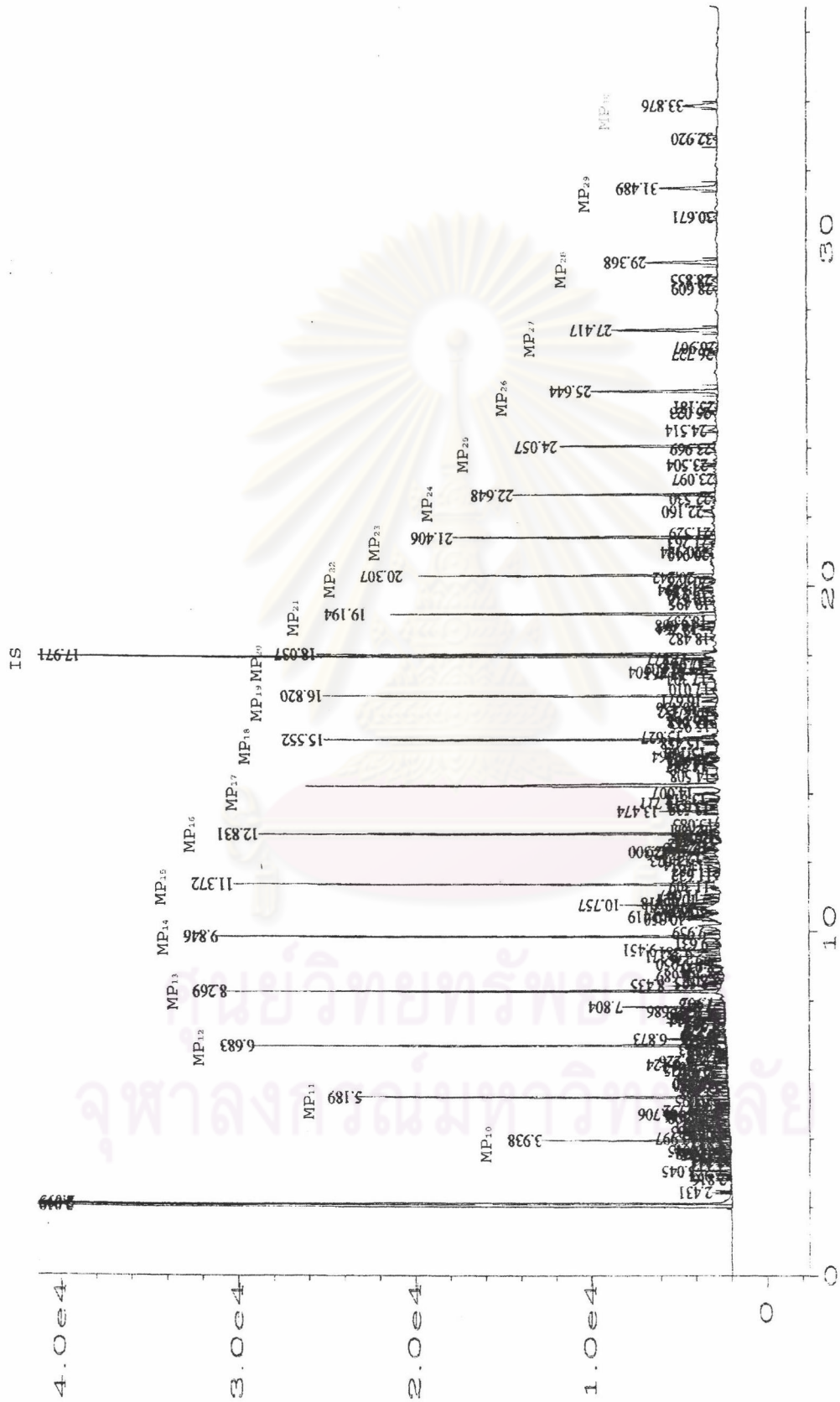
จากนั้นไปคิดเทียบกับเปอร์เซ็นต์ของไฮโดรคาร์บอนที่เหลืออยู่



ภาคผนวก ข

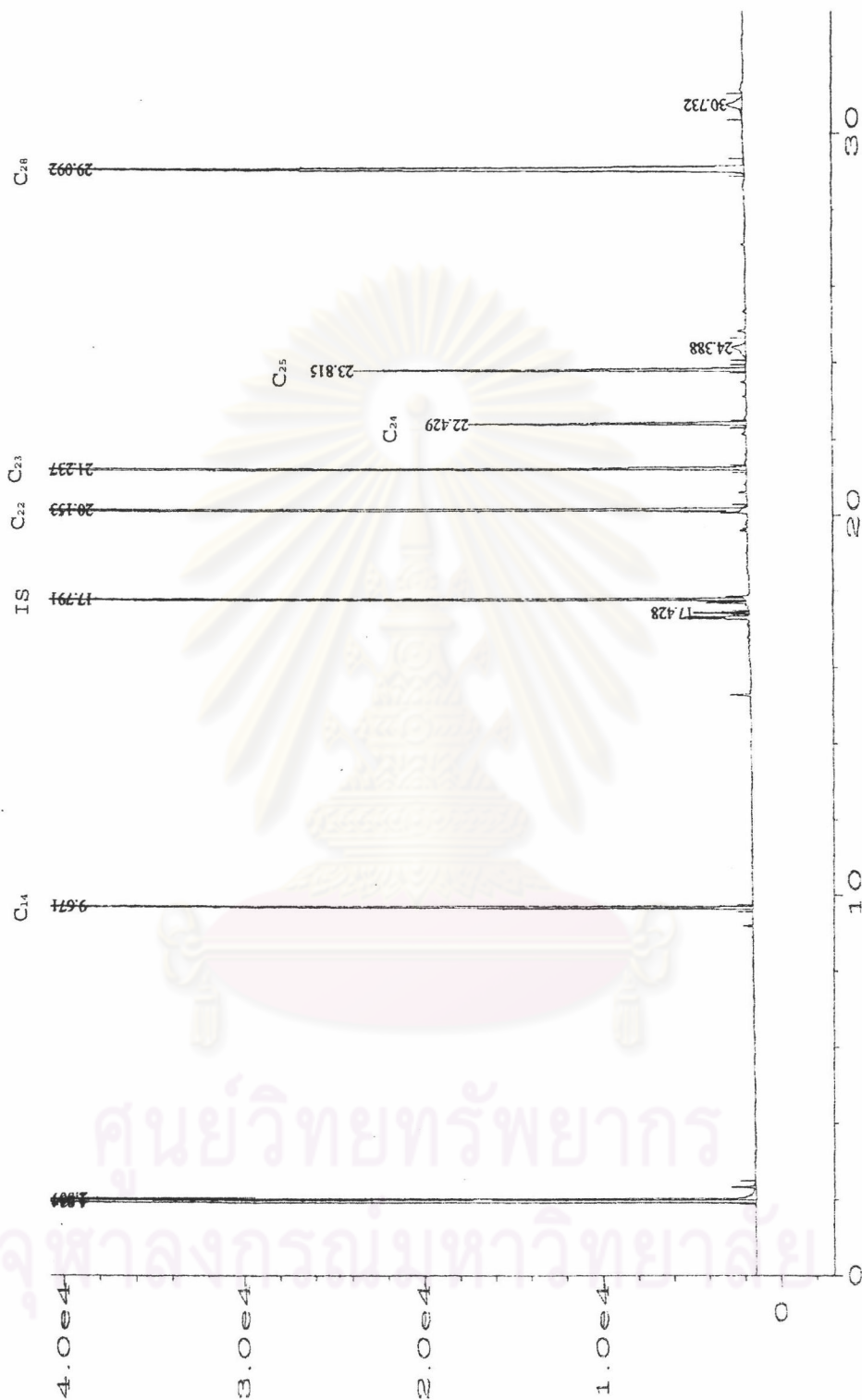
โครมาโทแกรมจากการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



