

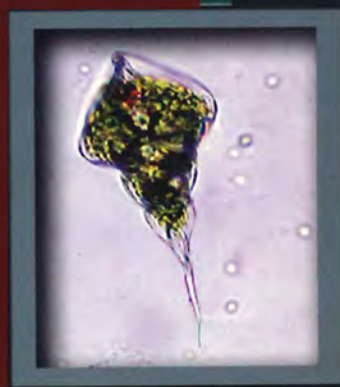


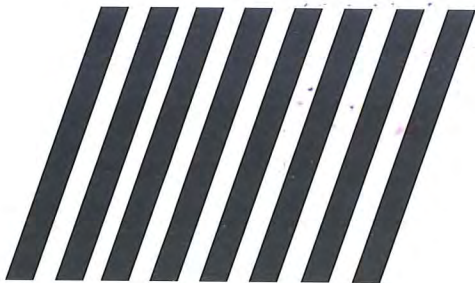
วารสาร

วิทยาศาสตร์ชุมชน

KKU SCIENCE JOURNAL

ปีที่ 30 ฉบับที่ 4 (ต.ค. - ธ.ค. 45) Vol. 30 No. 4 (Oct. - Dec. '02)





วารสาร

วิทยาศาสตร์
ISSN 0125 - 2364
วิทยาศาสตร์
KKU SCIENCE JOURNAL

เจ้าของ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำนักงาน

คณะวิทยาศาสตร์ ตึก 6

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่วิทยาการในสาขาวิชาต่าง ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานทางด้านการวิจัย และการศึกษา ค้นคว้าของอาจารย์และนักศึกษา
3. เพื่อเป็นสื่อกลางการแลกเปลี่ยนความรู้ และแนวความคิดทางวิชาการระหว่างอาจารย์ นักศึกษา และผู้สนใจ ทั้งภายในและภายนอกสถาบัน

กำหนดออก

ปีละ 4 ฉบับ

ฉบับที่ 1 มกราคม - มีนาคม

ฉบับที่ 2 เมษายน - มิถุนายน

ฉบับที่ 3 กรกฎาคม - กันยายน

ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม

ค่าบำรุง ปีละ 75 บาท ข่ายปลีกเล่มละ 20 บาท

การบอกรับเป็นสมาชิก

แจ้งความจำนงค์เป็นจดหมาย หรือกรอกใบสมัครเป็นสมาชิก พร้อมค่าบำรุงเป็นธนาคัตติ หรือเช็คไปรษณีย์ในนามของนางบุญคุ้ม เหลือล้ำ ฝ่ายจัดการส่งจ่าย ป.ท.มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

ที่ปรึกษา

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ

บรรณาธิการ

มานิตย์ โหมิตระกูล

กองบรรณาธิการ

เฉลิม เรื่องวิรัชชัย
สมเดช กนกเมธากุล
ศักดิ์สิทธิ์ จันทน์ไทย
บำรุง สมสวัสดิ์
วิทยา อมรกิจบำรุง
ประนอม จันทร์โหมทัย
นฤมล แสงประดับ
เสาวนิต ทองพิมพ์
พิสิฏฐ์ เจริญสุดใจ
เที่ยง ภูมิสะอาด
อำนาจ มณีศรีวงศ์กุล
บุญทรัพย์ ไวกำ

ฝ่ายศิลป์และภาพ

กิเลน ดิณนรเศรษฐ์
บุญส่ง กองสุข

ฝ่ายเหรียญ

บุญคุ้ม เหลือล้ำ

ฝ่ายจัดการและ

เลขานุการ

ทัศนีย์ จิตตะกวี
สมศักดิ์ อุ่นจันทน์
สุกนธ์ กลิ่นผกา

บทความและงานวิจัย

ได้รับการกลั่นกรอง

จากผู้ทรงคุณวุฒิ

บทความหรือข้อคิดเห็นใด ๆ ในวารสารนี้เป็นของผู้เขียน ไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับทัศนะของกองบรรณาธิการ

วารสาร

วิทยาศาสตร์ชุมชน

K K U S C I E N C E J O U R N A L

ปีที่ 30 ฉบับที่ 4

Volume 30 Number 4

บรรณาธิการแถลง

งานวิจัย

- ☐ Genotyping of Alcohol Dehydrogenase 2
from Fingernail and Gene Frequency of
Thai Males Living in Khon Kaen,
Northeast Thailand
Somsong Nanakorn
Paiboon Mongconthawornchai
Atsushi Nishiyori..... 221
- ☐ ผลของการเลี้ยงปลาในกระชัง
ต่อชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในลำน้ำชี
บุญเสฐียร บุญสูง
นฤมล แสงประดับ..... 228
- ☐ ความหลากหลายของโปรโตซัวในเขื่อนอุบลรัตน์
จังหวัดขอนแก่น
พินิจ หวังสมนึก
ภูวณภรณ์ กรพินธุ์
อินทิรา ประเสริฐดิ..... 240

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วิทยาศาสตร์ชุมชน

KKU SCIENCE JOURNAL

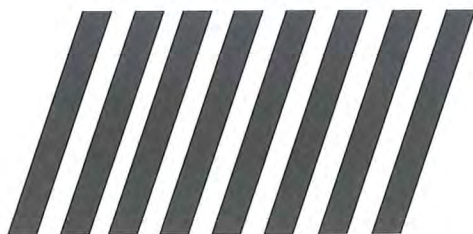
ปีที่ 30 ฉบับที่ 4

Volume 30 Number 4

- คุณภาพนมสดและผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่ม
จากแหล่งผลิตในเขต 6 และผลิตภัณฑ์
นมพร้อมดื่มจากโครงการนมโรงเรียน
ในจังหวัดขอนแก่น
ไพรวลัย อินทร์อุดม
สุภาพร เวทีวุฒาจารย์
วิไล เส
โสภณ บำเพ็ญทรัพย์..... 253

- สมบัติของฟิล์มพอลิเอทิลีนที่ผสมสารเติมแต่ง
ซีโอไซด์
ศุภารัตน์ รักชลธิ
กังสดาล บัวนุตรา
ณัฐนิชาห์ ศิริเจียรนัย
กัญญาวิรี สุวรรณชัย..... 262

- การเตรียมสารหล่อลื่นสังเคราะห์
ประเภทเอสเทอร์ จากกรดสเตียริก
และเตทานอล และการตรวจสอบคุณสมบัติ
วันฉัตร ชื่นชม
อรนภา คู่มิตรไท
อารีญา ทับใบ..... 271



วิทยาลัยเทคโนโลยี
KKU SCIENCE JOURNAL

Publisher

Faculty of Science, Khon Kaen University,
Thailand.

Office

Faculty of Science, Building 6, Khon Kaen
University.

Objectives

1. To promote dissemination of knowledge in all fields of science.
2. To publish research results of faculty, researchers and students.
3. To be a medium for the exchange of knowledge and ideas among faculty, researchers and students of Khon Kaen University and other institutions.

Publishing frequency

KKU Science Journal is a quarterly journal.
Each volume consists of 4 numbers.

Number 1 January - March

Number 2 April - June

Number 3 July - September

Number 4 October - December

Subscription rate

75 baht per annum. Single issue price 20 baht.

Membership

Membership request can be made by letter or by completing the membership form, with the fee paid in the form of a postal order or postal cheque sent to Mrs. Boonkoom Lualon, Managing Staff, Khon Kaen University Post Office, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002.

Advisory Committee Dean, Faculty of Science
Associate Dean for Academic Affairs

Editor

Manit Kosittrakun

Editorial Board

Chalerm Ruangviriyachai
Somdej Kanokmedhakul
Saksit Chanthai
Bamrung Somsawadi
Vittaya Amornkitbamrung
Pranom Chantaranonthai
Narumon Sangpradub
Soawanit Tongpim
Pisit Chareonsudjai
Tiang Poomsa-ard
Amnuay Maneesriwongkul
Boonsup Waikham

Artists

Kilen Tinnoraset
Boonsong Koungsook

Treasurer

Boonkoom Lualon

Managing Staff and Secretary

Tassanee Jittakhawee
Somsak Unjantee
Sukhon Klinpaka

All articles published in
KKU Science Journal have been
peer reviewed.

The views and opinions expressed in this journal are those of the author(s), and do not necessarily reflect the views and opinions of the editorial board.

บรรณธิการ **แกลง**

เรียน ท่านสมาชิกวารสารฯ และท่านผู้อ่านที่รัก

รูปเล่มของวารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ 30 ฉบับที่ 4 แตกต่างจากฉบับก่อนหน้านี้น้อยเล็กน้อย เนื่องจากการเปลี่ยนโรงพิมพ์ แต่เนื้อหายังคงเปี่ยมไปด้วยคุณภาพเช่นเดิม วารสารฯ ฉบับนี้มีเฉพาะบทความวิจัยเท่านั้น โดยที่บทความทางด้านชีววิทยาและเคมี มีสัดส่วนที่มากกว่าบทความในสาขาวิชาอื่น

กองบรรณธิการฯ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิดังต่อไปนี้ ที่ได้พิจารณาบทความซึ่งได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ 30 ฉบับที่ 1- ฉบับที่ 4

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| ● ผศ.ดร.ชนชาติ นุ่มนนท์ | ● ผศ.ดร.ประสาธ โพร้นิมแดง |
| ● ผศ.ดร.ศุภลักษณ์ ศรีจารนัย | ● ดร.วัฒนา เถาว์ทิพย์ |
| ● ผศ.ดร.สุจิตรา ยังมี | ● รศ.ดร.นิสันต์ สัตยาชัย |
| ● รศ.เอมอร ไม้เรียง | ● ดร.สัมภาษณ์ คุณสุข |
| ● รศ.เที่ยง ภูมิสะอาด | ● ผศ.ดร.วิทยา อมรกิจบำรุง |
| ● ผศ.ดร.สมเดช กนกเมธากุล | ● ผศ.พญ.กุสุมา ชูศิลป์ |
| ● ผศ.ดร.ศาสตรา วงศ์ธนวุธ | ● ผศ.ดร.พิสิฐ เจริญสุดใจ |
| ● รศ.ดร.วีรพงศ์ สุลิตานนท์ | ● ผศ.ดร.นฤมล แสงประดับ |
| ● รศ.ศรีสุมนตร์ สีตะธนี | ● ผศ.ดร.วิเชียร วรพุทธพร |
| ● ผศ.ดร.วิวัฒน์ หาญวงวงศ์ | ● ผศ.ดร.ชูศักดิ์ พูนสวัสดิ์ |

สวัสดีครับ

บรรณธิการ

Genotyping of Alcohol Dehydrogenase 2 from Fingernail and Gene Frequency of Thai Males Living in Khon Kaen, Northeast Thailand

Somsong Nanakorn¹, Paiboon Mongconthawornchai¹ and Atsushi Nishiyori²

Abstract

DNA extraction from fingernails of Thai males living in rural areas of Khon Kaen province, Northeast Thailand, was performed for genotyping of alcohol dehydrogenase 2 (ADH2) genotype. Collection of fingernail clippings of one hundred and fifty-three subjects was obtained from unrelated male villagers aged between 18 and 65 years by using modified Michigan Alcoholism Screening Test-Thai version. ADH2 genotyping was determined by a PCR-RFLP technique. The results showed that 29.4% of the samples possessed normal homozygote (ADH2*1/*1), 51.0% heterozygote (ADH2*1/*2), and 19.6% mutant homozygote (ADH2*2/*2). Calculated gene frequency of ADH2*1 allele was 0.549, thus gene frequency of ADH2*2 allele was 0.451. Comparison of the ADH2 genotype and gene frequency among Thais living in the north and the northeast is made on the basis of information on distribution of the ADH2 gene frequencies among different ethnic populations.

Introduction

Differences in sensitivity to alcohol between ethnicity are well recognized particularly in Mongoloids compared with Caucasoids (Wolff, 1972). A significantly greater percentage of Orientals respond to a mild dose of alcohol intake with marked adverse reactions such as facial flushing, palpitation, increase of heart rate, tachycardia, hot feeling in the stomach and muscle weakness. The major alcohol metabolic pathway is a two-step oxidation of ethanol to acetaldehyde and to acetate (Crabb et al., 1993). An oxidative catabolism of ethanol in

the liver is its conversion to acetaldehyde catalized by the cytosolic zinc metalloenzyme alcohol dehydrogenase (ADH) with at least five classes (Bosron et al., 1993). Class I enzymes (α , μ , and γ) form homodimeric and heterodimeric isoenzymes, the subunits of which are encoded by the ADH1, ADH2, and ADH3 genes, respectively, and play the most important role in the metabolism of ingested ethanol. Of the three class I loci, two (ADH2 and ADH3) are polymorphic (Burnell and Bosron, 1989), three polymorphic variants at ADH2. The ADH2*1 is found in nearly all Caucasians, while the ADH2*2

¹ Department of Biology, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

² Department of Public Health, Kurume University School of Medicine, Kurume city, Japan

is found in the majority of Asians and was originally designated "atypical" ADH. The ADH2*3 has been identified only in some African-Americans (Bosron et al., 1980). Gene-geography studies in 21 different populations (Goedde et al., 1992) have shown that ADH2*1 allele was found to be relatively high in Caucasoids, Mexicans, Negroids, while ADH2*2 allele was considerably higher in the Mongoloids and Australian Aborigines.

The ADH2*1 and ADH2*2 genotypes can be detected by various methods such as allele-specific oligonucleotides (ASO) of genomic DNA (Ikuta et al., 1988), the dot-blot hybridization of polymerase chain reaction (PCR) products with ASO (Xu et al., 1988), PCR coupled with restriction fragment length polymorphism (RFLP) (Xu et al., 1988; Groppi et al., 1990), and direct sequencing of the PCR product (Tanaka et al., 1996). Although the ADH2 genotype has been reported to be a risk of alcoholism (Crabb et al., 1993), the significance of ADH2 genotype is still controversial. Takeshita and colleagues (1994) reported that drinking habits were not significantly associated with the ADH2 genotype in a Japanese population. A study by Tanaka et al. (1996) revealed that ADH2 genotype played important roles in Japanese's habitual alcohol intake. Muramatsu et al. (1995) reported that ADH2*2 allele was significantly lower among alcoholics than nonalcoholics. A previous study showed that ADH2*1 allele of Thais living in the north was found relatively high compared to other Asians of Mongoloid origin (Goedde et al., 1992). The present study is aimed at detection of ADH2 genotype by using enzymatically amplified genomic DNA extracted from fingernails, and calculation of the ADH2 gene frequency among Thai males living in Khon Kaen, Northeast Thailand.

Material and methods

Collection of specimen

Unrelated male subjects aged between 18 and 65 years old living in rural (National Office of Statistics, 1990) villages of Khon Kaen province, Northeast Thailand, were interviewed by a well-trained interviewer (SN) using the modified Michigan Alcoholism Screening Test-Thai version (MAST-T) to recruit nonalcoholic subjects after obtaining informed consents as described by Nanakorn et al. (1999). In sum, the MAST-T is a 23-item questionnaire which was validated and yielded high sensitivity and specificity to screen alcoholics among the northeastern Thai population (Nanakorn et al., 1998). Subjects who scored less than eleven, which was a cut-off point on this MAST-T, were classified as nonalcoholics. Properly clipped fingernails collected from one hundred and fifty-three subjects of nonalcoholics were transported to the Kurume University School of Medicine, Department of Public Health, Japan for determination of ADH2 genotypes. The method of fingernail clipping is described by Nishiyori et al. (1994).

This study was approved by the Ethical Review Research Committee of the Ministry of Public Health, Thailand.

Determination of ADH2 genotype

ADH2 genotyping of each clipped fingernail was performed using PCR-RFLP (polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism) technique, which is a new rapid inexpensive and reliable method modified by Nishiyori et al. (1998). DNA was extracted from 20-30 mg of nail clippings with 300 µl of 4 mol / l guanidine thiocyanate, 5 g / l sodium *N*-lauroyl sarcosinate,

25 μmol / l sodium citrate, and 0.1 mol / l 2-mercaptoethanol, and then incubated for 30 minutes at room temperature. Nucleic acid was extracted with phenol / chloroform {TE buffer [10 μmol / l Tris-HCl (pH 8.0), 1 μmol / l EDTA (pH 8.0)] saturated}, and DNA was precipitated with ethanol and sodium chloride. After centrifugation, the pellet was dissolved in 30 μl of diluted (1:10) TE buffer. One-fifth of the genomic DNA was subjected to 30 cycles of amplification with the following primers respectively; primer MF3: 5'-CTGTAGGAATCTGTC-3'; MR3: 5'-CCTTCTCCAACACTA-3'. These primers were designed as mismatched 3'-end nucleotides of the ADH1 or ADH3 alleles for amplifying only the ADH2 allele. The PCR reaction was conducted in a final volume of 25 ml containing 6 μl of genomic DNA, 200 μmol / l dNTP mix, 1x PCR buffer (Nippon Gene), 0.4 μmol / l of each primer, and 0.625 U of Taq DNA polymerase, an N-terminal truncated 68-kDa polymerase (Nippon Gene). PCR variables were: 94 °C for the first 4 minutes for denaturation, followed by 30 cycles of denaturation at 94 °C for 1 minute, annealing at 52 °C for 30 seconds, and extension at 72 °C for 30 seconds in a *Techne PHC-3* thermal cycler. The amplified DNA fragments were digested with *MslI* and underwent electrophoresis in an 8% polyacrylamide gel, visualized by ethidium bromide staining, and photographed under ultraviolet light with a polaroid film *T 667 ISO 3000* (Polaroid Corp., Cambridge, MA, USA). The ADH2*1 allele produced a band of 112 bp, whereas the ADH2*2 allele yielded bands of 93 bp and 19 bp.

Results

ADH2 genotype and gene frequency

It was found that 29.4% of the samples possessed normal or typical homozygote (ADH2*1/ADH2*1), 51.0% heterozygote (ADH2*1/ADH2*2), and 19.6% mutant homozygote (ADH2*2/ADH2*2). Calculated gene frequency of ADH2*1 allele was 0.549, thus gene frequency of ADH2*2 allele was 0.451 (Table 1). Deviation from the Hardy-Weinberg's equilibrium (Vogel and Motulsky, 1986) was not statistically significant ($\chi^2 = 0.107$, $\text{df}=1$, $p>0.05$).