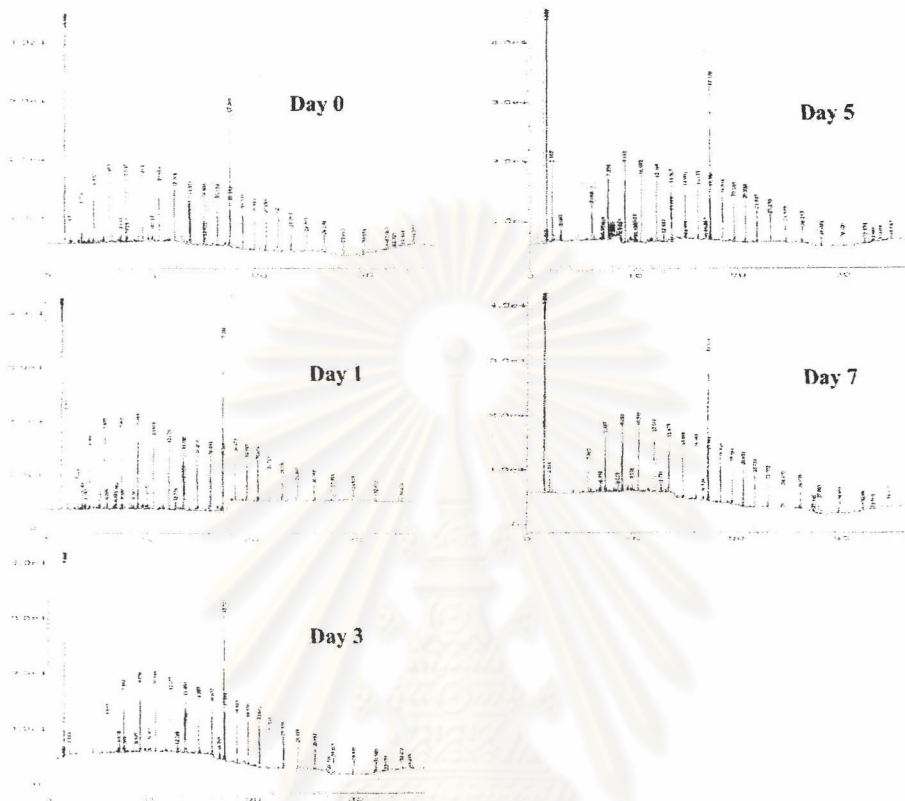
รูปที่ 1-ช โครมาโทแกรมของน้ำมันดิบ (Tapis Crude oil) วิเคราะห์ด้วยก๊าซโครมาโทกราฟีของลำดับส่วนในน้ำมันดิบซึ่งละลายในตัวทำละลายเฮกเซน (C₆H₁₄)

C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fal18.D



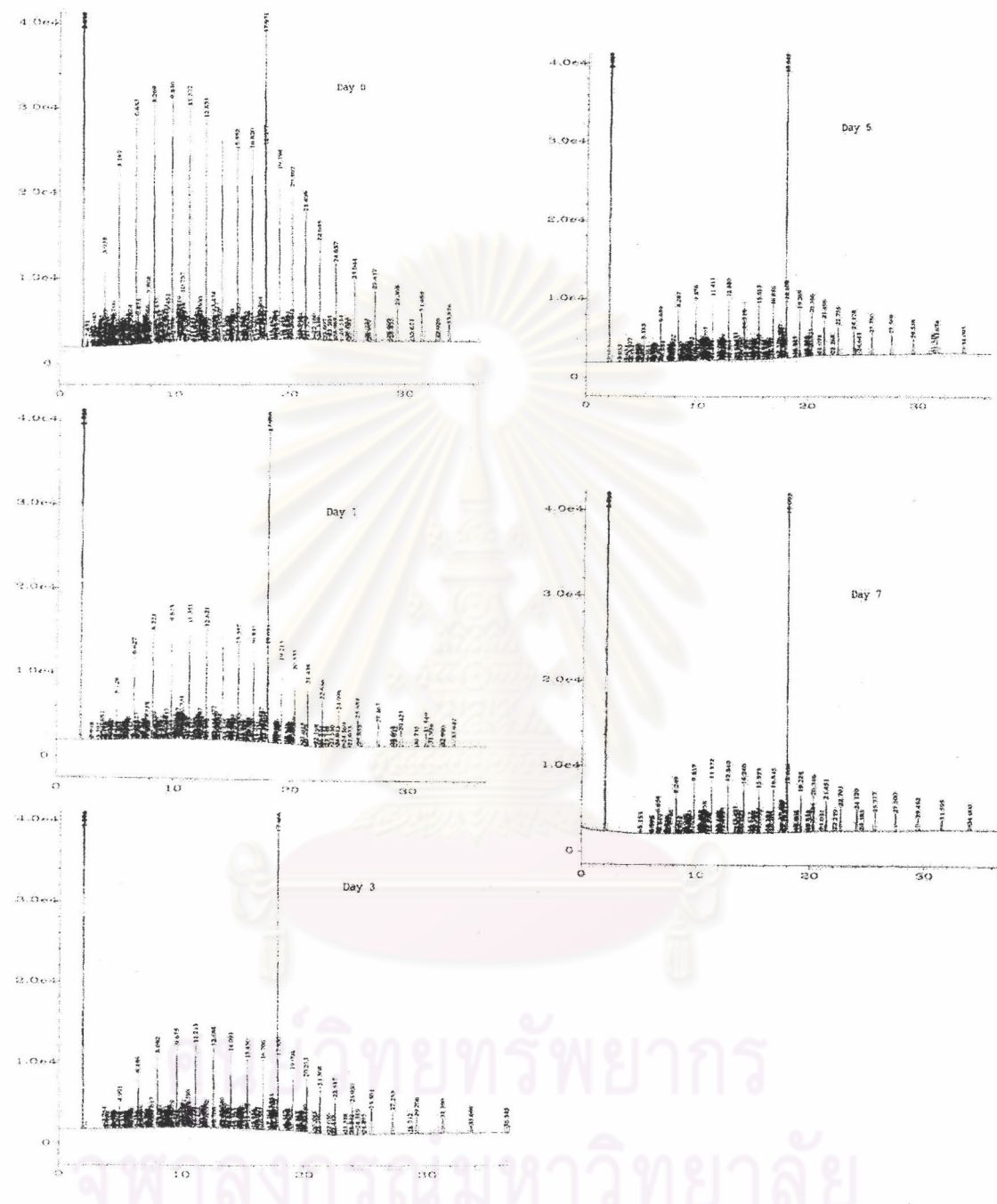
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2-ช โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานผสมของไฮโดรคาร์บอน วิเคราะห์ด้วยก๊าซโครมาโทกราฟี

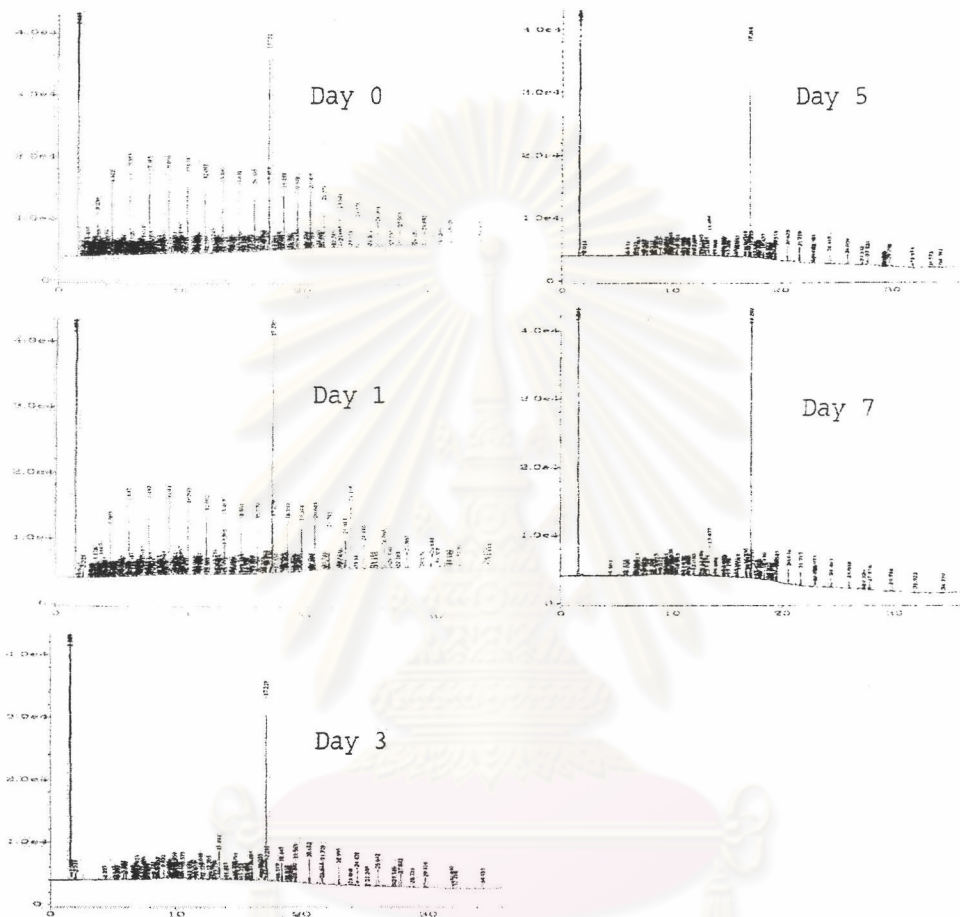


รูปที่ 3 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือในน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในขวดเขย่าที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ ที่เวลาต่างๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

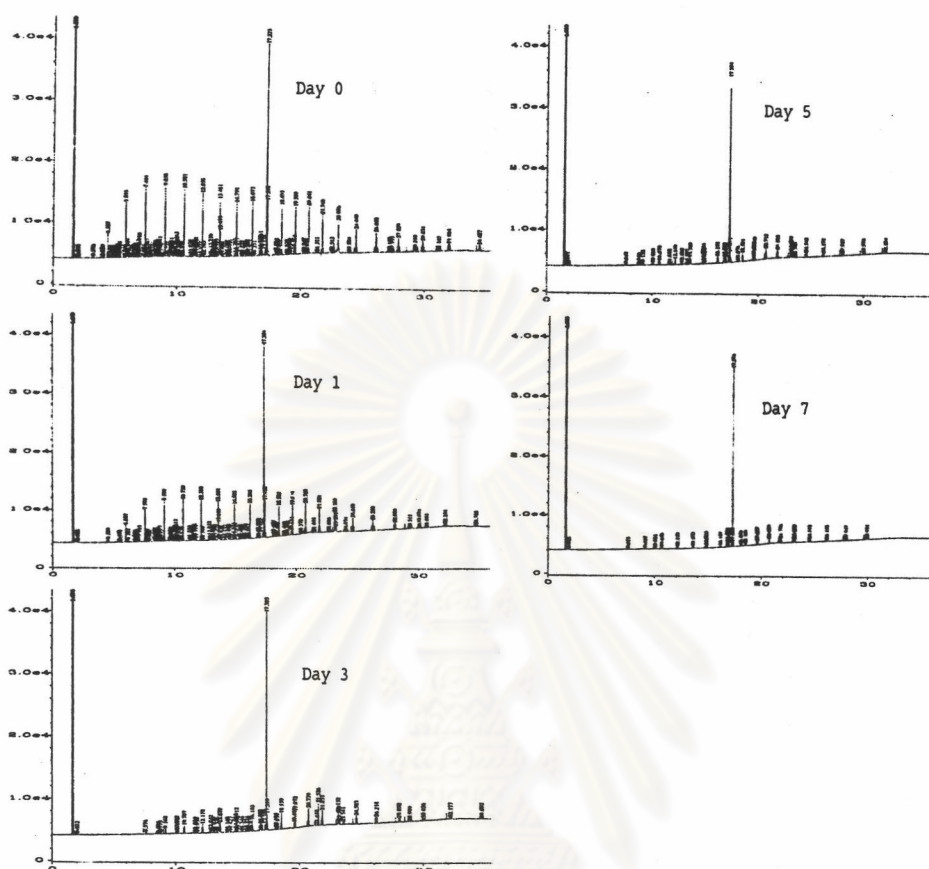


รูปที่ 4 - ช โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือในน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในถังหมักที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ ที่เวลาต่าง ๆ กัน



รูปที่ 5 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากการย่อยสลายน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในระดับขวดเขย่าที่มีการเติมกลุ่มจุลินทรีย์ ที่เวลาต่างๆ กัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



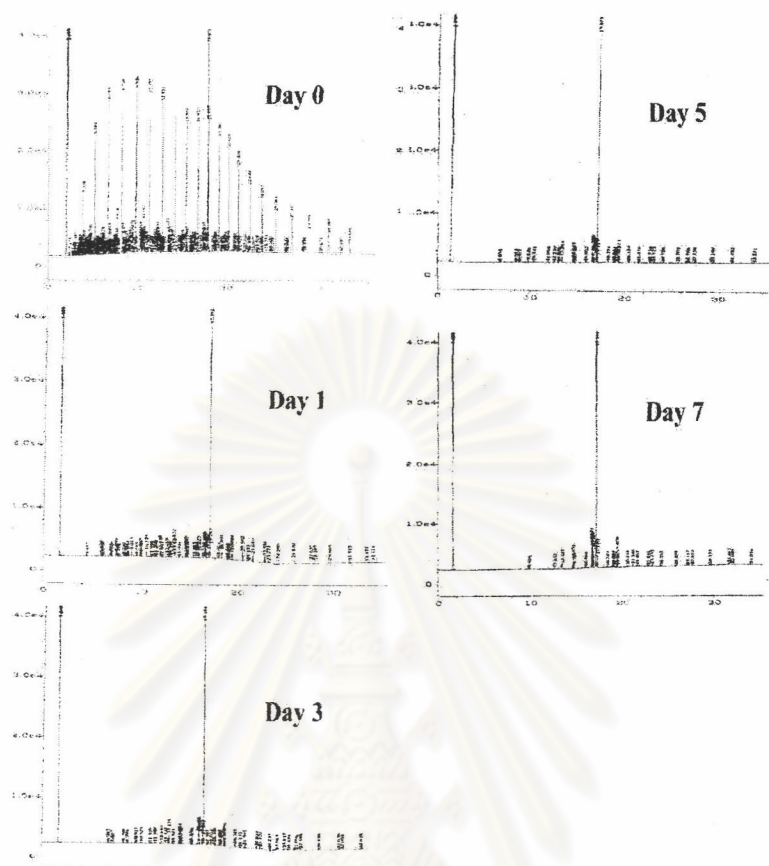
รูปที่ 6 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากการย่อยสลายน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในระดับถังหมักที่มีการเติมกลุ่มจุลินทรีย์ที่เวลาต่าง ๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



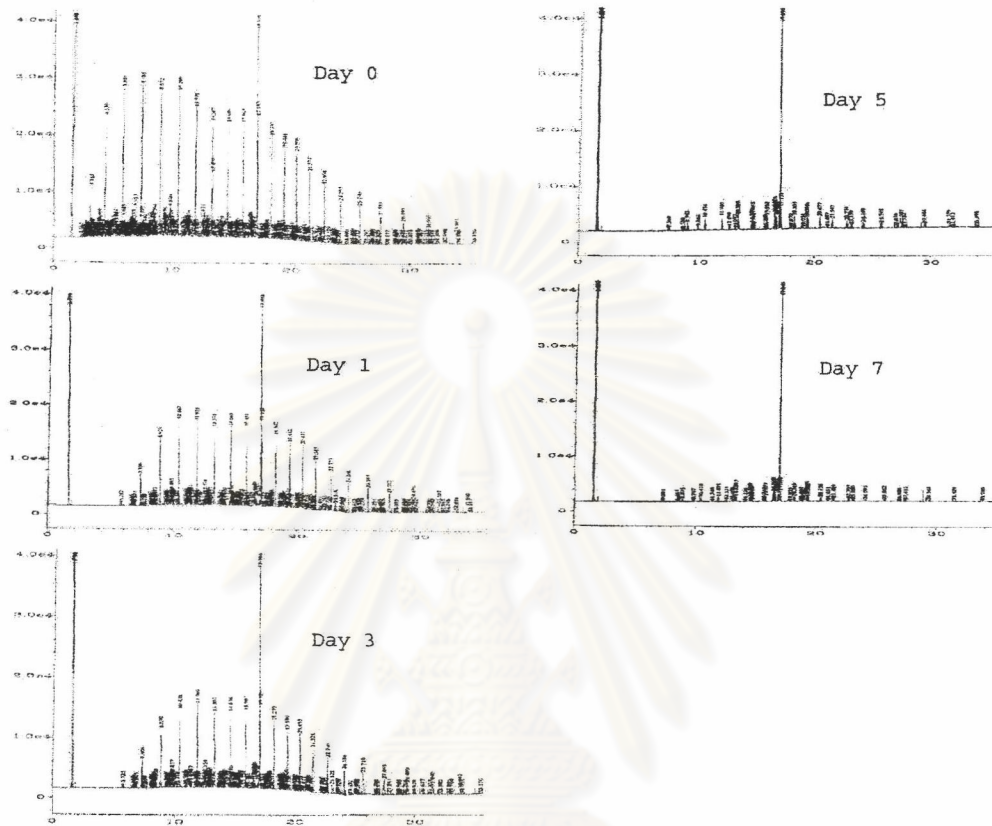
รูปที่ 7 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากการย่อยสลายน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่อัตราส่วนเชื้อเพลิงที่เรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้กับกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 1 : 1 ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 30 °ซ ความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) ที่เวลาต่าง ๆ กัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