Table 1 ADH2 genotype and derived gene frequencies among northeastern Thais

ADH2 genotype	Number of Genotype (%)
ADH2*1/ADH2*1	45 (29.4%)
ADH2*1/ADH2*2	78 (61.0%)
ADH2*2/ADH2*2	30 (19.6%)
Total	153 (100.0%)

$$\chi^2 = 0.107, \text{df} = 1, p > 0.05$$

Gene frequency
ADH2*1 allele = 0.549
ADH2*2 allele = 0.451

Discussion

The present study is the first report on the ADH2 genotype and gene frequencies among Thai males living in the Northeast. Distribution of the ADH2 genotype and gene frequencies among various populations of Mongoloid and Caucasoid origin are shown in Table 2. The determined gene frequency of the ADH2*1 allele (0.549) in the present study seemed to be inconsistent with the previous report (Goedde et al., 1992) among the northern Thai population (0.667). When the ADH2 gene

frequencies among Asians of Mongoloid origin was considered, the ADH2*1 allele among Malays, Japanese, Filipinos, and Chinese were 0.408, 0.406, 0.395, and 0.320, respectively (Goedde et al., 1992). Interestingly, discrepancies in the ADH2 gene frequencies were found among Japanese by several authors. Higuchi et al. (1995), Muramatsu et al. (1995), and Yamamoto et al. (1993) found that the ADH2*1 allele among Japanese nonalcoholics were 0.245 (n=461), 0.320 (n=105), and 0.310 (n=58), respectively. The reason for the compositional discrepancy of the ADH2 genotypes between the present study and those for the Thai students observed by Goedde et al. (1992) i.e. 29.4% and 45.9% for the

ADH2*1/1, 51.0% and 41.5% for the ADH2*1/2, and 12.6% and 19.6% for the ADH2*2/2, respectively, is not clear. It is probably caused by difference in characteristics of subjects. However, the ADH2*1 allele frequency among Thai population from the two reports were relatively higher compared to those among other Asians except for Korean.

The ADH2*1 allele may be related to alcohol sensitivity among Thai population according to the findings of the present study and the previous studies (Monconthawornchai et al., 2002; Goedde et al., 1992) on the ALDH2*1 allele frequency

Table 2 Distribution of ADH2 genotype and gene frequency among various populations of Mongoloid and Caucasoid origin

Subjects	n	Number of genotype (%)		Gene frequency		
		ADH2*1/*1	ADH2*1/*2	ADH2*2/*2	ADH2*1	ADH2*2
Mongoloids:						
Thais {northeasterners}*	153	45	78	30	0.549	0.451
Thais {northerners}(1)	111	51	46	14	0.667	0.333
Filipinos (1)	57	11	23	23	0.395	0.605
Malays (1)	65	11	31	23	0.408	0.592
Koreans (1)	177	7	55	115	0.195	0.805
Chinese (1)	86	7	41	38	0.32	0.68
Chinese (2)	47	3	19	25	0.27	0.73
Japanese(1)	32	5	16	11	0.406	0.594
Japanese (3)	58	4	28	26	0.31	0.69
Japanese (4)	461	33	160	268	0.245	0.755
Japanese (5)	105	12	43	50	0.32	0.68
Caucasoids:						
Germans (1)	233	214	19	0	0.959	0.041
Swedes (1)	90	89	1	0	0.994	0.006
Hungarians (1)	115	103	12	0	0.948	0.052
Indians (1)	167	142	17	8	0.901	0.099

* Present study

- (1) Goedde et al. (1992)
- (2) Thomasson et al. (1991)
- (3) Yamamoto et al. (1993)
- (4) Higuchi et al. (1995)
- (5) Muramatsu et al. (1995)

among Thais. The high frequency of the ALDH2*1 allele among Thais (0.95 and 0.956) which is most likely the same as those among Indians (0.98), Hungarian (0.987) and German (1.0), indicated that the ALDH2*1 allele may not play an important role in alcohol sensitivity among Thai nonalcoholics. So, there is a possibility that the ADH2 gene plays an important role in alcohol sensitivity among Thai nonalcoholics according to the present finding of the ADH2*1 allele frequency (0.549). Individuals who lack the ADH2*1 allele or possess the inactive ADH2*2 allele will be more likely to be sensitive to alcohol after alcohol beverage intakes than those who possess the ADH2*1 allele because of a high blood acetaldehyde level.

The reason why the present study was performed in the selected non-alcoholic group is that empirical studies showed striking differences in the frequencies of ADH2 gene between alcoholics and non-alcoholics as mentioned earlier.

A comprehensive epidemiological investigation on genetic factors affecting alcohol sensitivity or measurement on acetaldehyde blood level between alcoholic and non-alcoholic Thai population is needed.

The use of fingernails in the genetic population study is proved to be more convenient in obtaining informed consent from the subjects. Moreover, nucleic acids were successfully extracted from nail clippings by the guanidine method (Chomczynski and Sacchi, 1987).

Acknowledgement

This study was partly supported by the Grant-in-Aid for Scientific Research (B) from the Japan Ministry of Education, Science, Sports and Culture.

References

- Bosron, W.F., Li, T-K. and Vallee, B.L. (1980). New molecular forms of human liver alcohol dehydrogenase: isolation and characterization of ADH Indianapolis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 77:5784-5788.
- Bosron, W.F., Ehrig, T. and Li, T-K. (1993). Genetic factors in alcohol metabolism and alcoholism. *Seminar in Liver Disease.* 2:126-135.
- Burnell, J.C. and Bosron, W.F. (1989). Genetic polymorphism of human liver alcohol dehydrogenase and kinetic properties of the isoenzymes. In: Crow, K.E. and Batt, R.D. (eds.). *Human Metabolism of Alcohol.* Vol.II. Boca Raton, Florida: CRC Press. p.65-75.
- Chomczynski, P. and Sacchi, N. (1987). Single-step method of RNA isolation by acid guanidium thiocyanate-phenol-chloroform extraction. *Anal. Biochem.* 162:156-159.
- Crabb, D.W., Dipple, K.M. and Thomasson, H.R. (1993). Alcohol sensitivity, alcohol metabolism, risk of alcoholism, and the role of alcohol and aldehyde dehydrogenase genotypes. *J. Lab. Clin. Med.* 122:234-240.
- Goedde, H.W., Agarwal, D.P., Fritze, G., Meier-Tackmann, D., Singh, S., Beckmann, G., Bhatia, K., Chen, L.Z., Fang, B., Lisker, R., Paik, Y.K., Rothhammer, F. Saha, N., Segal, B., Srivastava, L.M. and Czeizel, A. (1992). Distribution of ADH2 and ALDH2 genotypes in different populations. *Hum. Genet.* 88:344-346.

- Groppi, A., Begueret, J. and Iron, A. (1990). Improved method for genotype determination of human alcohol dehydrogenase (ADH) at ADH2 and ADH3 loci by using polymerase chain reaction-directed mutagenesis. *Clin. Chem.* 36:1765-1768.
- Higuchi, S., Matsushita, S., Murayama, M., Takagi, S. and Hayashida, M. (1995). Alcohol and aldehyde dehydrogenase and drinking behavior in Japanese. *Am. J. Psychiatry.* 152:1219-1221.
- Ikuta, T., Shibuya, A. and Yoshida, A. (1988). Direct determination of usual (Caucasian-type) and atypical (Oriental-type) alleles of the class I human alcohol dehydrogenase-2 locus. *Biochem. Genet.* 26:519-525.
- Moncontawornchai, P., Nanakorn, S. and Nishiyori, A. (2002). Aldehyde dehydrogenase-2 genotype detection in fingernails among non-alcoholic northeastern Thai population and derived gene frequency. *ScienceAsia.* 28:99-103.
- Muramatsu, T., Wang, Z.-G., Fang, Y.-R., Hu, K.-B., Yan, H., Yamada, K., Higuchi, S., Harada, S. and Kono, H. (1995). Alcohol and aldehyde dehydrogenase genotypes and drinking behavior of Chinese living in Shanghai. *Hum. Genet.* 96:151-154.
- Nanakorn, S., Fukuda, K., Tangseree, T., Treethiptikhun, S., Nakamura, J. and Inutsuka, H. (1998). Validation of the Michigan Alcoholism Screening Test-Thai version in northeast Thailand. *Kurume Med. J.* 45:313-319.
- Nanakorn, S., Fukuda, K., Nishiyori, A., Shibata, A. and Nakamura, J. (1999). Aldehyde dehydrogenase genotypes and male alcohol use disorders: a case-control study in Khon Kaen, north-east Thailand. *Psychiatr. Clin. Neurosci.* 53:397-405.
- National Office of Statistics. (1990). Kingdom of Thailand's population and urbanization: summary report of population and house census. Bangkok: Office of Prime Minister Thailand. p.1-2. (in Thai)
- Nishiyori, A., Fukuda, K., Itoh, K. and Kato, H. (1994). Genotype-phenotype agreement of aldehyde dehydrogenase 2 in 120 healthy Japanese. *Kurume Med. J.* 41:117-121.
- Nishiyori, A., Fukuda, K., Ogimoto, I. and Kato, H. (1998). Detection of ADH2*1 and ADH2*2 alleles in fingernails from Japanese. *Clin. Chem.* 44:675-676.
- Takeshita, T. and Morimoto, K. (1994). Characterization of the three genotypes of low Km aldehyde dehydrogenase in a Japanese population. *Hum. Genet.* 94:217-223.
- Tanaka, F., Shiratori, Y., Yokosuka, O., Imazeki, F., Tsukada, Y. and Omata, M. (1996). High incidence of ADH2*1/ALDH2*1 genes among Japanese alcohol dependents and patients with alcoholic liver disease. *Hepatology.* 23:234-239.
- Thomasson, H.R., Edenberg, H.J., Crabb, D.W., Mai, X.-L., Jerome, J.E., Li, T.-K., Wang, S.-P., Lin, Y.-T., Lu, R.B. and Yu, S.-J. (1991). Alcohol and aldehyde dehydrogenase genotypes and alcoholism in Chinese men. *Am. J. Hum. Genet.* 48:677-681.
- Vogel, F. and Motulsky, A.G. (1986). *Human Genetics: Problems and Approaches*. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag. p.81-82.

- Wolff, P.H. (1972). Ethnic differences in alcohol sensitivity. *Science*. 175:449-450.
- Xu, Y., Carr, L.G., Bosron, W.F., Li, T.-K. and Edenberg, H.G. (1988). Genotyping of human alcohol dehydrogenase at the ADH2 and ADH3 loci following DNA amplification. *Genomics*. 2:209-214.
- Yamamoto, K., Ueno, Y., Mizoi, Y. and Tatsuno, Y. (1993). Genetic polymorphism of alcohol and aldehyde dehydrogenase and the effects on alcohol metabolism. *Jpn. J. Alcohol & Drug Dependence*. 28:13-25.



ผลของการเลี้ยงปลาในกระชัง ต่อชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในลำน้ำชี

บุญเสริญ บุญสูง¹ และนฤมล แสงประดับ¹

บทคัดย่อ

การศึกษาผลกระทบของการเลี้ยงปลาในกระชังต่อชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในลำน้ำชีที่ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยเก็บตัวอย่างสัตว์เดือนละครั้ง ระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึงตุลาคม 2541 ด้วย Ekman grab จาก 28 สถานี ๆ ละ 2 ซ้ำ พบว่าการเลี้ยงปลาในกระชังมีผลกระทบต่อสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน โดยในช่วงที่มีการเลี้ยงปลานั้น พบว่าสัตว์ที่มีความทนทานสูงต่อมลพิษ คือ หนอนแดง (*Chironomus* sp.) อาศัยอยู่มากในตะกอนบริเวณกระชัง และบริเวณท้ายกระชัง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์สูง เมื่อเลิกเลี้ยงปลาแล้ว พบว่าชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน สามารถฟื้นตัวได้ในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน โดยพบสัตว์ที่มีความทนทานน้อยต่อมลพิษ ได้แก่ ตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำขาใบพาย (*Dipseudopsis* sp.) ตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำรังไหม (*Macrostemum* sp.) และตัวอ่อนแมลงชีปะขาวกรามงอน (*Eatonigenia* sp.) เข้ามาอาศัยอยู่ในบริเวณกระชังเลี้ยงปลา สำหรับแมลงหนอนปลอกน้ำขาใบพาย ซึ่งมีจำนวนตัวเป็นจำนวนมากเป็นหนึ่งในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินกลุ่มแรกที่กลับเข้ามาอาศัยอยู่ในบริเวณกระชังเลี้ยงปลา เมื่อสภาพแวดล้อมภายในกระชังเริ่มดีขึ้น ดังนั้นจึงอาจสามารถใช้สัตว์ชนิดนี้เป็นตัวบ่งชี้สุขภาพที่แสดงถึงการฟื้นตัวจากมลพิษสารอินทรีย์ได้

Abstract

In situ investigation on the impact of intensive fish cage culture on benthic macroinvertebrate community was conducted monthly during July to October 1998 in the Chi River at Tapra subdistrict, Muang district, Khon Kaen province. Two replicates of benthic macroinvertebrates were collected using Ekman grab from 28 sites. The results showed that intensive fish cage culture affected the benthic macroinvertebrate community. The blood worms (*Chironomus* sp.), which were predominant in the sediment collected from the impact sites (fish cage area and downstream site), were highly tolerant to pollution. After fish culture was terminated, benthic taxa were resilient within a month. Less tolerant taxa such as the larvae of caddisfly (*Dipseudopsis* sp.), *Macrostemum* sp. and mayfly (*Eatonigenia* sp.) started to recolonize in the fish cage area. The *Dipseudopsis* caddisfly larvae were greatly abundant in the river bed after pisciculture came to an end. Therefore, they could possibly be used as the "sensitive indicator taxa" for recovery from organic pollution.

¹ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

บทนำ

กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่มีผลต่อลำน้ำธรรมชาติ ย่อมมีผลต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำนั้น การเลี้ยงปลาในกระชังในแหล่งน้ำจัดเป็นอีกกิจกรรมหนึ่งที่ขยายตัวและแพร่หลายอย่างรวดเร็วเนื่องจากสามารถเลี้ยงได้อย่างหนาแน่นในขณะที่ปลาไม่ต้องการเจริญเติบโตสูง และได้ปลาที่มีขนาดไม่ต่างกันมาก ทำให้ง่ายต่อการจับขายและที่สำคัญคือ มีต้นทุนต่ำกว่าการเลี้ยงปลาด้วยวิธีอื่น ๆ (เมฆบุญพรหมณ์, 2530) การเลี้ยงปลาในกระชังอาจส่งผลต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำ วิทยาอุทัยหงษ์ (2541) ศึกษาผลกระทบของการเลี้ยงปลาในกระชังต่อคุณภาพน้ำในลำน้ำชีระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม 2541 โดยตรวจวัดคุณภาพน้ำ 7 พารามิเตอร์ 5 บริเวณ คือ เหนือกระชัง ในกระชัง ด้านข้างของกระชัง และท้ายกระชัง สัปดาห์ละครั้ง ต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ พบว่าการเลี้ยงปลาในกระชังมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำภายในกระชังและบริเวณท้ายกระชัง โดยค่าออกซิเจนละลายลดต่ำลงในขณะที่ค่า บีโอดี เพิ่มขึ้น ตามทิศทางการไหลของน้ำ พิณิจ สี่หิพัทย์เกียรติและคณะ (2543) ได้ศึกษาการเติบโต แบบจำลองผลผลิต ผลกระทบสิ่งแวดล้อม และเศรษฐกิจของการเลี้ยงปลานิลในกระชังเชิงพาณิชย์ในแม่น้ำมูล จ.อุบลราชธานี และเขื่อนอุบลรัตน์ จ.ขอนแก่น พบว่าการเลี้ยงปลานิลในกระชังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมากทั้งต่อคุณภาพน้ำ และแพลงก์ตอนพืช แต่พบว่าจำนวนชนิดและความหนาแน่นของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน มีความแตกต่างกันระหว่างบริเวณในกระชังและนอกกระชัง ซึ่งผู้วิจัยคิดว่าเป็นผลกระทบจากการเลี้ยงปลาในกระชัง อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาใดวิเคราะห์โครงสร้างชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเลี้ยงปลาในกระชังต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน มีรายงานว่าสามารถนำสัตว์กลุ่มนี้มาใช้เป็นข้อมูลทางชีวภาพสำหรับการประเมิน

และติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำจัดในประเทศไทย (นฤมล แสงประดับและคณะ, 2541)

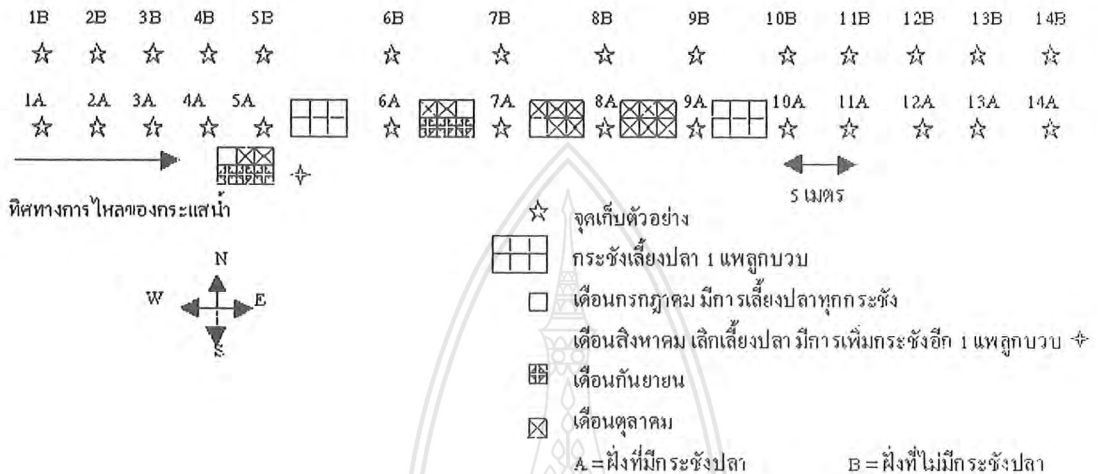
ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ตั้งสมมุติฐานว่า ถ้าการเลี้ยงปลาในกระชังไม่มีผลกระทบต่อสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน การกระจายตัวของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในบริเวณที่ตั้งกระชังและนอกบริเวณที่ตั้งกระชังควรเหมือนกัน