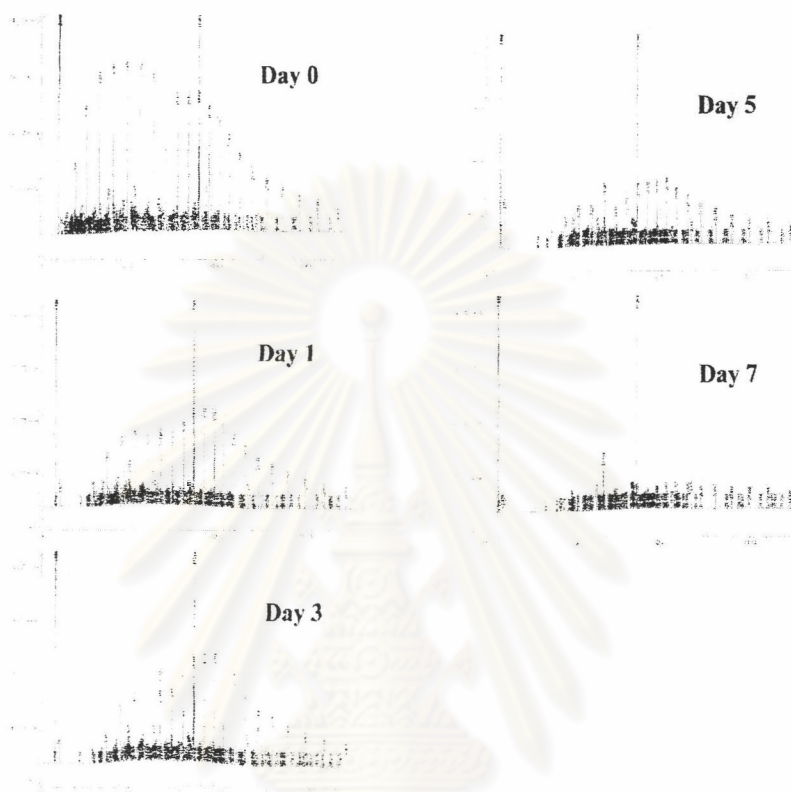
รูปที่ 8 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากการย่อยสลายน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่อัตราส่วนเชื้อเพลิงที่เรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้กับกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 30 °ซ ความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้นเท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) ที่เวลาต่าง ๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



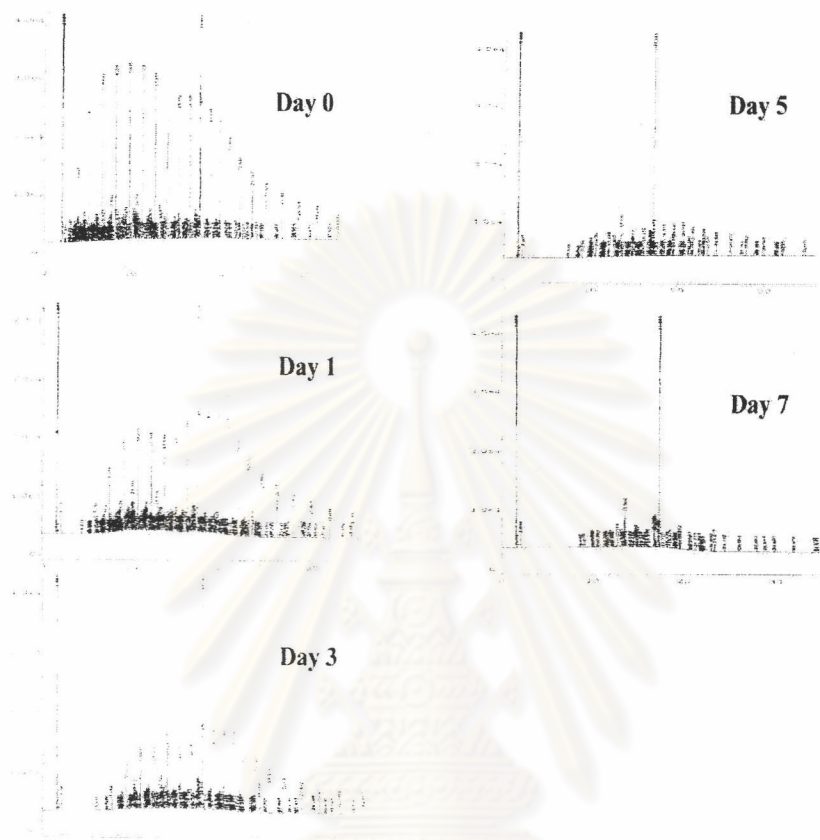
รูปที่ 9 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากการลดลงของน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 30°C ความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศ เท่ากับ 1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) โดยไม่มีการเติมจุลินทรีย์ ที่เวลาต่างๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



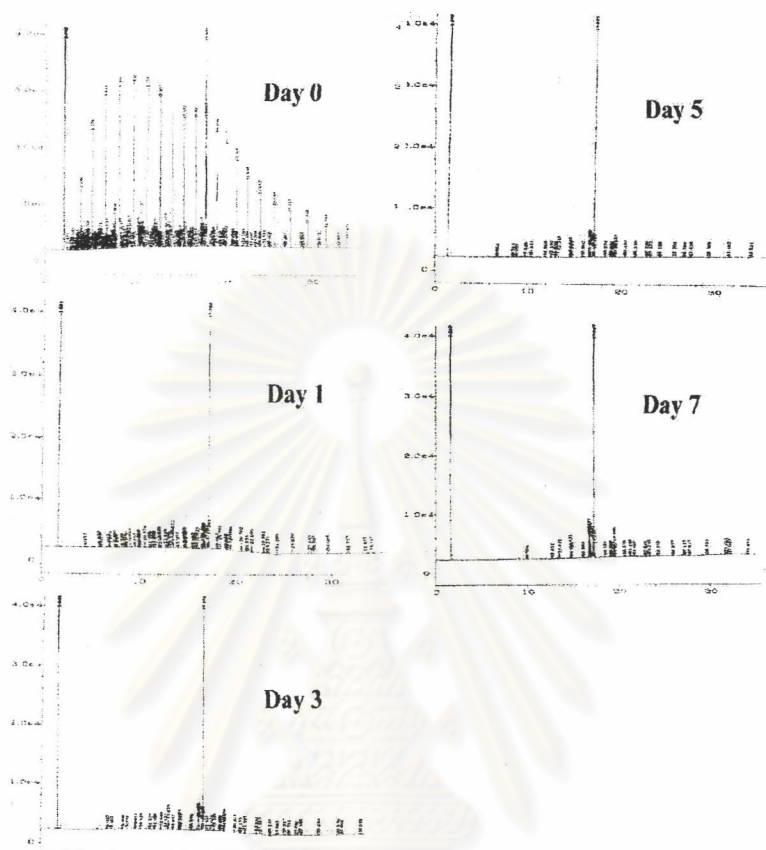
รูปที่ 10 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากการย่อยสลายน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 6.0 ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 30 °ซ อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้กับกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 ที่เวลาต่างๆ กัน

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



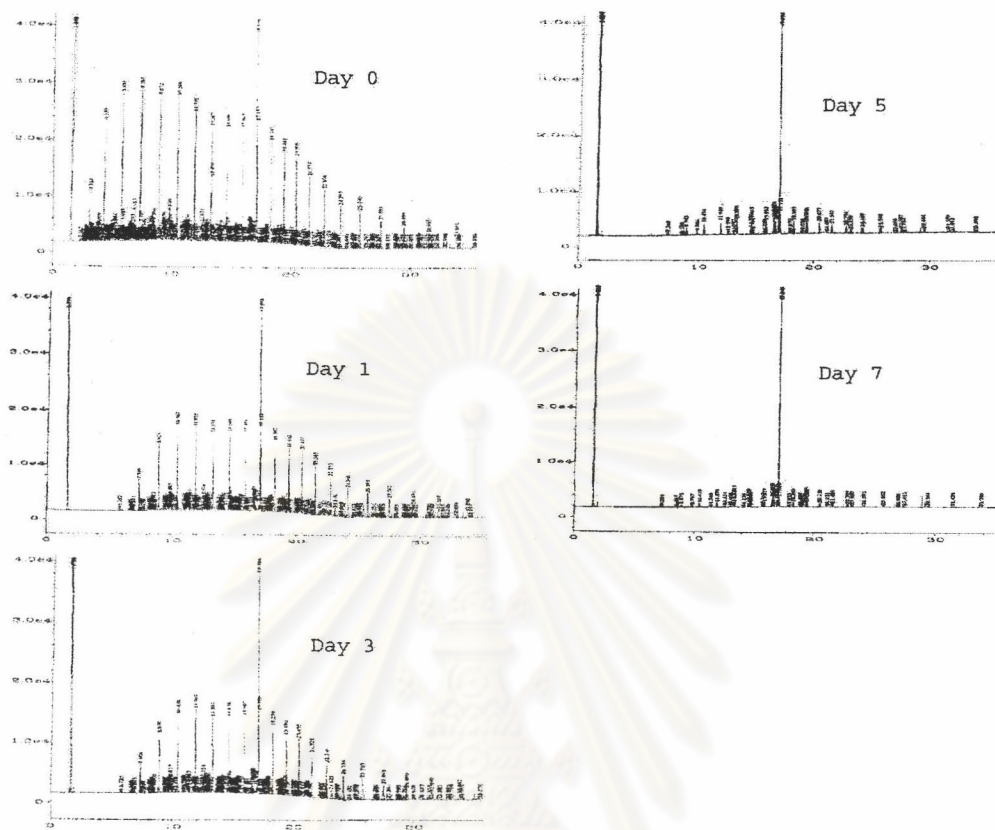
รูปที่ 11 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากการย่อยสลายน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 7.0 ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 30 °ซ อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้กับกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 ที่เวลาต่าง ๆ กัน

ศูนย์วิจัยทรัพยากรชีวภาพ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



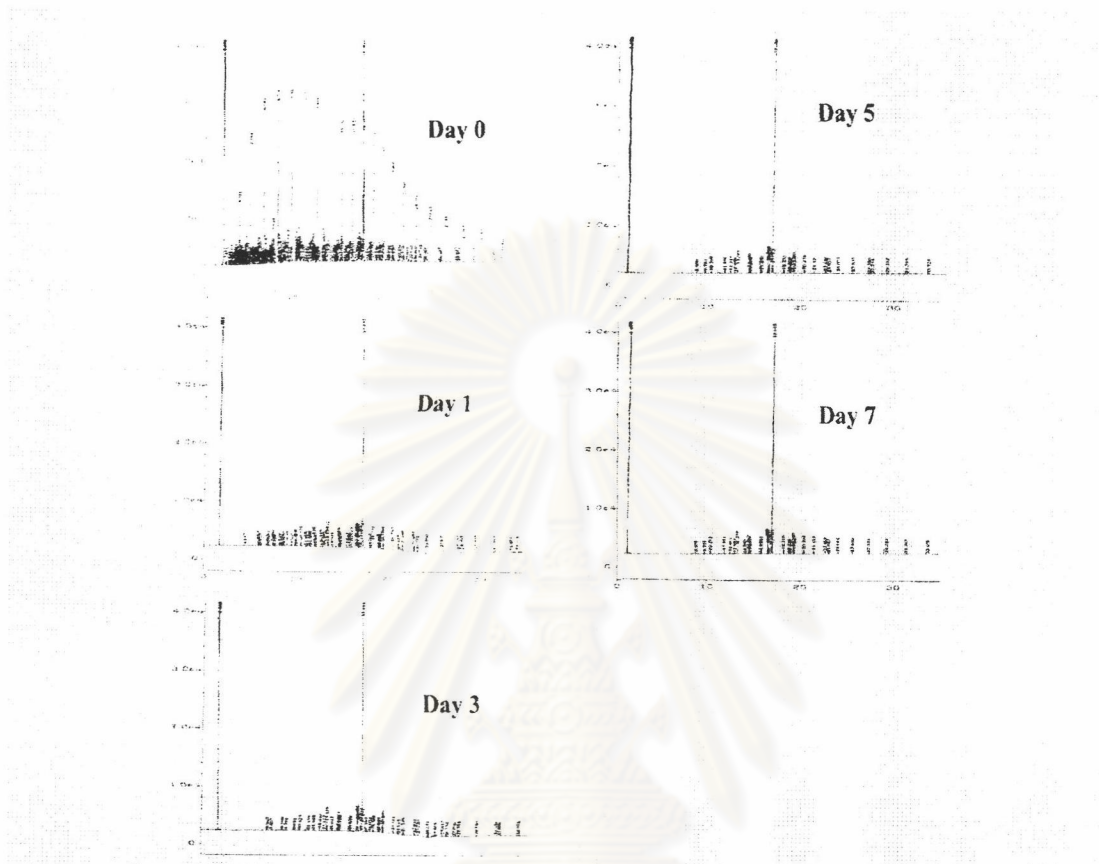
รูปที่ 12 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากการย่อยสลายน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความเข้มข้น - ค่าเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 30 °ซ อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้กับกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 ที่เวลาต่าง ๆ กัน

ศูนย์วิทยาศาสตร์พยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



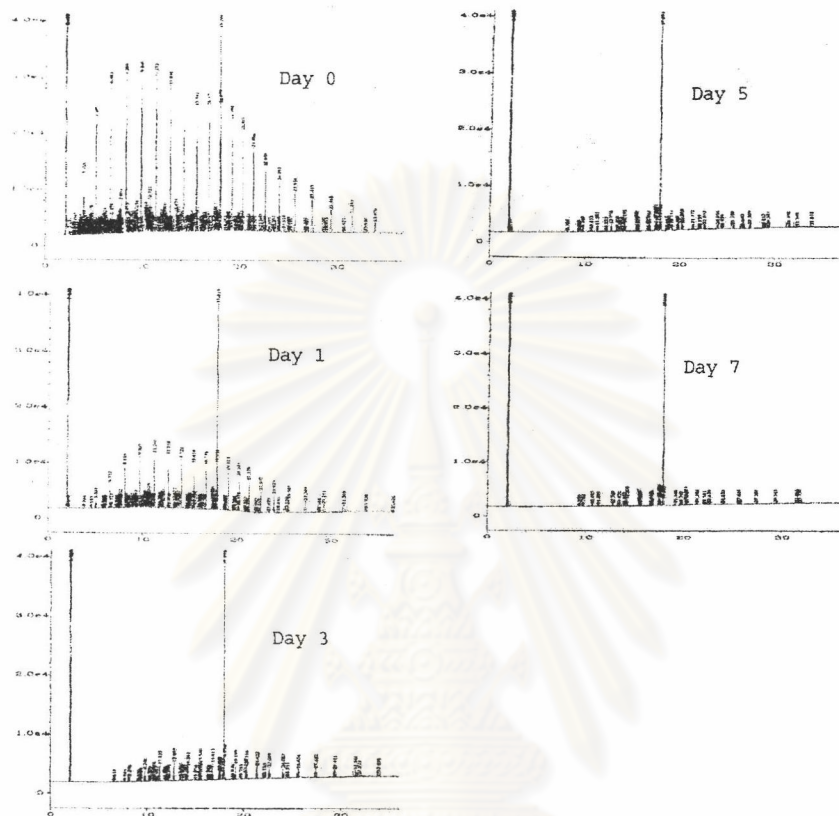
รูปที่ 13 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากการลดลงของน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 30 °ซ อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) โดยไม่มีการเติมจุลินทรีย์ ที่เวลาต่างๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



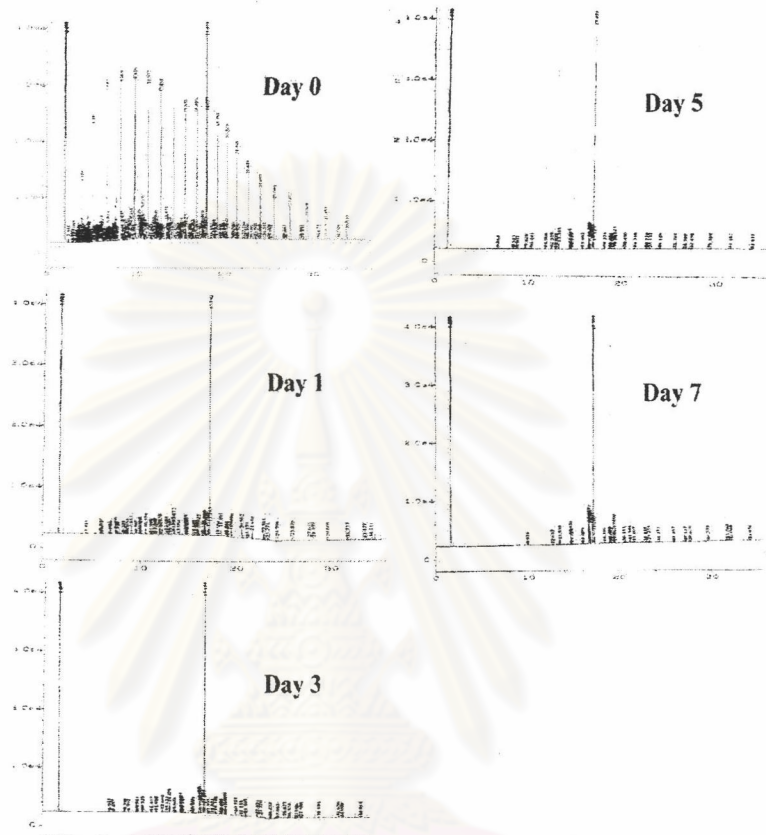
รูปที่ 14 - ช โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากการย่อยสลายน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิเท่ากับ 25 °ซ ภาวะความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้กับกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 ที่เวลาต่าง ๆ กัน