วิธีดำเนินการศึกษา

ศึกษากระชังเลี้ยงปลาของ ฟาร์มยังยุทธ (คุณยังยุทธ อนุพงศ์ไพบูลย์) ซึ่งตั้งอยู่ที่ริมแม่น้ำชี บริเวณบ้านกุดกว้าง ต.ท่าพระ อ.เมือง จ.ขอนแก่น ลักษณะของกระชังเลี้ยงปลาเป็นกระชังอวน ใช้ถึงเป็นวัสดุทำหุ่น มีกระชังทั้งหมด 5 แพลกบวบ 1 แพลกบวบ ประกอบด้วยกระชังเลี้ยงปลา 6 กระชัง ระยะห่างระหว่างแพลกบวบประมาณ 5 เมตร กระชังเลี้ยงปลามีขนาด 4x5x2.5 เมตร เลี้ยงพันธุ์ปลานิลของ บริษัทเจริญโภคภัณฑ์ ความหนาแน่นประมาณ 700 ตัวต่อ 1 กระชัง ให้อาหารเม็ดวันละ 2 ครั้ง เช้า-เย็น ใช้ระยะเวลาการเลี้ยงประมาณ 4-6 เดือน เก็บเกี่ยวเมื่อปลา มีน้ำหนักประมาณ 500 กรัม

จากการศึกษาเบื้องต้นในเดือนมิถุนายน 2541 เพื่อหาจำนวนซ้ำที่เหมาะสมสำหรับเป็นตัวแทนสัตว์ที่ศึกษาในบริเวณที่ตั้งกระชังและนอกบริเวณที่ตั้งกระชัง พบว่าต้องเก็บตัวอย่างในแต่ละบริเวณอย่างน้อย 6 ซ้ำ การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงได้กำหนดสถานีเก็บตัวอย่างรวมทั้ง 28 สถานี ครอบคลุมพื้นที่บริเวณต้นน้ำ เหนือกระชัง (สถานี 1A-5A และ 1B-5B) บริเวณกระชังเลี้ยงปลา (สถานี 6A-9A และ 6B-9B) และบริเวณท้ายกระชังเลี้ยงปลา (สถานี 10A-14A และ 10B-14B) เก็บตัวอย่างตะกอนพื้นแม่น้ำ โดยใช้ Ekman grab ขนาด 0.0625 ตารางเมตรในแต่ละฝั่งของแม่น้ำ เดือนละครั้ง สถานีละ 2 ซ้ำ ระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนตุลาคม 2541 แต่ละสถานีของฝั่งแม่น้ำเดียวกันมีระยะทางห่างกัน 5 เมตร การเลี้ยงปลาในแต่ละเดือนมีรายละเอียดดังนี้ คือ เดือนกรกฎาคมมี

การเลี้ยงปลาทุกกระชัง เดือนสิงหาคมไม่มีการเลี้ยงปลาแต่มีการเพิ่มกระชังขึ้น 1 แพลกบวบ เดือนกันยายนและเดือนตุลาคมมีการเลี้ยงปลาในบางกระชังดังแสดงด้วยสัญลักษณ์ ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 บริเวณที่ศึกษาและการเก็บตัวอย่างตะกอนในแต่ละสถานี

นำตัวอย่างตะกอนที่ได้มาร่อนด้วยตะแกรงขนาดช่อง 500 ไมโครเมตร จากนั้นแยกสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน ดองด้วยเอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ตรวจเอกลักษณ์สัตว์ที่ดองไว้พร้อมนับจำนวนภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ โดยใช้เอกสารของ Lehmkuhl (1979) และ Merritt and Cummins (1984) เป็นแนวทางสำหรับการตรวจวัดคุณภาพทางกายภาพของน้ำที่ระดับผิวน้ำก่อนการเก็บตัวอย่างสัตว์ในแต่ละเดือนรวม 5 บริเวณคือ บริเวณกระชัง บริเวณต้นน้ำเหนือกระชัง บริเวณด้านข้างของกระชังทั้งสองด้าน และบริเวณท้ายกระชัง โดยตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำและอากาศ ค่าพีเอช ออกซิเจนละลาย การนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งละลายน้ำและความลึกของน้ำ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินและค่าตัวแปรทางกายภาพ วิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงเดียวด้วยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SPSS (Statistical Pack-

age for Social Science) เปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลในแต่ละฝั่งของแม่น้ำโดยใช้ t-test เปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลในฝั่งเดียวกัน โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว

(one-way ANOVA) ข้อมูลการกระจายตัวของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินระดับสกุลในแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่าง วิเคราะห์ด้วยสถิติหลายตัวแปร (multivariate analysis) ได้แก่ cluster analysis และ ordination โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป PATN ซึ่งเป็นโปรแกรมหนึ่งที่นิยมใช้ในงานทางด้านนิเวศวิทยา (Belbin, 1995) และเปรียบเทียบแบบแผนการกระจายตัวของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินกับปัจจัยคุณภาพน้ำ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว

ผลการศึกษา

จำนวนชนิดและความหนาแน่นของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน

ลักษณะของตะกอนที่เก็บได้จากสองฝั่งแม่น้ำมีความแตกต่างกัน ตะกอนบริเวณเหนือกระชังของฝั่งที่มีการเลี้ยงปลา และฝั่งที่ไม่มีการเลี้ยงปลามีสีโคลน ไม่มีกลิ่น ตะกอนมีลักษณะหยาบ และมีเศษซากพืชปะปน ขณะที่ตะกอนบริเวณกระชังปลา

และท้ายกระชัง มีสีดำ มีกลิ่นเหม็น ตะกอนมีลักษณะละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน มีกลิ่นปลาและเศษซากปลาปะปน ในช่วงที่มีการเลี้ยงปลา ภายในกระชังมีคราบไขมันและสิ่งสกปรกปกคลุมผิวน้ำ ซึ่งต่างจากผิวน้ำนอกกระชัง และพบว่าที่ตาข่ายของกระชังมีสาหร่ายมาเกาะและมีการสะสมของตะกอนมาก ทำให้ขนาดช่องของตาข่ายบางบริเวณอุดตันหรือมีขนาดเล็กลง กระแสน้ำไหลผ่านไม่สะดวก

พบสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินทั้งสิ้น 7 อันดับ 14 วงศ์ สามารถระบุสกุลได้ 15 สกุล สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในบริเวณต่าง ๆ แตกต่างกันในแต่ละเดือน (ตารางที่ 1) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนชนิดและความหนาแน่นของสัตว์ ฟังที่มีการเลี้ยงปลาและฟังที่ไม่มีการเลี้ยงปลาในแต่ละบริเวณ (ตารางที่ 2) พบว่า บริเวณผิวน้ำเหนือกระชังปลาทั้งสองฟังในแต่ละเดือน มีจำนวนชนิดและความหนาแน่นของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แสดงว่าการกระจายตัวของชนิดและความหนาแน่นของสัตว์ในแต่ละฟังเมื่อน้ำมีความสม่ำเสมอกัน ส่วนบริเวณกระชังและท้ายกระชัง พบว่าจำนวนชนิดและความหนาแน่นของสัตว์มีความแตกต่างกันในบางเดือน ดังนี้ คือ ในเดือนกรกฎาคม ซึ่งมีการเลี้ยงปลาแล้วประมาณ 6 เดือน บริเวณกระชังฟังที่มีการเลี้ยงปลามีจำนวนชนิดและความหนาแน่นของสัตว์สูงกว่าฟังที่ไม่มีการเลี้ยงปลาอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) สัตว์ที่พบมากที่สุดบริเวณนี้คือ หนอนแดง (*Chironomus* sp.) รองลงมาคือ ดักแด้ของแมลงสองปีก (dipteran pupae) ส่วนบริเวณฟังตรงข้ามที่ไม่มีการเลี้ยงปลา พบตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำขาใบพาย (*Dipseudopsis* sp.) และแมลงหนอนปลอกน้ำขาสั้น (*Ecnomus* sp.) แต่ไม่พบสัตว์ทั้งสองชนิดนี้ในบริเวณกระชังฟังที่มีการ

เลี้ยงปลา บริเวณท้ายกระชังพบสัตว์คล้ายกับบริเวณกระชัง แต่มีจำนวนตัวน้อยกว่า นอกจากนี้ยังพบ *Dipseudopsis* sp. อีกที่ระยะทางประมาณ 10 เมตรจากท้ายกระชังสุดท้าย

เดือนสิงหาคม ไม่มีกิจกรรมเลี้ยงปลาในกระชังมีการรื้อกระชังออกก่อนการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 3 วัน ในเดือนนี้มีฝนตกมาก ทำให้เกิดภาวะน้ำหลาก น้ำไหลแรงและเร็ว สัตว์ที่พบมากทุกบริเวณคือ ตัวอ่อนรินน้ำกร่อย (*Chaoborus* sp.) และไส้เดือนน้ำจืด (*Oligochaete*) ซึ่งจำนวนชนิดและความหนาแน่นของสัตว์ในทั้งสองฟังไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

เดือนกันยายน ส่วนมากยังไม่มีการเลี้ยงปลาในกระชัง พบ *Dipseudopsis* sp. เพิ่มขึ้นมากบริเวณกระชังและท้ายกระชังฟังที่มีการเลี้ยงปลา นอกจากนี้พบตัวอ่อนแมลงชีปะขาวกรามงอน (*Eatonigenia* sp.) อาศัยอยู่ด้วย จำนวนชนิดและความหนาแน่นของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินบริเวณกระชัง และความหนาแน่นบริเวณท้ายกระชังฟังที่มีการเลี้ยงปลา มีมากกว่าฟังตรงข้ามอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เดือนตุลาคม เริ่มมีการเลี้ยงปลาในกระชังอีกโดยมีระยะเวลาเลี้ยงแตกต่างกัน คือ 1-4 สัปดาห์ ส่วนมากเพิ่งเลี้ยงปลาได้ 1 สัปดาห์ สัตว์ที่พบจำนวนมากในเดือนนี้คือ *Oligochaete* รองลงมาคือ *Dipseudopsis* sp. บริเวณกระชังพบจำนวนตัวของ *Dipseudopsis* sp. ลดลงจากเดือนก่อนมาก มีแมลงหนอนปลอกน้ำ (*Ecnomus* sp. และ *Oecetis* sp.) และแมลงชีปะขาว (*Caenis* sp. และ *Eatonigenia* sp.) เข้ามาอาศัยร่วมด้วยสัตว์ที่เพิ่มจำนวนมากขึ้นกว่าเดือนก่อนคือ *Chironomus* sp. และ *Oligochaete* บริเวณท้ายกระชังฟังที่มีการเลี้ยงปลามีจำนวนชนิดและความหนาแน่นของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินมากกว่าฟังที่ไม่มีการเลี้ยงปลาอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางที่ 1 ชนิดและจำนวนตัวของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังน้ำจืดที่พบในบริเวณต่างๆ ของกระซังปลาระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึงตุลาคม 2541

ชนิดของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังน้ำจืด	จำนวนตัว (รวมข้อมูลทุกซ้ำเข้าด้วยกัน)																							
	บริเวณต้นน้ำเหนือกระซัง								บริเวณกระซัง								บริเวณท้ายกระซัง							
	ก.ค.		ค.ค.		ก.ย.		ค.ย.		ก.ค.		ค.ค.		ก.ย.		ค.ย.		ก.ค.		ค.ค.		ก.ย.		ค.ย.	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
O. ARCOIDA																								
F. ARCIDAE																								
Scaphula sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O. COLEOPTERA																								
F. ELMIDAE																								
Dubiraphia sp.	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	9	0
F. DYTISCIDAE	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O. DIPTERA																								
F. CERATOPOGONIDAE																								
Bezzia sp.	0	3	0	0	3	1	3	2	3	0	0	0	1	0	7	1	4	1	0	0	7	2	11	1
F. CHAOBORIDAE																								
Chaoborus sp.	0	5	5	3	0	0	0	0	6	0	15	5	0	0	3	0	0	0	7	3	0	0	0	0
F. CHIRONOMIDAE																								
Subfamily Chironominae	43	16	1	2	3	0	6	2	154	46	0	0	11	0	19	3	55	27	0	2	3	2	17	0
Subfamily Tanypodinae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	4	0
DIPTERA PUPAE	3	2	2	0	2	0	0	0	17	4	0	0	2	0	5	1	12	0	2	0	0	1	2	0
O. EPHEMEROPTERA																								
F. CAENIDAE																								
Caenis sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
F. BAETIDAE	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F. EPHEMERIDAE																								
Eatonigenia sp.	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	1	0	5	0	0	0	0	0	1	0	7	1
O. ODONATA																								
F. GOMPHIDAE																								
Aphylla sp.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	1	0	0	1	2
O. OLIGOCHAETA	0	2	11	10	24	22	28	24	0	0	2	5	38	13	93	22	2	6	9	4	50	13	136	40
O. TRICHOPTERA																								
F. DIPSEUDOPSIDAE																								
Dipseudopsis sp.	4	2	0	0	22	10	17	16	0	2	0	1	261	6	43	10	1	0	1	1	72	37	51	10
F. ECNOMIDAE																								
Ecnomus sp.	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	1	0	0	0	0	2	1
F. HYDROPSYCHIDAE																								
Macrostemum sp.	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F. LEPTOCERIDAE																								
Oecetis sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
รวม (จำนวนชนิด)	4	7	4	3	6	3	8	8	5	4	2	4	6	2	13	8	5	4	5	5	6	5	11	6
รวม (จำนวนตัว)	51	31	19	15	55	33	60	48	214	53	17	8	319	19	199	46	75	35	20	11	134	55	241	61

หมายเหตุ A= ฟังที่มีการเลี้ยงปลา B=ฟังกที่ไม่มีการเลี้ยงปลา

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย (mean±S.D.)ของจำนวนชนิดและความหนาแน่นของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในบริเวณต่างๆ ของกระซังปลาระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึงตุลาคม 2541

บริเวณต่าง ๆ ของ กระซังปลา	กรกฎาคม (เลี้ยงปลาแล้ว 6 เดือน)		สิงหาคม (ไม่มีการเลี้ยงปลา และมีภาชนะน้ำหลาก)		กันยายน (เลิกเลี้ยงปลา 1 เดือน)		ตุลาคม (เลี้ยงปลา 1-4 สัปดาห์)	
	ฝั่งที่มี กระซัง	ฝั่งที่ไม่มี กระซัง	ฝั่งที่มี กระซัง	ฝั่งที่ไม่มี กระซัง	ฝั่งที่มี กระซัง	ฝั่งที่ไม่มี กระซัง	ฝั่งที่มี กระซัง	ฝั่งที่ไม่มี กระซัง
จำนวนชนิด								
บริเวณต้นน้ำเหนือกระซัง (สถานี 1-5) (Upstream site)	2.20± 0.84	2.40± 1.85	2.00± 1.00	1.60± 0.48	3.20± 1.79	1.60± 1.01	3.00± 1.58	3.00± 1.41
บริเวณกระซัง (สถานี 6-10) (Impact site)	3.50± 1.29	1.75±* 0.82	1.50± 0.58	1.50± 0.50	4.00± 1.63	1.50±* 0.50	6.00± 4.24	3.50± 0.86
บริเวณท้ายกระซัง (สถานี 11-14) (Downstream site)	2.80± 1.10	2.40± 0.80	2.00± 1.00	2.20± 0.74	3.40± 1.34	2.80± 1.16	6.20± 1.30	2.80±* 0.74
ความหนาแน่น (ตัว/เมตร²)								
บริเวณต้นน้ำเหนือกระซัง (Upstream site)	156.80± 5.89	99.20± 6.49	60.80± 2.59	51.20± 2.56	176.00± 12.60	105.60 ±5.31	201.60± 9.61	153.60± 9.76
บริเวณกระซัง (Impact site)	840.00± 25.84	208.0±* 7.51	68.00± 2.06	48.00± 1.00	860.00± 49.51	76.00* ±3.89	784.00± 51.66	184.00± 2.95
บริเวณท้ายกระซัง (Downstream site)	252.80± 8.29	112.0± 4.19	67.20± 3.63	35.2± 0.74	428.80± 15.99	176.00±* 8.94	771.20± 13.81	176.00±* 9.61

*ค่าระดับความเชื่อมั่นที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างทั้งสองฝั่ง

การวิเคราะห์ชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินด้วย
วิธีการวิเคราะห์หลายตัวแปร (multivariate analysis)
และความสัมพันธ์กับปัจจัยคุณภาพน้ำ

ผลการหาความคล้ายคลึงกันของการกระจาย
ตัวของสัตว์โดยใช้ Bray-Curtis (Belbin, 1995) แล้ว
จัดกลุ่มชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินด้วย
UPGMA (Unweight Pair Group Mean Average)
พบว่าสามารถแยกออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ คือ

กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยชุมชนสัตว์ในเดือน
กรกฎาคมเกือบทั้งหมด

กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยชุมชนสัตว์ในเดือน
สิงหาคมเกือบทั้งหมด

กลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยชุมชนสัตว์ในเดือน
กันยายนและเดือนตุลาคมเกือบทั้งหมด

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนชนิด
และความหนาแน่นของสัตว์ รวมทั้งปัจจัยคุณภาพน้ำ
ระหว่างกลุ่มที่ได้จากการจัดกลุ่มด้วย UPGMA โดย
การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 3) พบว่า
ความหนาแน่นของสัตว์ อุณหภูมิของน้ำ ค่าพีเอช ค่า
ออกซิเจนละลาย และค่าการนำไฟฟ้าของสามกลุ่ม มี
ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่
จำนวนชนิดสัตว์ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และเมื่อ
พิจารณาเปรียบเทียบตัวกลางแต่ละคู่ของความหนา

แน่นของสัตว์และปัจจัยคุณภาพน้ำแต่ละพารามิเตอร์พบว่าความหนาแน่นของสัตว์กลุ่มที่ 2 ต่ำกว่ากลุ่มที่ 1 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ค่าออกซิเจนละลายในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยกลุ่มที่ 2 มีค่าต่ำสุดและกลุ่มที่ 3 มีค่าสูงสุด ค่าการนำไฟฟ้าของกลุ่มที่ 2 มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่