ศูนย์วิทยาศาสตร์พยากรณ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



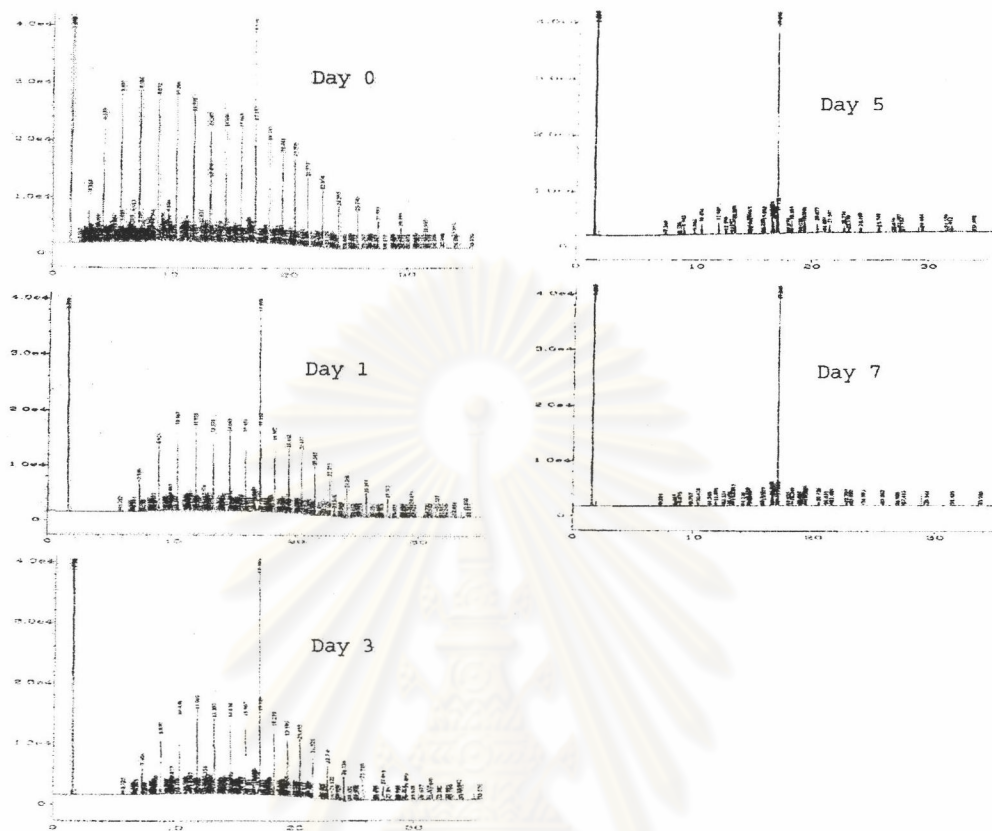
รูปที่ 15 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 25 °ซ ความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ ที่เวลาต่าง ๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



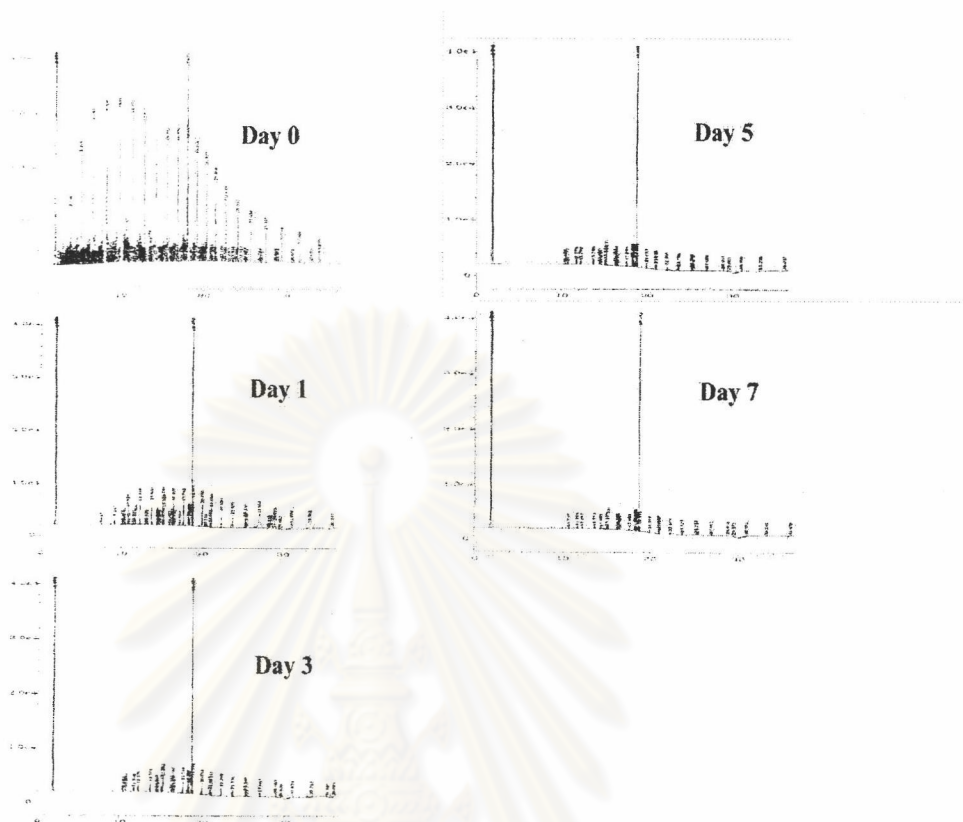
รูปที่ 16 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากการย่อยสลายน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิเท่ากับ 30 °ซ ภาวะความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้กับกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 ที่เวลาต่างๆ กัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



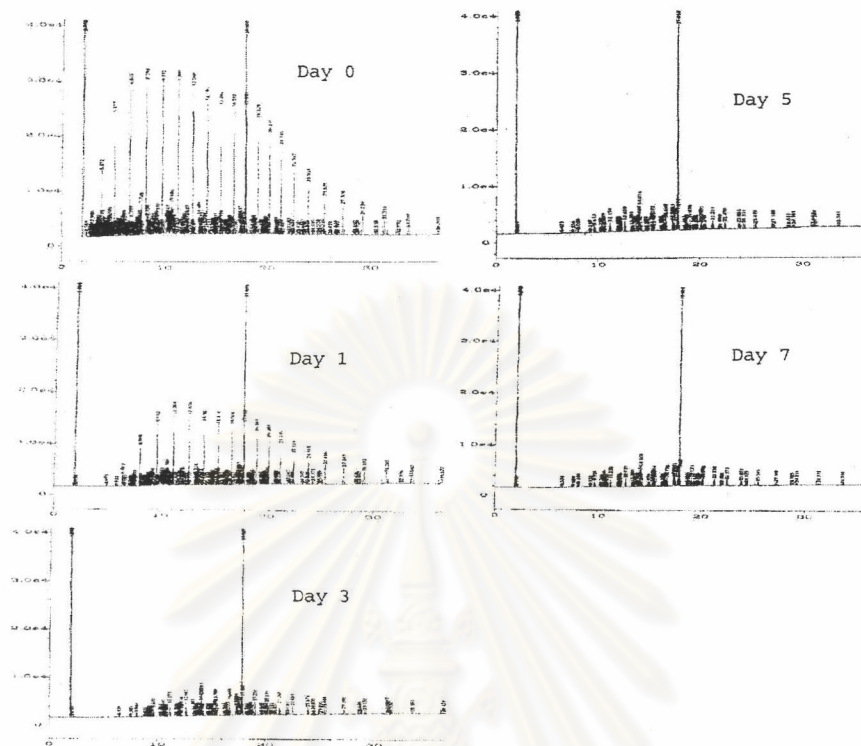
รูปที่ 17 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 30°C ความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ที่เวลาต่างๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



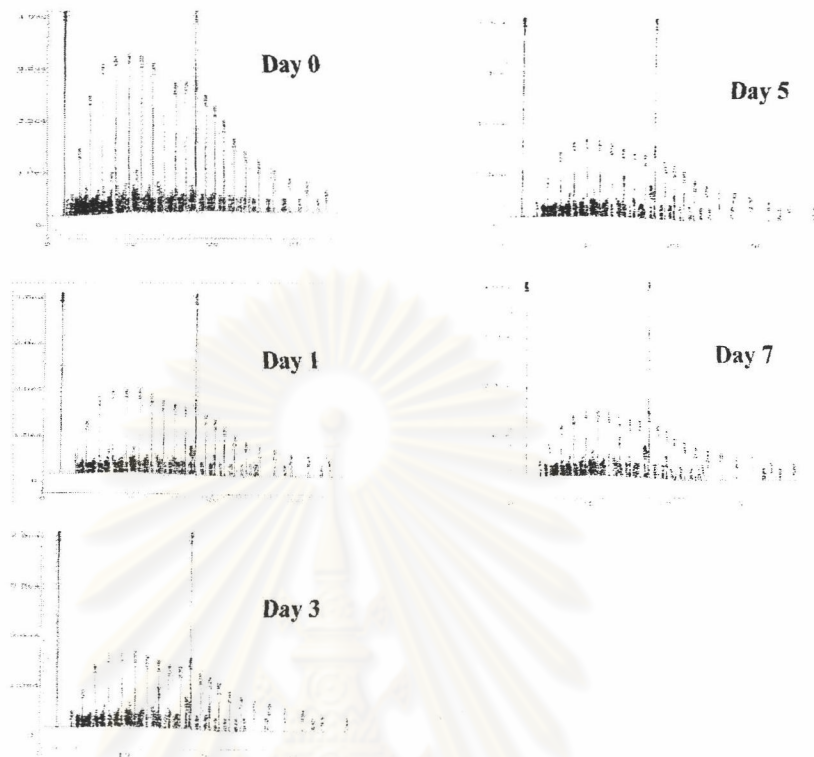
รูปที่ 18 - ซ โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากการย่อยสลายน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิเท่ากับ 35°C ภาวะความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้กับกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 ที่เวลาต่าง ๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



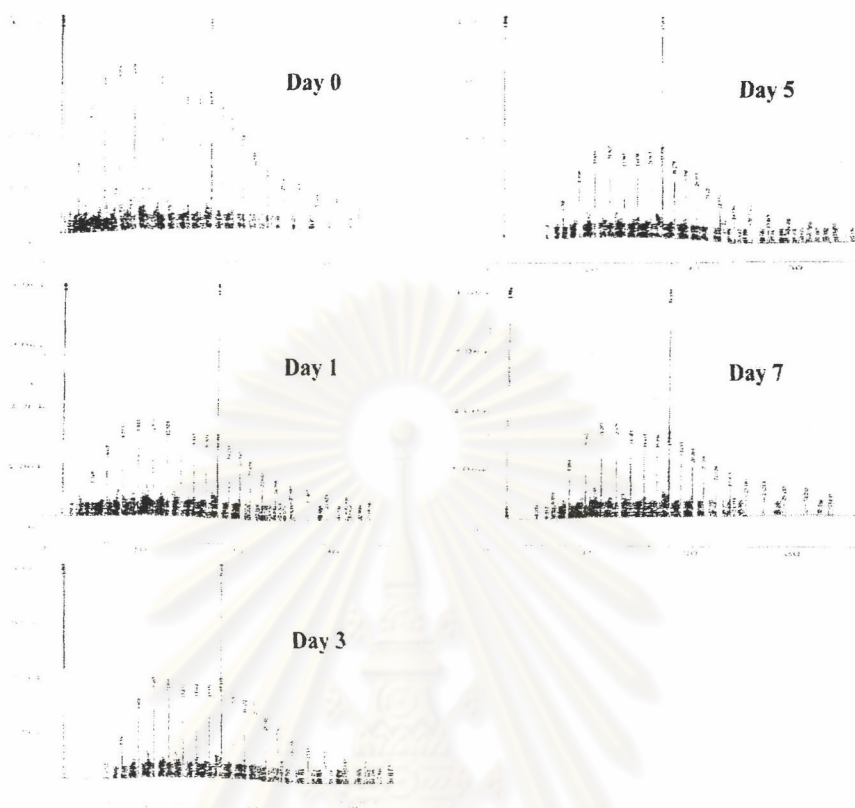
รูปที่ 19 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 35 °ซ ความเป็นกรด – ค่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ ที่เวลาต่าง ๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



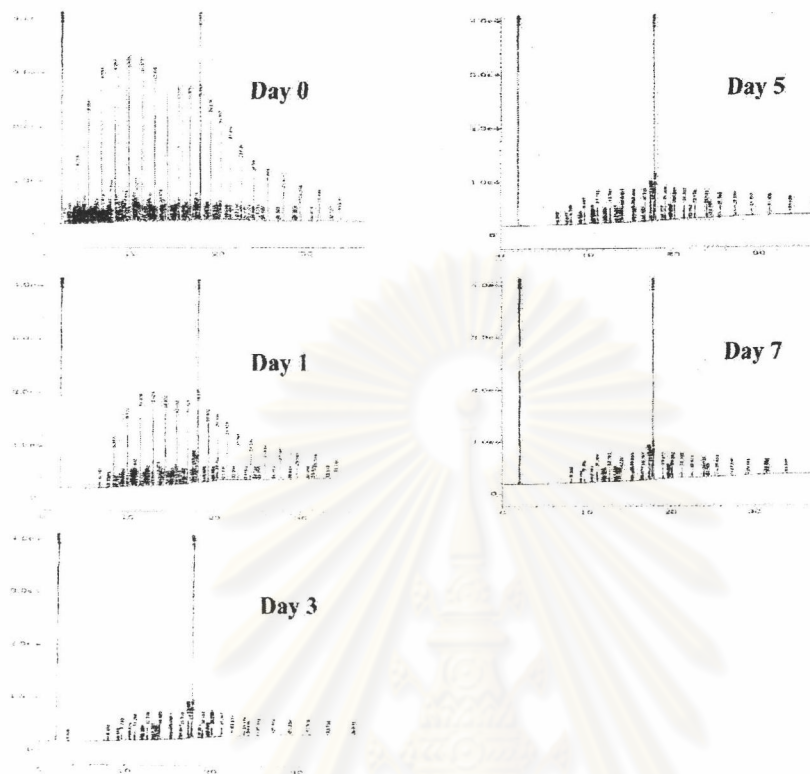
รูปที่ 20 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากการย่อยสลายน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่อัตราการให้อากาศเท่ากับ 0.1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 25 °ซ ความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้กับกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 ที่เวลาต่างๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



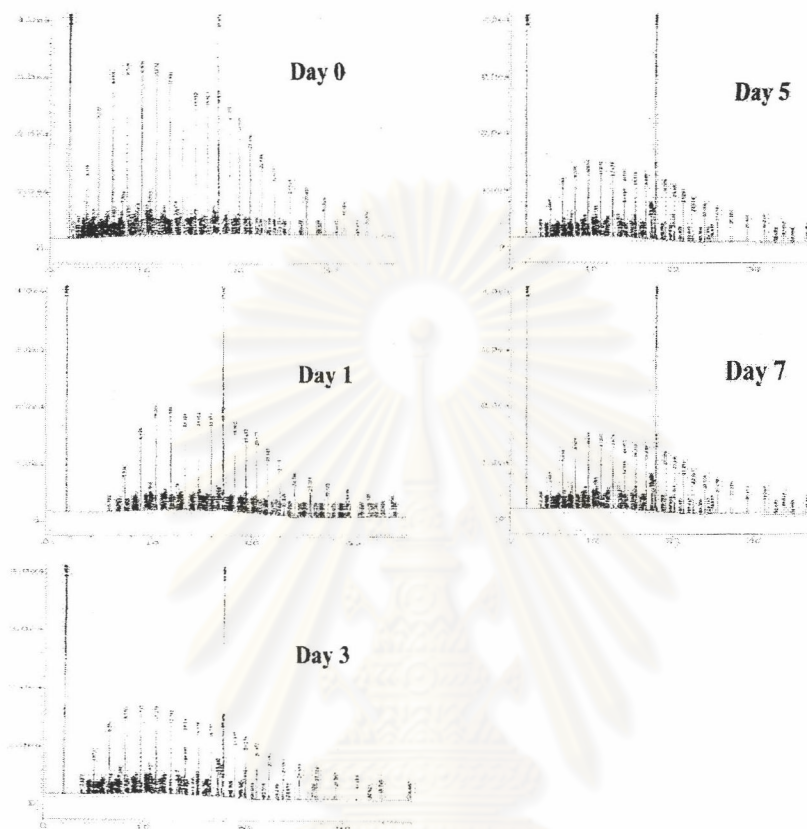
รูปที่ 21 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ภาวะอัตราการให้อากาศเท่ากับ 0.1 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) อุณหภูมิเท่ากับ 25 °ซ ความเป็นกรด - ค่าเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ ที่เวลาต่าง ๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