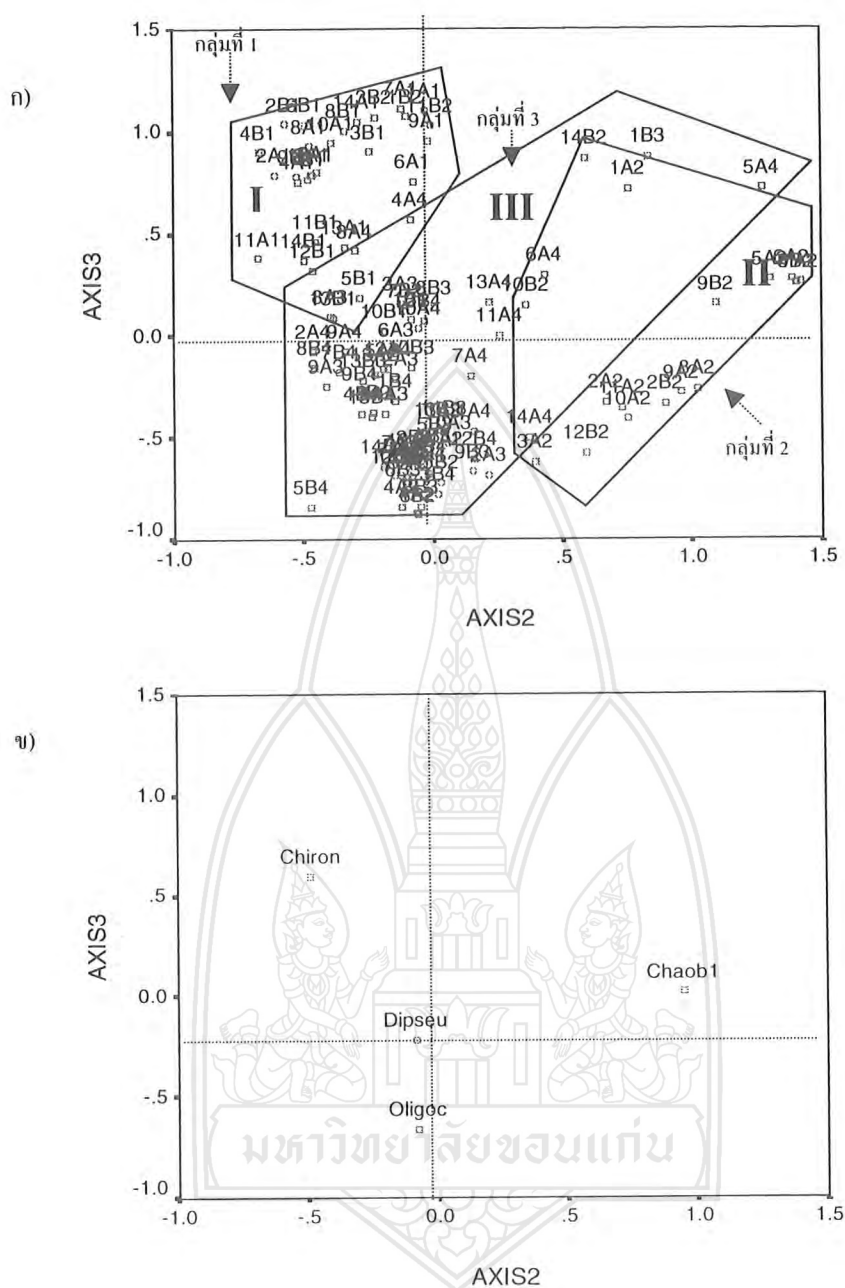
1 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ค่าพีเอชและอุณหภูมิของน้ำในกลุ่มที่ 3 ต่ำกว่ากลุ่มที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) สรุปได้ว่าจำนวนชนิดของสัตว์ทั้งสามกลุ่มไม่แตกต่างกัน กลุ่มที่ 2 มีความหนาแน่นของสัตว์น้อยที่สุด พบสัตว์ในกลุ่ม 2 ในน้ำที่มีออกซิเจนละลายต่ำและค่าการนำไฟฟ้าสูง

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ย และผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปัจจัยกลุ่ม ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแต่ละคู่ของกลุ่มด้วย LSD ตัวเลขแสดงกลุ่มเรียงลำดับจากกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยน้อยไปหามาก เส้นที่ขีดเชื่อมกันแสดงถึงกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ย ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

ค่าตัวแปร	ค่าเฉลี่ย			F-ratio	P-value	ผลการเปรียบเทียบค่ากลางแต่ละคู่ (กลุ่ม)		
	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3					
ปัจจัยคุณภาพน้ำ								
ค่าออกซิเจนละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4.97	4.10	5.67	44.721	0.001	2	1	3
ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร)	187	261.21	208.19	7.304	0.001	1	3	2
ค่าพีเอช	7.20	7.12	6.80	19.742	0.001	3	2	1
อุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส)	31.51	31.21	30.56	23.587	0.001	3	2	1
จำนวนชนิดของสัตว์	2.35	2.15	3.04	2.085	0.129	2	1	3
ความหนาแน่นของสัตว์ (ตัวต่อตารางเมตร)	249.12	70.72	281.92	4.432	0.014	2	1	3

ผลการจัดอันดับชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่างด้วย SSH (Semi-Strong Hybrid Multidimensional Scaling) ได้ผลแสดงดังรูปที่ 2ก เมื่อเขียนกรอบแบ่งชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่ถูกจัดอันดับนี้ออกเป็นกลุ่ม พบว่าสอดคล้องกับผลการแบ่งกลุ่มด้วย

UPGMA พบว่าสกุลของสัตว์ที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับแกนของ ordination (รูปที่ 2ข) คือ *Chironomus* มีความสัมพันธ์กับกลุ่มที่ 1 *Chaoborus* มีความสัมพันธ์กับกลุ่มที่ 2 *Oligocheate* และ *Dipseudopsis* มีความสัมพันธ์กับกลุ่มที่ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 2 ก) ผลการจัดอันดับชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินด้วย SSH

ข) แสดงสกุลของสัตว์ที่มีความสัมพันธ์กับแกนอย่างมีนัยสำคัญ

Chiron = *Chironomus* (หนอนแดง)

Chaob1 = *Chaoborus* (หนอนริ่นน้ำกร่อย)

Dipseu = *Dipseudopsis* (แมลงหนอนปลอกน้ำขาใบพาย)

Oligoc = *Oligochaete* (ไส้เดือนน้ำจืด)

วิจารณ์ผลการศึกษา

การที่จำนวนชนิดและความหนาแน่นของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินบริเวณต้นน้ำเหนือกระซังทั้งสองฝั่งไม่แตกต่างกันในแต่ละเดือน แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของสัตว์ในธรรมชาติทั้งสองฝั่งไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าองค์ประกอบของชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่อาศัยในบริเวณต้นน้ำเหนือกระซังทั้งสองฝั่งและฝั่งที่ไม่มีการเลี้ยงปลามีความคล้ายคลึงกัน คือ มีสัตว์ที่อ่อนไหวต่อมลพิษ เช่น ตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำ ตัวอ่อนแมลงชีปะขาว อาศัยอยู่ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา ดังนั้นหากการเลี้ยงปลาในกระซังไม่ก่อให้เกิดผลกระทบ โครงสร้างชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินทุกบริเวณทั้งสองฝั่งควรเหมือนกัน แต่ผลการศึกษพบว่าแตกต่างกัน ดังนั้นการเลี้ยงปลาในกระซังจึงมีผลกระทบต่อชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน

การเลี้ยงปลาในกระซังมีผลต่อโครงสร้างชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน โดยพบว่าแม้จำนวนชนิดและความหนาแน่นของสัตว์สูงกว่าเมื่อไม่มีการเลี้ยงปลา ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของอาหารและแหล่งอาศัย แต่องค์ประกอบของสัตว์มีความแตกต่างกัน คือ สัตว์ที่อ่อนไหวต่อมลพิษหายไปหรือลดจำนวนลงเมื่อมีกิจกรรมการเลี้ยงปลา และเมื่อเลิกเลี้ยงปลาแล้วระยะหนึ่งสัตว์เหล่านี้จะกลับเข้ามาอาศัยอีกหรือมีจำนวนเพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์จำนวนชนิดและความหนาแน่นของสัตว์ในแต่ละบริเวณของแต่ละเดือนด้วยสถิติเชิงเดียวได้ผลเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หลายตัวแปรเพื่อคุณภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงชุมชนสัตว์ คือ เดือนกรกฎาคมเป็นเดือนที่มีการเลี้ยงปลาในกระซังมาแล้วประมาณ 6 เดือน จำนวนชนิดและความหนาแน่นของสัตว์ในกลุ่มนี้ต่ำ สอดคล้องกับกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นชุมชนสัตว์ในเดือนกรกฎาคมเป็นส่วนใหญ่ สัตว์ที่สัมพันธ์กับกลุ่มนี้คือ *Chironomus* sp. ที่พบว่ามีจำนวนมากโดยเฉพาะบริเวณกระซังและท้ายกระซังฝั่งที่มีการเลี้ยงปลา หนอนแดงเป็นสัตว์ที่ทนมลพิษได้ดีซึ่งสัมพันธ์กับคุณภาพ

ภาพน้ำของกลุ่มนี้ที่พบว่ามีค่าออกซิเจนละลายต่ำจากการสังเกตพบว่าภายในกระซังเลี้ยงปลา มีคราบไขมันและสิ่งสกปรกปกคลุมผิวน้ำ และช่องตาข่ายของกระซังมีสาหร่ายมาเกาะมาก ทำให้น้ำไหลผ่านกระซังไม่สะดวก การมีคราบปกคลุมผิวน้ำทำให้อากาศสัมผัสกับผิวน้ำได้น้อย การเพิ่มออกซิเจนจากอากาศด้วยวิธีการละลายจึงเป็นไปได้ยาก (วิทยา อุทัยหงษ์, 2541) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำภายในและภายนอกกระซังปลา ณ สถานที่และเดือนเดียวกับการศึกษาครั้งนี้ พบว่าการเลี้ยงปลาในกระซังมีผลต่อคุณภาพน้ำภายในกระซัง และบริเวณท้ายกระซัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าออกซิเจนละลาย และบีโอดี ซึ่งพบว่าค่าออกซิเจนละลายภายในกระซังปลาสูงกว่าบริเวณท้ายกระซัง ส่วนค่าบีโอดีที่ท้ายกระซังสูงกว่าภายในกระซัง ผู้วิจัยคาดว่า การที่ท้ายกระซังมีค่าออกซิเจนละลายต่ำและค่าบีโอดีสูงนี้ เกิดจากการไหลของน้ำพัดพาเอาตะกอนสารอินทรีย์ไปสะสมที่บริเวณท้ายกระซัง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้ที่พบว่า *Chironomus* sp. อาศัยอยู่มากบริเวณกระซังและท้ายกระซัง นอกจากนี้หลังจากเก็บตัวอย่างเดือนกรกฎาคมเสร็จเรียบร้อยแล้ว ในเวลาต่อมากระซังปลาเกิดปัญหาที่มีปริมาณออกซิเจนละลายลดลงมากในช่วงเวลากลางคืน น้ำมีออกซิเจนละลายไม่เพียงพอต่อความต้องการของปลา ทำให้ปลาต้องขึ้นมาที่ผิวน้ำเพื่อหายใจบ่อยครั้งขึ้น ที่ปรึกษาจากบริษัทจึงแนะนำให้เจ้าของฟาร์มเพิ่มออกซิเจนให้แก่ น้ำโดยการฉีดพ่นน้ำในเวลากลางคืน การที่ปริมาณออกซิเจนละลายไม่เพียงพอในเวลากลางคืนนี้ สาเหตุหนึ่งคาดว่ามาจากการที่มีไขมันและสิ่งสกปรกในปริมาณมากลอยปกคลุมผิวน้ำ ทำให้ออกซิเจนจากอากาศสัมผัสผิวน้ำได้น้อยลงและยังขัดขวางการส่องผ่านของแสงลงสู่ผิวน้ำด้วย เดือนสิงหาคมหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตปลาแล้วไม่มีการเลี้ยงปลาและเกิดภาวะน้ำหลากเนื่องจากฝนตกอย่างต่อเนื่อง พบว่าจำนวนชนิดและความหนาแน่นของสัตว์ในแต่ละบริเวณไม่แตกต่างกัน และมี *Chaoborus* sp. ในทุกบริเวณสอดคล้องกับกลุ่มที่ 2

ที่ประกอบด้วยชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน ในเดือนสิงหาคมเป็นส่วนใหญ่ โดยมี *Chaoborus* sp. เป็นสัตว์เด่นของกลุ่มนี้ สัตว์สกุลนี้ดำรงชีวิตเป็นผู้ล่า กินสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดเล็กเป็นอาหาร ที่ส่วนนอกมีถุงลม (air sac) ช่วยให้เคลื่อนที่ได้ในแนวดิ่ง สันนิษฐานว่าในภาวะที่เกิดน้ำหลาก *Chaoborus* sp. จมตัวลงอาศัยอยู่บริเวณพื้นตะกอน เนื่องจากบริเวณนี้มีกระแสน้ำไหลช้ากว่าที่ความลึกระดับอื่นๆ (Allan, 1995; Newbury, 1996) จำนวนชนิดและความหนาแน่นของสัตว์กลุ่มที่ 2 น้อยกว่ากลุ่มที่ 1 และ 3 ทั้งนี้เพราะฝนตกต่อเนื่องสัตว์บางส่วนถูกพัดพาไปกับกระแสน้ำที่ไหลแรง (นฤมล แสงประดับและวิโรจน์ หนักแน่น, 2540; Sangpradub et al., 1996) การที่ออกซิเจนละลายต่ำนี้สันนิษฐานว่าสาเหตุหนึ่งอาจเนื่องมาจากน้ำมีสีแดงและขุ่นซึ่งเกิดจากการที่ดินถูกกัดเซาะลงสู่แม่น้ำเมื่อฝนตกหนัก ทำให้เกิดการแขวนลอยของอนุภาคดินซึ่งไปขัดขวางการส่องผ่านของแสง ส่งผลให้แพลงก์ตอนพืชสังเคราะห์ด้วยแสงได้น้อยลง ปริมาณออกซิเจนละลายจึงลดลง และเมื่อสิ่งที่ถูกชะลงสู่แม่น้ำเกิดการแตกตัวเป็นไอออน ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น ในเดือนกันยายนส่วนมากยังไม่มีการเลี้ยงปลาและในเดือนตุลาคมมีการเลี้ยงปลาประปรายในบางกระชัง สัตว์ที่พบมากในทั้งสองเดือนนี้คือ *Dipseudopsis* sp. ซึ่งพบว่าในเดือนกันยายน บริเวณกระชัง และท้ายกระชังมี *Dipseudopsis* sp. จำนวนมาก แต่จำนวนลดลงเมื่อมีการเลี้ยงปลาในเดือนตุลาคม ตรงข้ามกับ *Oligochaete* ที่เพิ่มจำนวนขึ้นในเดือนตุลาคมซึ่งสอดคล้องกับผลการจัดกลุ่ม คือกลุ่มที่ 3 ที่เป็นชุมชนสัตว์เดือนกันยายนและตุลาคม สัตว์ที่สัมพันธ์กับกลุ่มนี้คือ *Dipseudopsis* sp. และ *Oligochaete* นอกจากนี้ยังพบตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำชนิดอื่นด้วยคือ *Oecetis* sp. และ *Macrostemum* sp. ตัวอ่อนแมลงชีปะขาว *Caenis* sp. และ *Eatonigenia* sp. ซึ่งตัวอ่อนแมลงเหล่านี้เป็นกลุ่มสัตว์ที่มีความอ่อนไหวต่อมลพิษในระดับปานกลาง (Armitage, 1983) และไม่พบสัตว์ดังกล่าวในบริเวณกระชังเมื่อมีการเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลานานขึ้น เช่นตัวอย่างในเดือน

กรกฎาคม การที่พบสัตว์ซึ่งอ่อนไหวต่อมลพิษเพิ่มขึ้นหลังจากเลิกเลี้ยงปลาแล้วประมาณ 1 เดือนนี้ แสดงให้เห็นว่าน้ำกำลังมีคุณภาพน้ำดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าออกซิเจนละลายที่เพิ่มสูงขึ้นในกลุ่มนี้ และจากการที่พบว่าแมลงหนอนปลอกน้ำ *Dipseudopsis* sp. เข้ามาอาศัยอยู่หลังจากเลิกเลี้ยงปลาแล้วโดยมีจำนวนเพิ่มขึ้นรวมทั้งมีการกระจายตัวอย่างมากในหลายสถานีนั้น ทำให้สันนิษฐานว่าตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำชนิดนี้อาจเป็นสัตว์กลุ่มแรกที่เข้ามาอาศัยอยู่เมื่อสภาพแวดล้อมเริ่มฟื้นตัว ตัวอ่อนแมลงชนิดนี้มีความทนทานน้อยต่อมลพิษที่มากและมีแนวโน้มที่จะเป็นตัวบ่งชี้ (indicator taxa) ได้ ตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำชนิดนี้สร้างรังด้วยตะกอนและกินตะกอนสารอินทรีย์เป็นอาหาร การพบตัวอ่อนแมลงชนิดนี้จำนวนมากบริเวณกระชังและท้ายกระชังฝั่งที่มีการเลี้ยงปลา แสดงว่าทั้งสองบริเวณนี้มีการสะสมของตะกอนอินทรีย์มาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของวิทยุทัยหงษ์ (2541) นอกจากนี้จากการตรวจสอบลักษณะกายภาพของตะกอนในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าตะกอนเหนือกระชังมีลักษณะหยาบ ไม่มีกลิ่น ส่วนตะกอนบริเวณกระชังและท้ายกระชังมีลักษณะละเอียดเป็นสีดำ มีกลิ่นเหม็น ซึ่งแสดงถึงการสะสมของอินทรีย์สารในตะกอนทั้งสองบริเวณดังกล่าว ผลการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่ากิจกรรมการเลี้ยงปลาในกระชังแบบเร่งรัด มีผลกระทบต่อชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างชุมชนสัตว์ กล่าวคือเมื่อไม่มีการเลี้ยงปลาหรือเลี้ยงปลาได้ไม่นาน พบว่าน้ำยังมีคุณภาพดี ชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินประกอบด้วยสัตว์ที่มีความอ่อนไหวต่อมลพิษ เช่น ตัวอ่อนแมลงชีปะขาว และตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำหลายชนิด แต่เมื่อเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลานานขึ้นเกิดการสะสมของของเสียจากปลาและเศษสารอินทรีย์จากอาหารและสิ่งอื่น ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายลดลง และมีเพียงสัตว์ที่ทนทานสูงต่อมลพิษสามารถอาศัยอยู่ได้ เช่น ไส้เดือนน้ำจืดและหนอนแดงที่เพิ่มจำนวนมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Camargo (1992)

และ Loch (1996) ที่ได้ผลตรงกันว่าบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากการเลี้ยงปลาในกระชังจะพบหนอนแดงอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก โดยหนอนแดงเป็นสัตว์ที่จัดอยู่ในกลุ่มที่พบมากในบริเวณที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์สูงมาก (Hellawell, 1989; นฤมล แสงประดับและคณะ, 2541) เมื่อเลิกเลี้ยงปลาแล้วสภาพแวดล้อมเริ่มดีขึ้นสัตว์ที่มีความทนทานต่อมลพิษน้อยกว่าจะเข้ามาอาศัยแทนที่ นอกจากนี้พินิจส์พีพิทกัยเกียรติและคณะ (2543) รายงานว่าสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินมีแนวโน้มเป็นตัวชี้วัดผลกระทบของการเลี้ยงปลานิลในกระชังเชิงพาณิชย์ได้ดีกว่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ และเพลงกต์อนพิช ซึ่งผลการศึกษาครั้งนี้ยืนยันให้เห็นว่า สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินมีการตอบสนองต่อมลพิษของแหล่งน้ำได้อย่างชัดเจน และยังสามารถแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างชุมชนสัตว์ขณะเกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำด้วย

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลของการเลี้ยงปลาในกระชังต่อชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในลำน้ำชีสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การเลี้ยงปลาในกระชังมีผลกระทบต่อชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน โดยทำให้เกิดการสะสมของตะกอนอินทรีย์ ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายลดต่ำลง มีเพียงสัตว์ที่ทนทานสูงต่อมลพิษ เช่น *Chironomus* sp. อาศัยอยู่ได้ หลังจากเลิกเลี้ยงปลาได้ประมาณ 1 เดือน พบว่าชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินสามารถฟื้นตัวกลับคืนได้ ดังนั้น หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตปลาแล้ว เกษตรกรควรมีการพักกระชังปลาไว้นานกว่า 1 เดือน เพื่อให้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่กลับเข้ามาอาศัยอยู่ในบริเวณนี้น้ำตะกอนไปใช้และให้จุลินทรีย์มีระยะเวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เพื่อทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น มีปริมาณออกซิเจนละลายมากขึ้นเหมาะแก่การเลี้ยงปลาต่อไป และสถานที่ที่เหมาะสมสำหรับ

การเลี้ยงปลาในกระชังควรเป็นบริเวณที่มีกระแสไหลผ่านอย่างสม่ำเสมอ เพื่อช่วยลดปริมาณตะกอนอินทรีย์ที่จะเกิดการสะสมในกระชัง

2. เกษตรกรควรหมั่นทำความสะอาดกระชังปลาเพื่อลดตะกอนและสาหร่ายที่เกาะติดตาข่ายของกระชัง เพื่อให้กระแสน้ำไหลผ่านกระชังได้สะดวก มีออกซิเจนละลายเพียงพอสำหรับปลา และควรมีการกำจัดคราบที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำเพื่อให้มีพื้นที่ที่อากาศจะสัมผัสกับน้ำ ซึ่งเป็นวิธีการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายโดยธรรมชาติ

3. สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่มีแนวโน้มสามารถเป็นตัวบ่งชี้การฟื้นตัวของคุณภาพสิ่งแวดล้อมคือ *Dipseudopsis* sp.

เอกสารอ้างอิง

- นฤมล แสงประดับ และวิโรจน์ หนักแน่น. (2541). การศึกษาเบื้องต้นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในลำธารห้วยห้วยเครือ และห้วยพรมแล้ง อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว. วารสารวิจัย มข. 3(1):1-15.
- นฤมล แสงประดับ, ยรรยงค์ อินทร์ม่วง, ชูติมา หาญจวนิช และอุไรวรรณ อินทร์ม่วง. (2541). ดัชนีชีวภาพสำหรับการจัดจำแนกคุณภาพน้ำทางชีววิทยาในลุ่มน้ำพองด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 26(4):289-304.
- พินิจ สี่พิพิทกัยเกียรติ, บุญส่ง ศรีเจริญธรรม, รัชฎาภรณ์ กิตติวรเชษฐ์, สุชาติ อิงธรรมจิตร และธนาภรณ์ จิตตปาลพงศ์. (2543). การเติบโต แบบจำลองผลผลิต ผลกระทบสิ่งแวดล้อม และเศรษฐกิจการเลี้ยงปลานิลในกระชังเชิงพาณิชย์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย. วารสารการประมง. 53(4) : 333-346.

- เมฆ บุญพราหมณ์. (2530). การเลี้ยงปลา. กรุงเทพฯ: โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮาส์.
- วิทยา อุทัยหงษ์. (2541). ผลกระทบของการเลี้ยงปลาในกระชังต่อคุณภาพน้ำในลำน้ำชี. โครงการงานวิจัยภาควิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Allan, J.D. (1995). *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. London: Chapman & Hall.
- Armitage, P.O., Moss, D., Wright, J.F. and Furse, M.T. (1983). The performance of new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research*. 17:333-347.
- Belbin, L. (1995). *PATN Pattern Analysis Package*. Division of Wildlife and Ecology. Canberra: Commonwealth Scientific and Research Organization.
- Camargo, J.A. (1992). Structural and trophic alternations in macrobenthic communities downstream from a fish farm outlet. *Hydrobiologia*. 242(1):41-49.
- Hellawell, J.M. (1989). *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*. London: Elsevier Applied Science.
- Lehmkuhl, M. (1979). *How to Know the Aquatic Insect*. Iowa: Wm.C.Brown Company Publisher.
- Loch, D.D., West, J.L. and Perlmuter, D.G. (1996). The effect of trout farm effluent on the taxa richness of benthic macroinvertebrates. *Aquaculture*. 147:37-55.
- Merritt, R.W. and Cummins, K.W. (1996). *An Introduction to the Aquatic Insect of North America*. 2nd ed. Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Newbery, R.W. (1996). Dynamic of flow. In: Hauer, F.R. and Lamberti, G.A. (eds.). *Stream Ecology*. California: Academic Press.
- Sangpradub, N., Inmoung, Y., Hanjavanit, C. and Inmoung, U. (1996). A correlation study between freshwater benthic macro invertebrate fauna and environmental quality factor in Nam Pong basin, Thailand Part I. A Research Report to the Thailand Research Fund (TRF).

ความหลากหลายของโปรโตซัวในเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น

พินิจ หวังสมนึก¹, ภูวณัฐ กรพันธุ์¹ และอินทรา ปรงเกียรติ¹

บทคัดย่อ

การสำรวจโปรโตซัวในบางพื้นที่ของเขื่อนอุบลรัตน์ อำเภออุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น ระหว่างเดือนมิถุนายน 2544 ถึงเดือนมกราคม 2545 รวมระยะเวลา 8 เดือน พบโปรโตซัว 4 class รวมทั้งสิ้น 47 ชนิด คือ Class Ciliata 19 ชนิด Class Mastigophora 18 ชนิด Class Sarcodina 9 ชนิด และ Class Suctorina 1 ชนิด พบว่า Class Ciliata, Mastigophora และ Sarcodina มีการกระจายตัวคล้ายกันในทุกสถานีที่เก็บตัวอย่าง ส่วน Class Suctorina พบการกระจายตัวค่อนข้างน้อย สำหรับคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมีบางประการพบว่า อุณหภูมิของอากาศมีค่า 21.0-31.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำมีค่า 22.0-31.0 องศาเซลเซียส ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่า 5.3-7.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 6.7-7.5 ค่าการนำไฟฟ้า 141.5-181.2 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ 96.1-120.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเค็มมีค่า 0 ส่วนในพัน คุณภาพน้ำจัดเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 2 ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำจืดผิวดิน

Abstract

The investigation of protozoa in some areas of Ubolratana Dam, Ubolratana district, Khon Kaen province was made at two-month intervals between June 2001 and January 2002. Four classes and forty-seven species of protozoa were recorded; nineteen species of Class Ciliata, eighteen species of Class Mastigophora, nine species of Class Sarcodina and one species of Class Suctorina. Almost all of the protozoa but Suctorian had similar distribution at all stations. Values were recorded for air temperature (21.0-31.5 °C), water temperature (22.0-31.0 °C), dissolved oxygen (5.3-7.6 mg/l), pH (6.7-7.5), electrical conductivity (141.5-181.2 µS/cm), total dissolved solids (96.1-120.4 mg/l) and salinity (0 ppt). Water quality was at level 2 of the Thai Water Pollution Standard.

¹ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ. ขอนแก่น 40002

บทนำ

โปรโตซัวจัดอยู่ใน Kingdom Protista เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่มีโครงสร้างขนาดเล็ก ภายในเซลล์เรียกว่า ออร์แกเนลล์ (organelle) ซึ่งทำหน้าที่เทียบเท่ากับอวัยวะของสัตว์ชั้นสูง ทั้งเซลล์ของโปรโตซัวจะดำเนินกิจกรรมของชีวิตทั้งหมด เช่น การย่อยอาหาร การแลกเปลี่ยนก๊าซ การปรับสภาวะของเซลล์ การเคลื่อนที่ การสืบพันธุ์ เป็นต้น (บพิท จารุพันธุ์ และนันทพร จารุพันธุ์, 2539) สามารถพบโปรโตซัวได้ทั่วไปในธรรมชาติทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อย น้ำเค็ม และในดิน มีการดำรงชีวิตแบบอิสระ (free living) และอาศัยอยู่กับสิ่งมีชีวิตอื่น เช่น อยู่ร่วมกันโดยต่างก็ได้รับประโยชน์ (mutualism) อาศัยแบบพึ่งพา (commensalism) หรืออาศัยแบบปรสิต (parasitism) ซึ่งอาจก่อให้เกิดโรคแก่ผู้ให้อาศัย (host) (Kudo, 1966) มีรายงานอยู่จำนวนหนึ่งเกี่ยวกับการศึกษาโปรโตซัวในแหล่งน้ำในประเทศไทย โอภาส ศรีนวลละออง (2523) สำรวจโปรโตซัวในอ่างเก็บน้ำอ่างแก้ว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบโปรโตซัว 62 ชนิด อินทรา ปรงเกียรติ (2540) สำรวจโปรโตซัวในอ่างเก็บน้ำสำนักงานเกษตรและสหกรณ์ จังหวัดเชียงใหม่ พบโปรโตซัว 40 ชนิด อำนาจ โรจนไพฑูรย์ และคณะ (2540) ศึกษาความหลากหลายของโปรโตซัวบริเวณเขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก พบโปรโตซัว 35 ชนิด สบชัย สุวัฒน์คุปต์ และคณะ (2541) ศึกษาโปรโตซัวบริเวณอ่างเก็บน้ำหนองฮ่อ อำเภอมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบโปรโตซัว 32 ชนิด อำนาจ โรจนไพฑูรย์ และคณะ (2541) ศึกษาความหลากหลายของโปรโตซัวบริเวณอ่างเก็บน้ำห้วยหยวก พบโปรโตซัว 31 ชนิด ข้อมูลดังกล่าวข้างต้นเป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับความหลากหลายของโปรโตซัวในแหล่งน้ำจืดที่เป็นแหล่งน้ำคุณภาพดีในประเทศไทย งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายของโปรโตซัวในเขื่อนอุบลรัตน์ รวมทั้งสำรวจชนิดของโปรโตซัวว่ามีความเหมือนกันกับหรือแตกต่างจากโปรโตซัวที่พบในแหล่งน้ำอื่นๆ โดยคาดว่าผลการศึกษานี้จะสามารถใช้เป็นพื้นฐานทางอนุกรมวิธานของ

โปรโตซัวในแหล่งน้ำจืด โดยเฉพาะในจังหวัดขอนแก่น นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างชนิดของโปรโตซัวที่ตรวจพบในแหล่งน้ำสะอาดเหนือเขื่อนกับชนิดของโปรโตซัวในแหล่งน้ำที่อยู่ท้ายเขื่อน ซึ่งเป็นที่รองรับน้ำที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ ทั้งการอุปโภค การบริโภค เกษตรกรรมและอุตสาหกรรม

พื้นที่ศึกษา

เขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น เป็นเขื่อนที่มีความสำคัญในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน มีพื้นที่เก็บน้ำ 410 ตารางกิโลเมตร พื้นที่รับน้ำ 14,000 ตารางกิโลเมตร เกือบกั้นระดับสูงสุด 2,263.6 ล้านลูกบาศก์เมตร เขื่อนนี้ได้อำนวยประโยชน์แก่ประชาชนมานานกว่าสามสิบปีแล้ว ทั้งทางด้านการชลประทาน การผลิตกระแสไฟฟ้า (สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ยปีละ 65 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง) การบรรเทาอุทกภัย การคมนาคม การประมง และการท่องเที่ยว (การไฟฟ้าฝ่ายผลิต, 2534) นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับทำน้ำประปาของมหาวิทยาลัยขอนแก่น และอำเภอเมืองขอนแก่นด้วย ลุ่มน้ำเหนือเขื่อนประกอบด้วยลำน้ำที่สำคัญ 3 สาย คือ ลำน้ำพอง ลำน้ำเซิน และลำน้ำพรม ซึ่งล้วนมีต้นน้ำมาจากเทือกเขาเพชรบูรณ์ ในการศึกษาครั้งนี้เก็บตัวอย่างเพื่อสำรวจโปรโตซัวจากบางบริเวณของพื้นที่เหนือเขื่อนและบริเวณปากประตูระบายน้ำ (รูปที่ 1)

วิธีดำเนินการ

กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ อำเภออุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น 6 สถานี ระหว่างเดือนมิถุนายน 2544 ถึงเดือนมกราคม 2545 รวม 8 เดือน (เก็บสถานีละ 3 ชั่วโมง ทุก 2 เดือน รวม 4 ครั้ง) เก็บตัวอย่างโปรโตซัวโดยใช้ถุงลากลากเพลงก่อดอนขนาดตาถี่ 20 ไมโครเมตร ที่ความลึก 3 ระดับ คือ 50 เซนติเมตร 1 เมตร และ 5 เมตร และใช้กระบอกตักน้ำ รวมทั้งเก็บเศษอินทรีย์วัตถุเน่าเปื่อย และพืชพันธุ์ที่อยู่บริเวณริมฝั่งมาศึกษา ตรวจวัดคุณภาพน้ำทางด้าน

กายภาพและทางด้านเคมี โดยบันทึกสีและกลิ่นของน้ำ วัดอุณหภูมิของอากาศและน้ำ พีเอช ความเค็มของน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ปริมาณของแข็ง ทั้งหมดที่ละลายในน้ำ และค่าการนำไฟฟ้าจากทุก สถานีที่เก็บตัวอย่าง

วิธีการศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษา ลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยดูดตัวอย่างน้ำที่บริเวณผิว ขอบ ตรงกลาง และก้นภาชนะด้วยหลอดดูดขนาดเล็ก แล้วหยดลงบนสไลด์และปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ (cover glass) นำไปศึกษาและจัดจำแนกชนิด ถ่ายรูป วาดรูป ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดานิใช้แสง

(compound microscope) และทำสไลด์ถาวร อีก ส่วนหนึ่งนำไปเพาะเลี้ยงเพื่อตรวจหาชนิดโปรโตซัว เพิ่มเติมที่อาจเจริญเติบโตในอาหารที่เพาะเลี้ยง สำหรับอาหารเพาะเลี้ยงใช้น้ำดื่มฟาง 250 มิลลิลิตร แล้วหยดตัวอย่างน้ำที่มีโปรโตซัวลงไป 4-5 หยด ทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ จึงตรวจหาชนิดโปรโตซัว

เอกสารหลักที่ใช้ประกอบการจัดจำแนก คือ โอภาส ศรีนวลละออง (2523) เชิดพันธ์ มูรธานนท์ (2526) บพิท จารุพันธุ์ และนันทพร จารุพันธุ์ (2532 & 2539) อินทิรา ประยูรเกียรติ (2540 & 542) Kudo (1966), Farmer (1980), Foissner and Berger (1996) และ Hausmann and Hulsman (1996)



รูปที่ 1 แผนที่ของเขื่อนอุบลรัตน์ และสถานีเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาโปรโตซัว

ผลการศึกษา

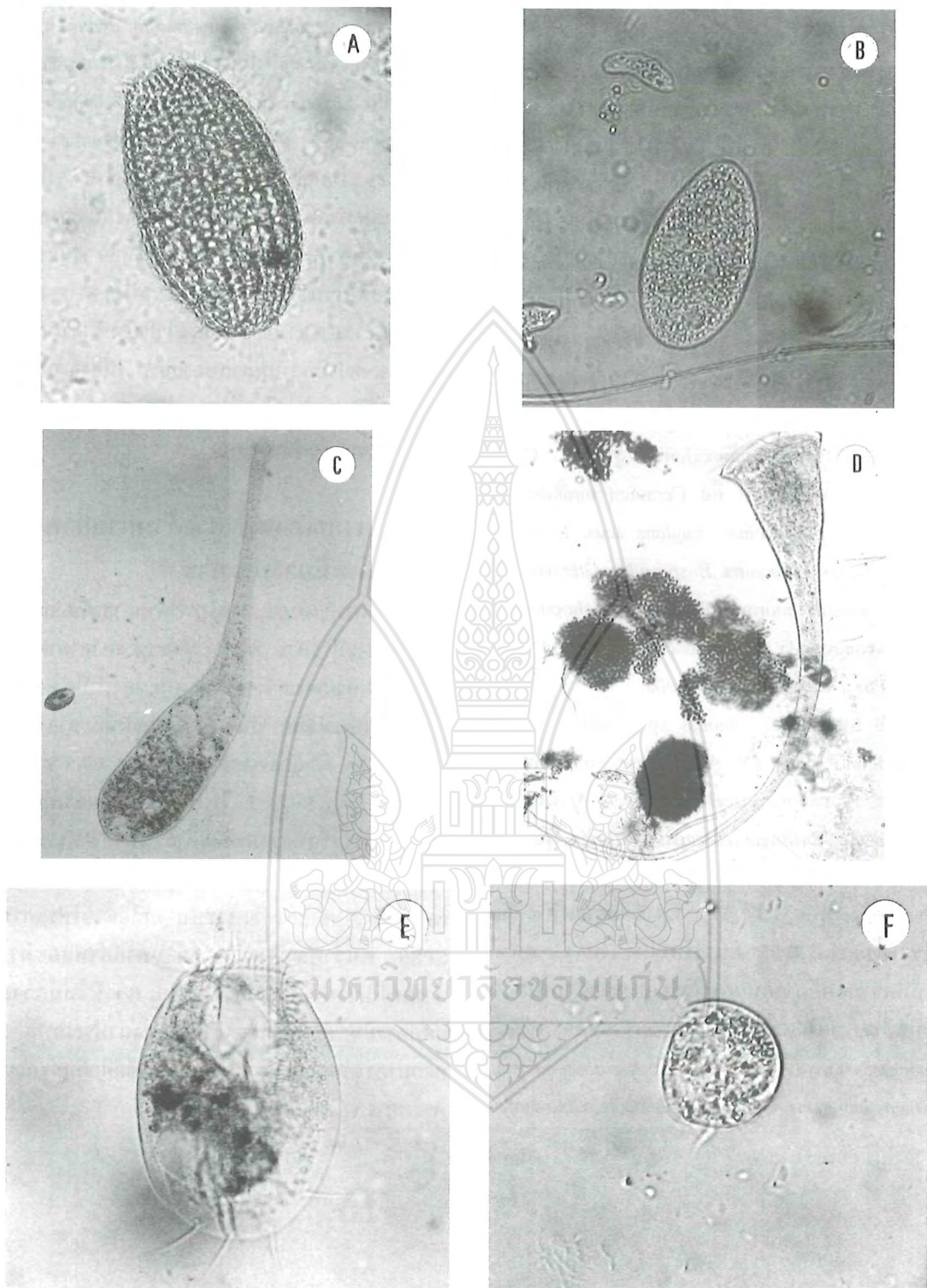
การสำรวจความหลากหลายของโปรโตซัว

การสำรวจ ความหลากหลายของโปรโตซัว ในเขื่อนอุบลรัตน์ พบโปรโตซัวทั้งสิ้น 4 class รวมทั้งหมด 47 ชนิด ได้แก่ Class Ciliata 19 ชนิด คือ *Aspidisca costata*, *Cinetochilum margaritaceum*, *Coleps elongatus*, *C. hirtus*, *Cyclidium glaucoma*, *Euplotes aediculatus*, *E. patella*, *Lacrymaria olor*, *Loxodes* sp., *Paramecium aurelia*, *P. caudatum*, *Stentor coeruleus*, *S. polymorphus*, *Stylonychia mytilus*, *Tetrahymena pyriformis*, *Urocentrum turbo*, *Uronema* sp., *Vorticella campanula* และ *V. convallaria* (รูปที่ 2) Class Mastigophora 18 ชนิด คือ *Ceratium hirundinella*, *Chilomonas paramecium*, *Euglena acus*, *E. deses*, *E. enrenbergi*, *E. oxyuris*, *E. spiroides*, *Glenodinium* sp., *Pandorina morum*, *Peranema trichophorum*, *Phacus longicauda*, *P. pleuronectes*, *P. torta*, *Phacus* sp.1, *Phacus* sp.2, *Synura uvella*, *Trachelomonas hispida* และ *Trachelomonas* sp. (รูปที่ 3) Class Sarcodina 9 ชนิด คือ *Actinophrys sol*, *Amoeba proteus*, *A. radiosa*, *Arcella discoides*, *A. vulgaris*, *Arcella* sp., *Diffugia oblonga*, *Diffugia* sp. และ *Pelomyxa* sp. (รูปที่ 4) Class Suctorina 1 ชนิด คือ *Podophrya fixa* (รูปที่ 5) จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS พบว่าโปรโตซัวในแต่ละสถานีไม่มีความแตกต่างกันและมีการกระจายตัวคล้ายกัน ชนิดที่พบมากที่สุดได้แก่ *Cyclidium glaucoma* และ *Coleps elongatus* ชนิดที่พบน้อยได้แก่ คือ *Aspidisca costata*, *Coleps elongatus*, *Cyclidium glaucoma*, *Chilomonas*

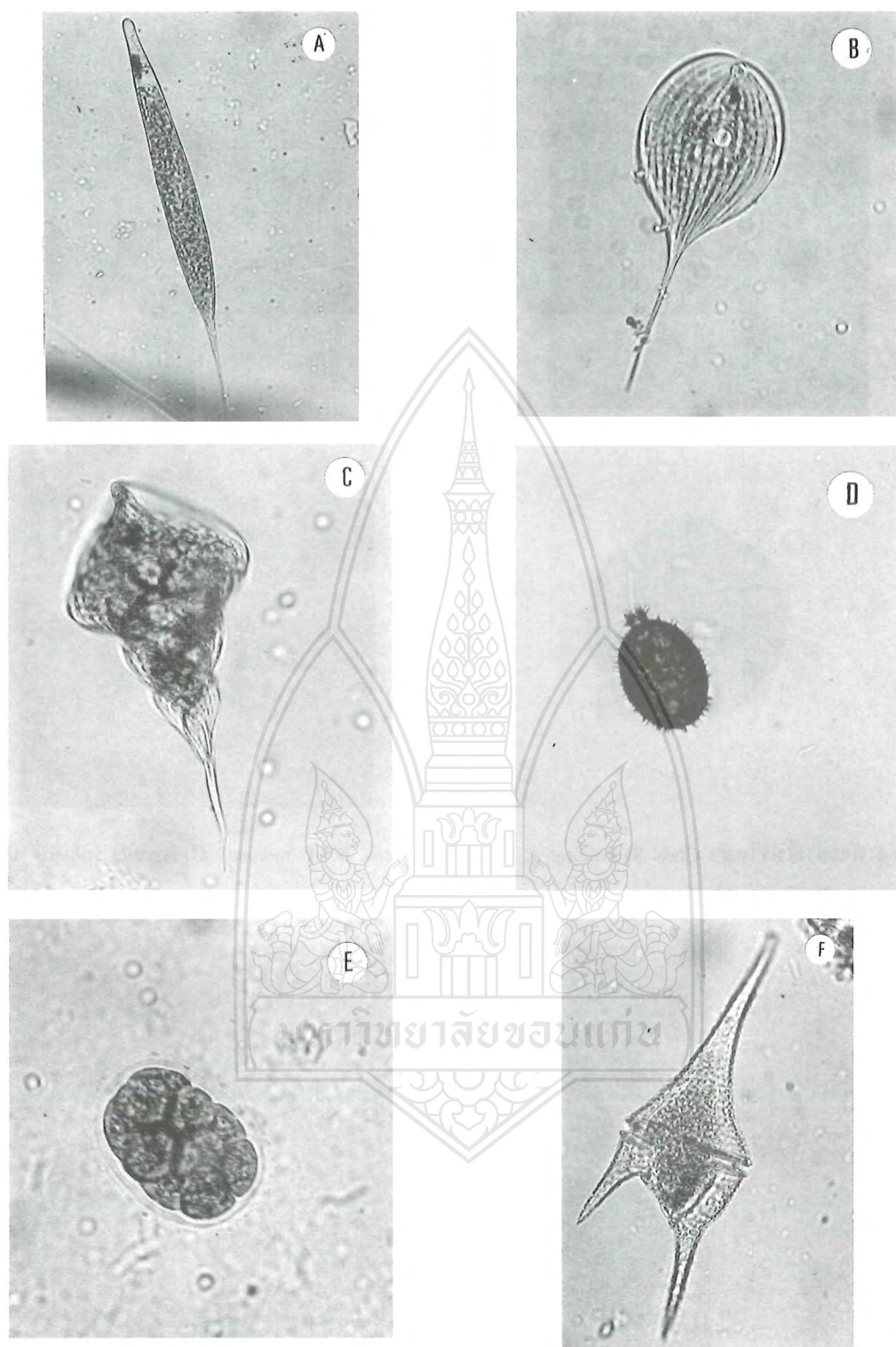
paramecium, *Peranema trichophorum*, *Synura uvella* และ *Actinophrys sol* โปรโตซัวที่ไม่สามารถจัดจำแนกชนิดได้แก่ *Loxodes* sp., *Uronema* sp., *Glenodinium* sp., *Phacus* sp.1, *Phacus* sp.2, *Trachelomonas* sp., *Arcella* sp., *Diffugia* sp. และ *Pelomyxa* sp. (รูปที่ 6) ในแต่ละฤดูกาลพบจำนวนชนิดแตกต่างกัน ฤดูที่พบชนิดโปรโตซัวมากที่สุดคือ ฤดูหนาว (39 ชนิด) ในฤดูฝนพบจำนวนชนิดน้อยที่สุด (22 ชนิด) (ตารางที่ 1) สำหรับความหลากหลายของโปรโตซัวในเขื่อนอุบลรัตน์จัดว่ามีความหลากหลายมาก เนื่องจากมีการกระจายตัวของโปรโตซัวทุกกลุ่ม (Kudo, 1966; Foissner and Berger, 1996)

การศึกษาคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและทางด้านเคมีบางประการ

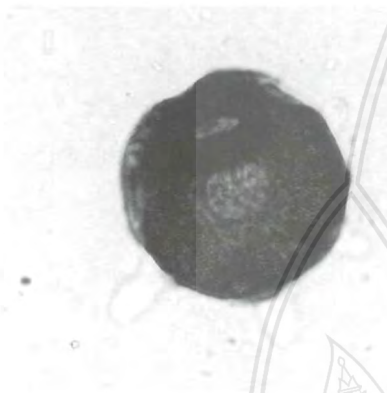
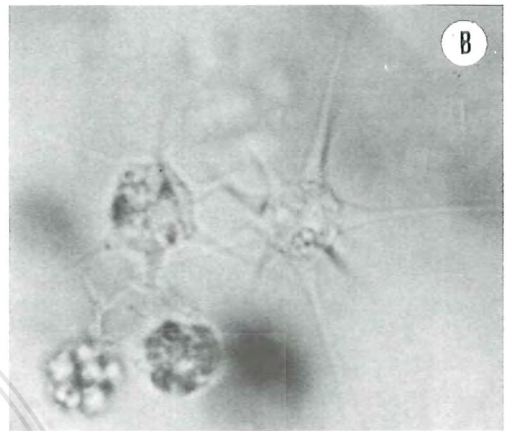
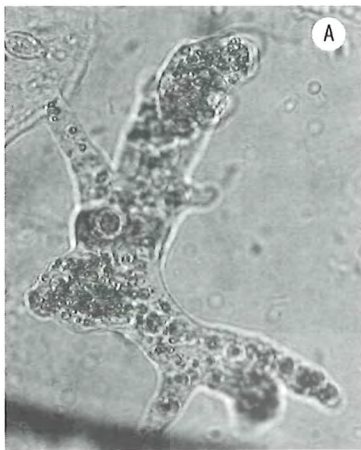
การศึกษาคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและทางด้านเคมีบางประการ พบว่า อุณหภูมิของอากาศมีค่า 21.0-31.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำมีค่า 22.0-31.0 องศาเซลเซียส ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่า 5.3-7.6 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 6.7-7.5 ค่าการนำไฟฟ้า 141.5-181.2 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ 96.1-120.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเค็มมีค่า 0 ส่วนในพัน (ตารางที่ 2) จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS พบว่าคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและทางด้านเคมีบางประการของในแต่ละสถานีไม่มีความแตกต่างกัน คุณภาพน้ำจัดเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 2 ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำจืดผิวดิน (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2537)



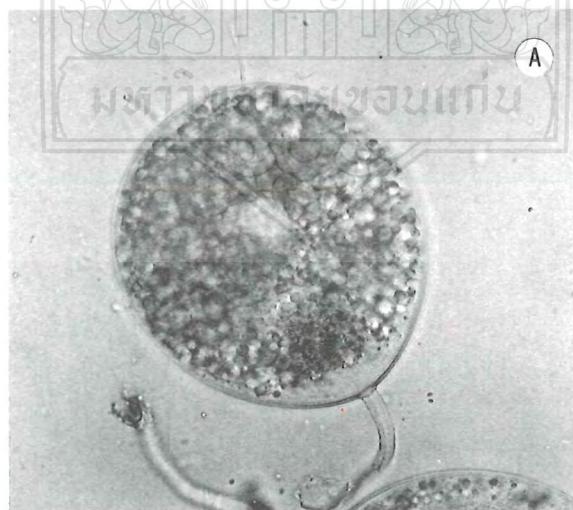
รูปที่ 2 ตัวอย่างโปรโตซัว Class Ciliata: A. *Coleps elongatus*, B. *Tetrahymena pyriformis*, C. *Lacrymaria olor*, D. *Stentor polymorphus*, E. *Euplotes aediculatus* และ F. *Aspidisca costata*



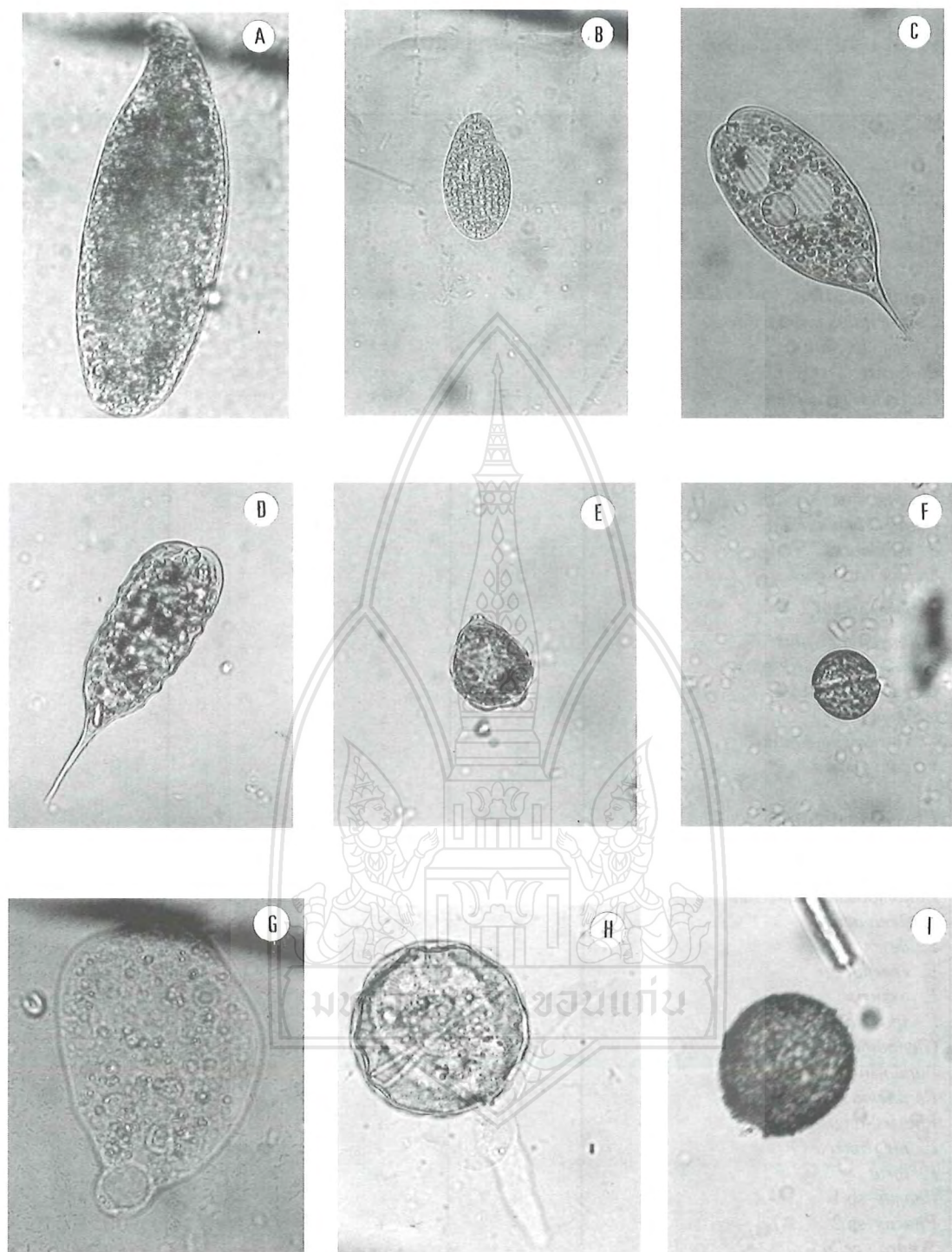
รูปที่ 3 ตัวอย่างโปรโตซัว Class Mastigophora: A. *Euglena acus*, B. *Phacus longicauda*, C. *P. torta*, D. *Trachelomonas hispida*, E. *Pandorina morum* และ F. *Ceratium hirundinella*



รูปที่ 4 ตัวอย่างโปรโตซัว Class Sarcodina: A. *Amoeba proteus*, B. *A. radiosa*, C. *Arcella vulgaris* และ D. *Diffflugia oblonga*



รูปที่ 5 ตัวอย่างโปรโตซัว Class Suctoria: A. *Podophrya fixa*



รูปที่ 6 ตัวอย่างโปรโตซัวที่จัดจำแนกชนิดไม่ได้: A. *Loxodes* sp., B. *Uronema* sp., C. *Phacus* sp.1, D. *Phacus* sp.2, E. *Trachelomonas* sp., F. *Glenodinium* sp., G. *Pelomyxa* sp., H. *Arcella* sp. และ I. *Diffugia* sp.

ตารางที่ 1 โปรโตซัวชนิดต่าง ๆ ที่สำรวจพบในเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น

ชนิดของโปรโตซัว	ระยะเวลาการสำรวจโปรโตซัว			
	มิ.ย.-ก.ค. 44	ส.ค.-ก.ย. 44	ต.ค.-พ.ย. 44	ธ.ค.44 -ม.ก. 45
Class Ciliata				
<i>Aspidisca costata</i>	+++	++	-	++
<i>Cinetochilum margaritaceum</i>	-	+	+	-
<i>Coleps elongatus</i>	+++	+++	-	+++
<i>C. hirtus</i>	-	-	+	+
<i>Cyclidium glaucoma</i>	+++	+++	+++	+++
<i>Euplotes aediculatus</i>	-	+	-	+
<i>E. patella</i>	-	-	+	-
<i>Lacrymaria olor</i>	+	+	-	+
<i>Loxodes</i> sp.	-	+	+	+
<i>Paramecium aurelia</i>	+	-	-	+
<i>P. caudatum</i>	-	+	+	+
<i>Stentor coeruleus</i>	+	+	+	-
<i>S. polymorphus</i>	-	-	+	+
<i>Stylonychia mytilus</i>	+	-	+	+
<i>Tetrahymena pyriformis</i>	-	+	+	-
<i>Urocentrum turbo</i>	+	-	+	+
<i>Uronema</i> sp.	-	-	+	+
<i>Vorticella campanula</i>	-	+	-	+
<i>V. convallaria</i>	+	-	+	+
	-	+	+	+
Class Mastigophora				
<i>Ceratium hirundinella</i>	+	+	+	+
<i>Chilomonas paramecium</i>	++	++	++	++
<i>Euglena acus</i>	+	+	-	-
<i>E. deses</i>	-	+	+	+
<i>E. enrenbergi</i>	-	+	+	+
<i>E. oxyuris</i>	-	+	+	+
<i>E. spiroides</i>	-	+	+	+
<i>Glenodinium</i> sp.	-	+	+	-
<i>Pandorina morum</i>	+	-	+	+
<i>Peranema trichophorum</i>	++	++	++	+
<i>Phacus longicauda</i>	+	+	-	+
<i>P. pleuronectes</i>	+	-	-	+
<i>P. torta</i>	-	+	+	-
<i>Phacus</i> sp.1	+	-	+	+
<i>Phacus</i> sp.2	-	+	-	+
<i>Synura uvella</i>	++	++	++	++
<i>Trachelomonas hispida</i>	-	+	+	+
<i>Trachelomonas</i> sp.	-	-	+	+

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชนิดของโปรโตซัว	ระยะเวลาการสำรวจโปรโตซัว			
	มิ.ย.-ก.ค. 44	ส.ค.-ก.ย. 44	ต.ค.-พ.ย. 44	ธ.ค.44 -ม.ก. 45
Class Sarcodina				
<i>Actinophrys sol</i>	++	++	++	++
<i>Amoeba proteus</i>	+	-	+	+
<i>A. radiosa</i>	-	+	+	+
<i>Arcella discoides</i>	+	+	-	+
<i>A. vulgaris</i>	-	+	+	-
<i>Arcella</i> sp.	-	-	+	+
<i>Diffugia oblonga</i>	-	+	+	+
<i>Diffugia</i> sp.	-	+	+	+
Class Suctorina				
<i>Podophrya fixa</i>	-	-	+	+
รวม	22	31	35	39
รวมทั้งหมด 47 ชนิด				

หมายเหตุ +++ ชนิดโปรโตซัวที่พบบ่อย และพบจำนวนมาก
 ++ ชนิดของโปรโตซัวที่พบบ่อย แต่จำนวนไม่มาก
 + ชนิดของโปรโตซัวที่พบในการสำรวจ
 - ไม่พบชนิดโปรโตซัวในช่วงเดือนที่ทำการสำรวจ

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำในเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น

คุณภาพน้ำ	ระยะเวลาการสำรวจโปรโตซัว				ค่าเฉลี่ย ± S.D.
	มิ.ย.-ก.ค. 44	ส.ค.-ก.ย. 44	ต.ค.-พ.ย. 44	ธ.ค.44 -ม.ก. 45	
อุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส)	31.0-31.5	27.5-31.0	21.0-23.0	22.0-25.0	26.7 ± 4.25
อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	30.0-31.0	29.0-29.5	22.0-23.5	22.5-24.5	26.4 ± 4.02
พีเอช	7.1-7.4	7.1-7.5	6.7-7.3	7.1-7.4	7.2 ± 1.15
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	6.2-6.9	6.4-7.6	5.8-7.1	5.3-6.2	6.5 ± 2.12
การนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร)	176.9-181.2	141.5-149.5	147.4-152.1	156.7-163.4	158.8 ± 10.85
ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	119.2-120.4	96.1-99.75	99.8-103.3	104.3-107.4	106.2 ± 11.43
ความเค็ม (ส่วนในพัน)	0	0	0	0	0

สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษา

จากการสำรวจโปรโตซัวในเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น เป็นระยะเวลารวม 8 เดือน พบโปรโตซัวจำนวน 4 class รวม 47 ชนิด คือ (1) Class Ciliata 19 ชนิด (2) Class Mastigophora 18 ชนิด (3) Class Sarcodina 9 ชนิด และ (4) Class Suctorina 1 ชนิด โปรโตซัวใน Class Ciliata, Mastigophora และ Sarcodina มีการกระจายตัวคล้ายกันในทุกสถานที่เก็บตัวอย่าง ส่วน Class Suctorina พบการกระจายตัวค่อนข้างน้อยเฉพาะบริเวณที่มีพีชีน้ำขึ้นเป็นส่วนใหญ่

ช่วงระยะเวลาที่พบชนิดของโปรโตซัวมากที่สุด (39 ชนิด) คือเดือนธันวาคม 2544 ถึงเดือนมกราคม 2545 รองลงมาคือเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน (35 ชนิด) เดือนสิงหาคมถึงกันยายน (31 ชนิด) และช่วงที่พบน้อยที่สุด (22 ชนิด) คือช่วงเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม (ตารางที่ 1) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากช่วงเดือนมิถุนายนถึงต้นเดือนตุลาคมเป็นช่วงฤดูฝน มีปริมาณน้ำมาก โปรโตซัวอาจถูกพัดลอยไปตามกระแสน้ำที่ปล่อยออกจากเขื่อน หรืออาจถูกสัตว์น้ำอื่นๆ กินเป็นอาหาร เพราะช่วงดังกล่าวจะมีปริมาณของสัตว์น้ำวัยอ่อนค่อนข้างมาก เช่น ไรดิเฟอร์ คลาโดเซอร่า โคพีพอด และกุ้งฝอย (บพิตร จารุพันธุ์ และนันทพร จารุพันธุ์, 2532) แต่ในช่วงที่เข้าสู่ฤดูหนาว ปริมาณน้ำในเขื่อนค่อนข้างคงที่ ทำให้พบชนิดของโปรโตซัวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งคล้ายกับที่ โอภาส ศรีนวลละออง (2523) ศึกษาความหลากหลายของโปรโตซัวในอ่างเก็บน้ำอ่างแก้ว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยพบว่า การเปลี่ยนแปลงฤดูกาลมีผลทำให้พบชนิดของโปรโตซัวที่แตกต่างกันด้วย

การศึกษครั้งนี้พบโปรโตซัวที่ไม่สามารถจัดจำแนกได้ 9 ชนิด คือ *Loxodes* sp., *Uronema* sp., *Glenodinium* sp., *Phacus* sp.1, *Phacus* sp.2, *Trachelomonas* sp., *Arcella* sp., *Diffugia* sp. และ *Pelomyxa* sp. เนื่องจากมีลักษณะออร์แกนัลกายวิภาคศาสตร์ และสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันจากเอกสารที่ใช้จำแนกชนิดที่มีอยู่ ต้องมีการศึกษาค้นคว้า

เพิ่มเติมจากรายงาน หรือเอกสารต่างๆ จากทั่วโลก เพื่อจะได้ทราบว่าเป็นชนิดที่มีรายงานการพบ หรือยังไม่มีรายงานการพบ

การศึกษาความหลากหลายของโปรโตซัวครั้งนี้พบว่าขนาดและรูปร่างลักษณะมีความใกล้เคียงกันกับที่นักวิจัยหลายท่านได้สำรวจโปรโตซัวในพื้นที่หลายแห่งในประเทศไทย เช่น โอภาส ศรีนวลละออง (2523) เชิดพันธ์ มูรธานันท์ (2526) บพิตร จารุพันธุ์ และนันทพร จารุพันธุ์ (2532) อินทิรา ปรงเกียรติ (2540) มีบางชนิดที่แตกต่างเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสถานที่ในการสำรวจไม่ใช่ที่เดียวกันปีที่สำรวจแตกต่างกัน เป็นไปได้ว่าแหล่งน้ำแต่ละแห่งมีลักษณะทางนิเวศวิทยาแตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นผลกระทบมาจากสภาวะทางเคมี เช่น พีเอช ปริมาณก๊าซที่ละลายในน้ำ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ลักษณะทางกายภาพของแหล่งน้ำ ซึ่งได้แก่ ระดับอุณหภูมิ ปริมาณความเข้มของแสง ช่วงเวลาของแสง ความสูงจากระดับน้ำทะเล ปริมาณน้ำฝน สภาวะทางชีววิทยาซึ่งได้แก่ โครงสร้างประชากรของโปรโตซัว ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งอาหาร การแก่งแย่งระหว่างประชากร และความสัมพันธ์ระหว่างเหยื่อกับผู้ล่า ในวัฏจักรชีวิตของโปรโตซัวอาจมีรูปร่างหลายแบบ ทั้งที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอหรือเป็นช่วงหนึ่งของวัฏจักรชีวิตที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างซึ่งมักเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงที่อยู่อาศัย (Hausmann and Hulsman, 1996)

ซิลิเอทหลายสกุล เช่น *Blepharisma*, *Stylonychia* และ *Dileptus* เป็นพวก polymorphic เมื่อพวกนี้อัดอาหาร ขนาดของเซลล์จะเปลี่ยนไปจนมีขนาดเล็กกว่าปกติถึง 100 เท่า *Blepharisma* อาจมีขนาดใหญ่กว่าเดิมมาก ถ้าเปลี่ยนอาหารที่ใช้เลี้ยงจากแบคทีเรียไปเป็นอาหารที่มีขนาดใหญ่กว่า เช่น ซิลิเอทขนาดเล็กชนิดอื่นๆ พวกที่มีขนาดใหญ่มากจะกลับมามีขนาดเล็กเท่าเดิมทันทีที่กินอาหารขนาดเล็ก การลดขนาดของเซลล์เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในช่วงเวลา

อื่นๆ ระหว่างการแบ่งเซลล์ (Hausmann and Hulsman, 1996)

พวก *Euplotes* เช่น *E. octocarinatus* จะเปลี่ยนรูปร่างไปเมื่อมีพวกล่าเหยื่อ (predator) ซึ่งเป็นพวกซิลิเอทสกุล *Lembadion* อาศัยอยู่ด้วย *E. octocarinatus* จะสร้างส่วนที่คล้ายปีกขยายออกทางด้านข้างและครีบด้านบนเพื่อป้องกันไม่ให้ *Lembadion* กิน (Hausmann and Hulsman, 1996)

จากผลการศึกษาและสำรวจความหลากหลายของโปรโตซัวในครั้งนี้พบว่า ชนิดของโปรโตซัวส่วนใหญ่เหมือนกันกับโปรโตซัวที่พบอยู่ในแหล่งน้ำประเภท mesosaprobic ถึง polysaprobic ดังรายงานความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำตามที่ Farmer (1980) และ Foissner and Berger (1996) ได้กล่าวไว้ การวิจัยครั้งนี้พบว่าปริมาณน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ซึ่งส่งผลให้คุณภาพน้ำทั้งทางด้านกายภาพและทางด้านเคมีเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย คุณภาพน้ำในเขื่อนอุบลรัตน์จัดเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 2 ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำจืดผิวดิน ซึ่งเป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท สามารถใช้เพื่อการอุปโภคและบริโภคได้ (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2537)

ในการศึกษาครั้งนี้มีพบโปรโตซัวบางชนิด เช่น *Naegleria* sp. และ *Acanthamoeba* sp. ซึ่งจะมีบางชนิดใน 2 สกุลนี้เป็นพวกอะมีบาที่ดำรงชีวิตแบบอิสระอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไป แต่เมื่อมีโอกาสเข้าสู่คนจะทำให้เกิดพยาธิสภาพที่รุนแรงโดยเฉพาะที่สมอง และอาจทำให้ผู้ป่วยเสียชีวิตได้ (วิฑูรย์ ไวยนันท์ และพิรพรรณ ตันอารีย์, 2540) มีรายงานว่าพบอะมีบาทั้ง 2 สกุลในประเทศไทยอยู่พอสมควร Jariya et al. (1988) ได้สำรวจหาอะมีบาฉวยโอกาสทั้ง 2 สกุล นี้ในแหล่งน้ำธรรมชาติในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบ *Naegleria fowleri* จากแหล่งน้ำในจังหวัดนครราชสีมาและสุรินทร์อยู่ร้อยละ 19 และพบ *Acanthamoeba* sp. อยู่ร้อยละ 4-8 ซึ่งพบในปริมาณที่น้อย ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าเทคนิควิธีการลุ่มเก็บตัวอย่างไม่ครอบคลุม ควรมีการปรับปรุงเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ Jariya et al. (1988) ได้สำรวจแหล่งน้ำขังในเขตอุตสาหกรรมของนวนคร อำเภอรังสิต จังหวัดปทุมธานี จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดลพบุรี พบ *Naegleria fowleri* ร้อยละ 67.9-70.59 ผลการศึกษาความหลากหลายของโปรโตซัวในบริเวณที่อยู่ตอนเหนือของเขื่อนครั้งนี้จะใช้เปรียบเทียบกับการศึกษาความหลากหลายของโปรโตซัวในแหล่งน้ำท้ายเขื่อนซึ่งบางแห่งเป็นที่รองรับน้ำที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ ทั้งการอุปโภค การบริโภค เกษตรกรรม และอุตสาหกรรม ขณะนี้กำลังดำเนินการศึกษาอยู่ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะทำให้ทราบชีววิทยาของโปรโตซัวบางชนิด และสามารถใช้นิคมของโปรโตซัวเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของคุณภาพน้ำได้ เพราะว่ามีโปรโตซัวหลายชนิดที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ในสภาพน้ำแบบต่างๆ กัน เช่น *Coleps* sp., *Paramecium* sp., *Stentor* sp., *Euglena* sp. และ *Amoeba* sp. เป็นต้น บางชนิดก็สามารถดำรงชีวิตได้เฉพาะในน้ำที่มีคุณภาพดี เช่น *Dileptus* sp., *Frontonia* sp. และ *Urocentrum terbo* บางชนิดก็ดำรงชีวิตได้ดีในสภาพน้ำเสีย เช่น *Naegleria* sp. และ *Tokophrya* sp. (บพิศ จารุพันธุ์ และนันทพร จารุพันธุ์, 2539; อินทิรา ปรงเกียรติ, 2542; Farmer, 1980; Foissner and Berger, 1996) สำหรับการศึกษาครั้งนี้พบว่าโปรโตซัวส่วนใหญ่อาศัยได้ทั้งในน้ำดีและน้ำเสียดังรายงานความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำตามที่ Farmer (1980) และ Foissner and Berger (1996) ได้กล่าวไว้

เอกสารอ้างอิง

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2534). เขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น.
คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. (2537). เรื่องการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำจืดผิวดิน. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 4/2537 เล่ม 111 ตอนที่ 162 ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537.

- เชิดพันธ์ มุรธานันท์. (2526). การสำรวจโปรโตซัวในคูเมืองเชียงใหม่. การวิจัยวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การสอนชีววิทยา) ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- บพิท จารุพันธ์ และนันทพร จารุพันธ์. (2532). การศึกษาชนิดของโปรโตซัวเพื่อใช้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพน้ำ. รายงานการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร.
- บพิท จารุพันธ์ และนันทพร จารุพันธ์. (2539). โปรโตซัวในแหล่งน้ำจืด. ภาควิชาสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร.
- วิฑูรย์ ไวยนันท์ และพีรพรธม ดันอารีย์. (2540). ประวัติวิทยาการแพทย์. พิมพ์ ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สบชัย สุวัฒน์คุปต์, อรรพรรณ อินทราทิพย์, อำนาจ โรจนไพบุลย์, ธนู มะระยงค์ และอินทรา ปรงเกียรติ. (2541). การสำรวจโปรโตซัวจากบริเวณอ่างเก็บน้ำหนองฮ่อ จังหวัดเชียงใหม่. การวิจัยวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การสอนชีววิทยา) ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อินทรา ปรงเกียรติ. (2540). การสำรวจโปรโตซัวในอ่างเก็บน้ำ สำนักงานเกษตรและสหกรณ์ จังหวัดเชียงใหม่. การค้นคว้าอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อำนาจ โรจนไพบุลย์, ชโลบล วงศ์สวัสดิ์ และธนู มะระยงค์. (2540). ความหลากหลายของโปรโตซัว บริเวณเขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก. รายงานการวิจัย ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อำนาจ โรจนไพบุลย์, ธนู มะระยงค์, สบชัย สุวัฒน์คุปต์ และอินทรา ปรงเกียรติ. (2541). ความหลากหลายของโปรโตซัวจากบริเวณอ่างเก็บน้ำห้วยหยวก จังหวัดเชียงใหม่. รายงานการวิจัย ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- โอภาส ศรีนวลละออง. (2523). การสำรวจโปรโตซัวในอ่างเก็บน้ำอ่างแก้ว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. การวิจัยวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การสอนชีววิทยา) ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Farmer, J. N. (1980). The Protozoa: Introduction to Protozoology. London: The C.V. Mosby Co.
- Foissner, W. and Berger, H. (1996). A user's friendly guides to the Ciliates (Protozoa, Ciliophora). Freshwater Biology. 35:375-482.
- Hausmann, K. and Hulsmann, N. (1996). Protozoology. 2nd ed. New York: Thieme Medical Publishers.
- Jariya, P., Singprasert, P. and Lertlaituan, P. (1988). Survey of amoeba in stagnant waters of Northeastern Thailand. J. Parasitol. Trop. Med. Assoc. Thailand. 11:40-46.
- Kudo, R. R. (1966). Protozoology. 5th ed. Illinois: Charles C. Thomas Publishing.

คุณภาพนมสดและผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มจากแหล่งผลิตในเขต 6 และผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มจากโครงการนมโรงเรียน ในจังหวัดขอนแก่น

ไพรวลัย อินทร์อุดม¹, สุภาพร เวทีวุฒาจารย์¹, วิไล เส¹ และโสภิน บำเพ็ญทรัพย์¹

บทคัดย่อ

นมสดและผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการทางด้านสมองสติปัญญาของเด็ก จึงถูกกำหนดให้เป็นอาหารเสริมสำหรับแจกเด็กนักเรียนระดับประถมศึกษาในโครงการนมโรงเรียนของจังหวัด กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์โดยศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ขอนแก่น ร่วมกับสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดขอนแก่น จึงดำเนินการสำรวจคุณภาพนมสดและผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มจากแหล่งผลิตและผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มจากโครงการนมโรงเรียนในจังหวัดขอนแก่น ระหว่างปี พ.ศ. 2541-2543 โดยเก็บตัวอย่างจากแหล่งผลิตในพื้นที่สาธารณสุขเขต 6 จำนวน 7 แห่ง และสุ่มเก็บตัวอย่างจากโครงการนมโรงเรียนในจังหวัดขอนแก่น จำนวน 5 อำเภอ ๆ ละ 1 แห่ง รวมทั้งสิ้น 47 ตัวอย่าง แล้วทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ซึ่งได้แก่ ปริมาณไขมัน น้ำตาล และกรดไขมันรวมไขมันเนย ส่วนคุณภาพทางด้านจุลชีววิทยาได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อ *E. coli* เชื้อโรคอาหารเป็นพิษ และสารตกค้างยาปฏิชีวนะ ผลการตรวจคุณภาพของนมสดและผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มจากแหล่งผลิตจำนวน 39 ตัวอย่าง พบว่ามี 20 ตัวอย่างที่ไม่ถึงเกณฑ์มาตรฐาน หรือคิดเป็นร้อยละ 51.28 เนื่องจากไขมันและกรดไขมันรวมไขมันเนยต่ำกว่ามาตรฐาน มีสารตกค้างยาปฏิชีวนะ และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินมาตรฐาน ในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มจากโครงการนมโรงเรียนในจังหวัดขอนแก่นจำนวน 8 ตัวอย่าง พบว่ามีเพียง 1 ตัวอย่าง ที่ไม่ถึงเกณฑ์มาตรฐาน หรือคิดเป็นร้อยละ 12.5 เนื่องจาก *E. coli* และจุลินทรีย์ทั้งหมดมีจำนวนเกินมาตรฐาน ผลการสำรวจนี้ทำให้ทราบข้อมูลพื้นฐานคุณภาพนมสดและผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มที่ผลิตและจำหน่ายในพื้นที่สาธารณสุขเขต 6

Abstract

Fresh milk and ready-to-drink milk products are highly nutritious foods which are essential for brain development in children. These products are classified by the Thai government as food supplement for distribution to primary school children involved in the school milk project. During 1998 - 2000, the Regional Medical Sciences Center in Khon Kaen under the Department of Medical Sciences in co-operation with Provincial Health Agency, conducted a quality survey of fresh milk and ready-to-drink milk products collected from seven manufacturers in Health Region 6 and from five schools involved in the school milk project. Samples were collected at random from each school located in the five selected districts of Khon Kaen province. A total of 47 samples were collected and analyzed. Chemical analyses such as fat, sugar and solid not fat (SNF) and microbiological analyses such as total bacteria, *E. coli*, food poisoning bacteria and antibiotic residues were carried out. The results showed that 20 out of 39 samples (51.28%) of fresh milk and ready-to-drink milk products failed to comply with the standards. Antibiotic residues and total plate counts were greater than the standards. One of the 8 ready-to-drink milk products from school milk project was substandard due to excess *E. coli* and total bacterial count. This survey provided fundamental information on the quality of fresh milk and ready-to-drink milk products produced and distributed in Health Region 6.

¹ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ ขอนแก่น ถนนหน้าศูนย์ราชการ อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

บทนำ

นมและผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มที่มีจำหน่ายหลากหลายในท้องตลาด จัดเป็นอาหารควบคุมเฉพาะประเภทหนึ่งตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 26 (กระทรวงสาธารณสุข, 2522ก), ฉบับที่ 35 (กระทรวงสาธารณสุข, 2522ข) และฉบับที่ 46 (กระทรวงสาธารณสุข, 2523) ซึ่งกำหนดคุณภาพมาตรฐานในเรื่องความสะอาดปราศจากการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ และการกำหนดสารเคมีที่มีอันตรายต่อร่างกายให้อยู่ในปริมาณที่ไม่เกินค่ามาตรฐาน

จากกระบวนการผลิตสามารถแบ่งผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มเป็น 3 ชนิดคือ

1. นมพาสเจอร์ไรส์คือน้ำนมที่ผ่านกรรมวิธีฆ่าเชื้อเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค โดยผ่านความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 63 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาทีหรือใช้อุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียสเป็นเวลาอย่างน้อย 16 วินาที กระบวนการผลิตดังกล่าวจะยังมีจุลินทรีย์บางส่วนเหลืออยู่ซึ่งพร้อมจะเจริญเติบโตได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์นมชนิดนี้เน่าเสียได้ง่ายที่สุดหากขั้นตอนการจัดเก็บไม่ถูกต้อง แต่มีข้อดีคือราคาถูกและรสชาติใกล้เคียงนมสดตามธรรมชาติมากที่สุด

2. นมสเตอริไลส์คือน้ำนมที่ผ่านกรรมวิธีฆ่าเชื้อเพื่อทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยการผ่านความร้อนที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาที่เหมาะสม ทั้งนี้จะต้องผ่านกรรมวิธีผลิตให้เป็นเนื้อเดียวกัน นมชนิดนี้สามารถเก็บรักษาได้นานกว่า 3 เดือนที่อุณหภูมิห้องปกติ

3. นมยูเอชที คือน้ำนมที่ผ่านกรรมวิธีฆ่าเชื้อเพื่อทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยการผ่านความร้อนที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 133 องศาเซลเซียสเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 1 วินาที แล้วบรรจุภาชนะในสภาวะที่ปราศจากเชื้อ ทั้งนี้จะต้องผ่านกรรมวิธีการผลิตให้เป็นเนื้อเดียวกัน ข้อดีของนมชนิดนี้คือมีรสชาติและคุณสมบัติใกล้เคียงกับนมสด เนื่องจากผ่านความร้อนในระยะเวลาอันสั้น สารอาหารที่สำคัญจึงสูญเสียไปน้อยมาก

นมและผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มจัดเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดที่จำเป็นต่อร่างกายอย่างครบถ้วน มีทั้งไขมัน น้ำตาล โปรตีน และเกลือแร่ มีน้ำตาลนมที่เรียกว่า แล็กโทส (lactose) และมีโปรตีนที่เรียกว่า เคซีน (casein) ซึ่งจะไม่พบในอาหารชนิดอื่นนอกจากนมเท่านั้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นสำหรับเด็กเพื่อการเจริญเติบโตโดยเฉพาะในกระบวนการสร้างโครงกระดูกและฟัน และการพัฒนาสติปัญญาของเด็กนักเรียนในวัยเรียน (จงจิตร อังคทะวานิชและคณะ, 2534) หน่วยงานในสังกัดสำนักงานการประถมศึกษาทั่วประเทศ จึงกำหนดให้นมและผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มเป็นอาหารเสริมสำหรับแจกเด็กนักเรียนในโรงเรียนประถมศึกษาทั่วประเทศ

ข้อมูลการศึกษาวิจัยคุณภาพนมทั่วประเทศ ในปี พ.ศ.2542 ของกองอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2542) พบว่า นมพาสเจอร์ไรส์ที่โรงเรียนจัดซื้อให้นักเรียนบริโภคจำนวน 59 ตัวอย่าง มีปริมาณสารอาหารและการปนเปื้อนไม่ตรงตามเกณฑ์มาตรฐานร้อยละ 52.5 ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไขมันรวมไม่รวมไขมันต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดอยู่ร้อยละ 18.6 พบสารตกค้างยาปฏิชีวนะอยู่ร้อยละ 32.2 และปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์เกินเกณฑ์มาตรฐานอยู่ร้อยละ 13.6 ส่วนนมพาสเจอร์ไรส์ที่เก็บจากแหล่งผลิตจำนวน 156 ตัวอย่าง ตรวจพบปริมาณสารอาหารและการปนเปื้อนเกินเกณฑ์มาตรฐานร้อยละ 46.8 จากสถิติดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ของนมพาสเจอร์ไรส์ที่ไม่ได้มาตรฐานยังคงสูงอยู่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสถานที่ผลิตเป็นโรงงานขนาดเล็ก กระบวนการผลิต การบรรจุผลิตภัณฑ์ และการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ยังไม่ได้มาตรฐาน ผู้ประกอบการบางส่วนยังขาดความรู้ความชำนาญเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิต ขาดความตระหนักในเรื่องการควบคุมคุณภาพให้ได้มาตรฐาน

สำหรับแหล่งผลิตนมสดและผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มในเขต 6 นั้นจากการสำรวจในปี พ.ศ. 2541 พบว่าในจังหวัดขอนแก่นมีจำนวนทั้งสิ้น 4 ราย มี

รายชื่อผลิตภัณฑ์ 18 ชนิด และในจังหวัดสกลนครมีจำนวน 3 ราย มีรายชื่อผลิตภัณฑ์ 8 ชนิด แต่การสำรวจคุณภาพผลิตภัณฑ์ทั้งหมดดังกล่าวยังไม่ได้ทำอย่างเป็นระบบที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

ดังนั้นศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ ขอนแก่น และสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดขอนแก่น ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการจัดทำแผนคุ้มครองผู้บริโภคและตรวจวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์นม จึงทำการวิจัยคุณภาพนมสดและผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มจากแหล่งผลิต และผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มจากโครงการนมสำหรับแจกเด็กนักเรียนในโรงเรียนประถมศึกษาจังหวัดขอนแก่น ร่วมกับกองอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ภายใต้ชื่อโครงการวิจัยเรื่องคุณภาพความปลอดภัยของนมดิบและนมพาสเจอร์ไรส์ โดยดำเนินการในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2541 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2543 เพื่อนำข้อมูลของผลิตภัณฑ์นมทั้งหมดมาจัดทำแผนคุ้มครองผู้บริโภค ใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนหน่วยงานในสังกัดสำนักงานการประถมศึกษาในเขต 6 เพื่อประกอบการพิจารณาจัดซื้อนมในโครงการนมโรงเรียน และเพื่อให้หน่วยงานสาธารณสุขในเขต 6 สามารถใช้ประโยชน์จากการศึกษานี้ ในการคุ้มครองผู้บริโภคในพื้นที่รับผิดชอบต่อไป

วัตถุประสงค์และวิธีการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการสำรวจคุณภาพทางด้านเคมีและจุลชีววิทยาของนมสดและผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่ม ซึ่งเก็บมาจากแหล่งผลิตในจังหวัดขอนแก่นจำนวน 4 แห่ง รายชื่อผลิตภัณฑ์ 18 ชนิด และในจังหวัดสกลนครจากแหล่งผลิตจำนวน 3 แห่ง รายชื่อผลิตภัณฑ์ 8 ชนิด รวมจำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 39 ตัวอย่าง

และสุ่มเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มจากโครงการนมโรงเรียน ในเขตอำเภอต่างๆ ของจังหวัดขอนแก่น จำนวน 5 อำเภอ ละ 1 แห่ง รวมตัวอย่างทั้งสิ้น 8 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างเป็นนมสด นมพาสเจอร์ไรส์ นมยูเอชที และผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยว นำมาตรวจคุณภาพทางเคมีและทางจุลชีววิทยาตามรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 1 เทียบกับเกณฑ์กำหนดคุณภาพมาตรฐานตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 26 (พ.ศ. 2522) ฉบับที่ 35 (พ.ศ. 2522) และ ฉบับที่ 46 (พ.ศ. 2523)

บันทึกผลการตรวจวิเคราะห์ลงในแบบบันทึกที่ประกอบด้วยรายละเอียดของตัวอย่าง ข้อมูลผลการตรวจวิเคราะห์ทางเคมีและทางจุลชีววิทยา จากนั้นนำผลการตรวจวิเคราะห์ทั้งหมดมาหาค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้คุณภาพมาตรฐาน และไม่ได้มาตรฐานตามข้อกำหนดในแต่ละรายการวิเคราะห์จำแนกตามผลิตภัณฑ์จากแหล่งผลิตในเขต 6 ในจังหวัดขอนแก่นและจากโครงการนมโรงเรียนดังรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

เครื่องมือ

เครื่อง high pressure liquid chromatograph (HPLC) รุ่น Water ของบริษัท สิทธิพรแอสโซซิเอตส์ จำกัด ประกอบด้วย pump system water 270780, refractive index detector water 2410, computer software millennium 32 ในการประมวลผลการตรวจปริมาณน้ำตาลในนมตามวิธีการของ AOAC (AOAC,1999)

ตารางที่ 1 รายการวิเคราะห์ วิธีวิเคราะห์ และมาตรฐานกำหนด

รายการวิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์/เครื่องมือ	มาตรฐานกำหนด				
		นมสด	นมพาสเจอร์ไรส์	นมยูเอชที	นมปรุงแต่งชูเอชที	นมเปรี้ยว
คุณภาพทางเคมี (ร้อยละของน้ำหนัก)						
1. ปริมาณไขมัน (ไม่น้อยกว่าร้อยละ)	Alkaline extraction method	3.2	-	3.2	-	-
2. ธาตุไนโตรเจนรวมไขมัน (ไม่น้อยกว่าร้อยละ)	ผลต่างจากค่าสารทั้งหมด ไขมัน และน้ำคาล	8.5	8.5	8.5	8.0	-
3. ปริมาณน้ำตาลซูโครส (ตามฉลากแจ้ง)	Luff-Schoorl method, HPLC method	-	-	-	-	-
คุณภาพทางจุลชีววิทยา						
1. จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด/มิลลิลิตร (ไม่เกิน)	Conventional plate count method	-	5×10^4	10	10	-
2. <i>E. coli</i> / 0.1 มิลลิลิตร	Fermentation technique	-	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
3. <i>S. aureus</i> / มิลลิลิตร	Enrichment method และ coagulase test	-	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
4. <i>Salmonellae</i> / 25 มิลลิลิตร	Enrichment method และ biochemical test	-	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
5. <i>C. perfringens</i> / มิลลิลิตร	Enrichment method และ Nagler's test	-	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
6. ยาปฏิชีวนะ	ชุดทดสอบของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-

ผลการตรวจวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์คุณภาพของนมสดและผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มจากแหล่งผลิตในเขต 6 ระหว่างปี พ.ศ. 2541 - 2543 โดยเก็บจากแหล่งผลิต 7 แห่ง รายชื่อผลิตภัณฑ์ 36 ชนิด จำนวน 39 ตัวอย่าง และผลิตภัณฑ์นมจากโครงการนมโรงเรียนจังหวัดขอนแก่น 5 อำเภอ ๆ ละ 1 แห่ง รวมรายชื่อผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด จำนวน 8 ตัวอย่าง พบว่าคุณภาพจากแหล่งผลิตไม่ได้คุณภาพมาตรฐานจำนวน 20 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 51.28 และผลิตภัณฑ์นมจากโครงการนมโรงเรียน

ในจังหวัดขอนแก่นไม่ได้คุณภาพมาตรฐานจำนวน 1 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 12.5 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2 และ 4 ส่วนเมื่อจำแนกสาเหตุการไม่ได้มาตรฐานของผลิตภัณฑ์จากแหล่งผลิตพบว่า สาเหตุเกิดจากคุณภาพทางด้านเคมี (ร้อยละ 38.46) เกิดจากคุณภาพทางด้านจุลชีววิทยา (ร้อยละ 23.08) ไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับผลิตภัณฑ์จากโครงการนมโรงเรียน สาเหตุจากทางด้านจุลชีววิทยา (ร้อยละ 12.5) ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3 และ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 คุณภาพของนมสด และผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มจากแหล่งผลิตในเขต 6 ระหว่างปี พ.ศ. 2541-2543

ชนิดของนมและผลิตภัณฑ์	จำนวนตัวอย่างทั้งหมด	ได้มาตรฐาน		ไม่ได้มาตรฐาน		สาเหตุที่ไม่ได้มาตรฐาน
		ตัวอย่าง	ร้อยละ	ตัวอย่าง	ร้อยละ	
นมสด	4	1	25	3	75	F*, M*, A*
นมพาสเจอร์ไรส์	31	14	45.16	17	54.84	F*, M*, A*, B*
นมปรุงแต่งยูเอชที	1	1	100	0	0	-
นมเปรี้ยว	3	3	100	0	0	-
รวมทั้งหมด	39	19	48.72	20	51.28	

หมายเหตุ F* = ปริมาณไขมันเป็นร้อยละของน้ำหนักต่ำกว่ามาตรฐาน

M* = ปริมาณกรดน้ำนมไม่รวมมันเนยต่ำกว่ามาตรฐาน

A* = พบสารตกค้างยาปฏิชีวนะ

B* = จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินมาตรฐาน

ตารางที่ 3 สาเหตุของการไม่ได้มาตรฐานของคุณภาพนมสดและผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่ม จากแหล่งผลิตในเขต 6 ระหว่างปี พ.ศ. 2541-2543

คุณภาพ	ไม่ได้มาตรฐาน		สาเหตุของการไม่ได้มาตรฐาน		
	จำนวนตัวอย่าง	ร้อยละ	รายการตรวจวิเคราะห์	จำนวนตัวอย่าง	ร้อยละ
ทางด้านเคมี	15	38.46	ปริมาณไขมัน	4	10.26
			กรดน้ำนมไม่รวมไขมัน	11	28.21
			ปริมาณน้ำตาล	0	0
ทางด้านจุลชีววิทยา	9	23.08	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด	5	12.82
			<i>E. coli</i>	1	2.56
			<i>S. aureus</i>	1	2.56
			<i>Salmonellae</i>	0	0
			<i>C. perfringen</i>	0	0
			ยาปฏิชีวนะ	4	10.26