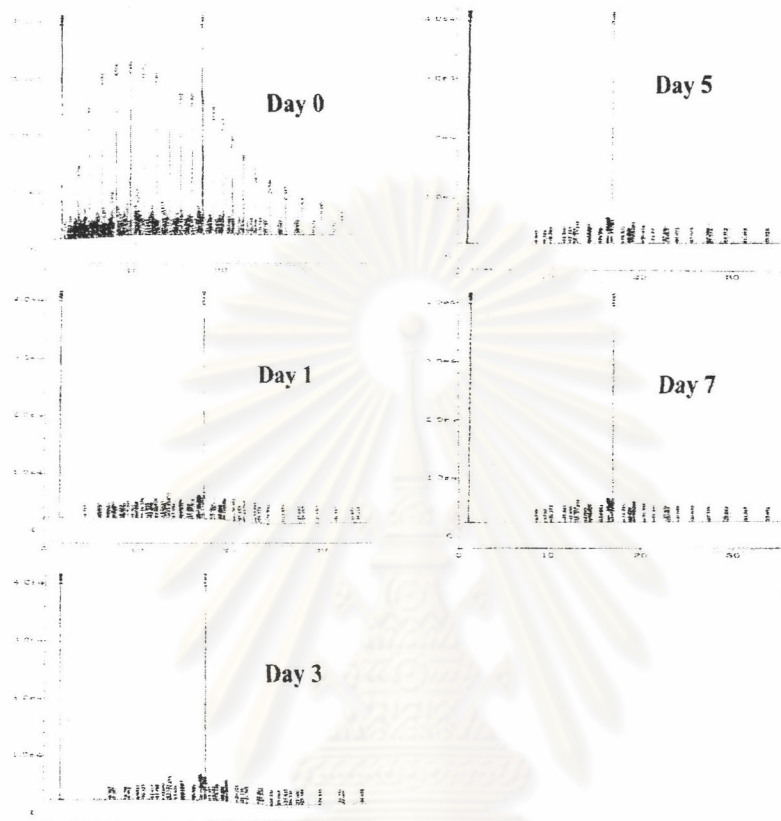
รูปที่ 22 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากการย่อยสลายน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่อัตราการให้อากาศเท่ากับ 0.5 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อ นาที) ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 25 °ซ ความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงดึงผิวชีวภาพได้กับกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 ที่เวลาต่างๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



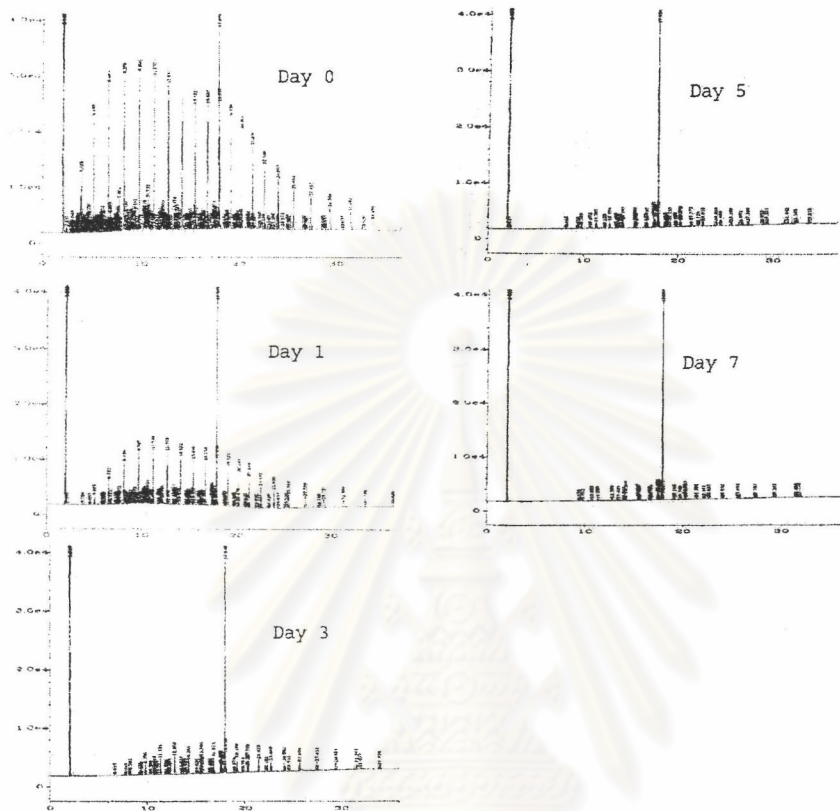
รูปที่ 23 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ภาวะอัตราการให้อากาศเท่ากับ 0.5 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) อุณหภูมิเท่ากับ 25 °ซ ความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ ที่เวลาต่าง ๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 24 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากการย่อยสลายน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อ นาที) ภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 25 °ซ ความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 และอัตราส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้กับกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ เท่ากับ 2 : 1 ที่เวลาต่างๆ กัน

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 25 - ข โครมาโทแกรมของปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่เหลือจากน้ำมันดิบ (Tapis crude oil) 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ภาวอัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 v.v.m (โดยปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที) อุณหภูมิเท่ากับ 25 °ซ ความเป็นกรด - ด่างเริ่มต้น เท่ากับ 8.0 ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ ที่เวลาต่าง ๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

คำศัพท์และมาตราที่ใช้ในด้านน้ำมันบางคำ

API = American Petroleum Institute

องศาเอพีไอ หมายถึงหน่วยใช้วัดความถ่วงจำเพาะของน้ำมันดิบ ซึ่งแทนที่จะใช้เทียบกับน้ำ (ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1) แต่ทางสถาบันอเมริกันปิโตรเลียมได้ดัดแปลงมาใช้องศาเอพีไอแทน โดยเป็นที่ยอมรับกัน ซึ่งใช้สูตรดังนี้

141.5

$$\text{API}^{\circ} \text{ ของน้ำมันดิบชนิดหนึ่ง} = \frac{141.5}{\text{ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันดิบชนิดนั้น}} - 131.5$$

(หมายเหตุ : ณ อุณหภูมิ 60 ° F หรือ 16.5 ° C)

ดังนั้นหากในกรณีของน้ำแล้วจะมีค่าองศาเอพีไอเท่ากับ 10

น้ำมันดิบทั่วไปจะมีความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 17 – 42 เอพีไอ ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของน้ำมันดิบออกได้ 3 ชนิด คือ

1. น้ำมันดิบชนิดเบา (Light Crude) หรือน้ำมันดิบใส ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีองศาเอพีไอมากกว่า 34 ขึ้นไป โดยน้ำมันชนิดนี้เมื่อนำมากลั่นจะให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีจุดระเหยต่ำ เช่น เบนซิน ก๊าด เป็นสัดส่วนสูงกว่าน้ำมันดิบที่มีองศาเอพีไอต่ำ
2. น้ำมันดิบชนิดปานกลาง (Medium Crude) หรือน้ำมันดิบกึ่งใส ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีองศาเอพีไออยู่ระหว่าง 30 – 33 โดยน้ำมันชนิดนี้เมื่อนำมากลั่น จะให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีจุดระเหยต่ำเป็นสัดส่วนต่ำกว่าที่ได้จากชนิดแรก
3. น้ำมันดิบชนิดหนัก (Heavy Crude) หรือน้ำมันดิบข้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีองศาเอพีไอต่ำกว่า 30 โดยน้ำมันชนิดนี้เมื่อนำมากลั่น จะให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีจุดระเหยสูง เช่น น้ำมันเตา เป็นสัดส่วนสูงกว่าน้ำมันดิบทุกประเภท ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวภัทรา ศรีสุทธีวรกุล เกิดเมื่อวันที่ 7 กันยายน 2519 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม และทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2542

ผลงานทางวิชาการที่เข้าร่วมประชุม

Srisutivorgul, P., and Kositanont, C. 2002. Using microbial consortium for crude oil degradation in laboratory scale. Poster presented at the 11th Science Research Congress. 18 - 19 March, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย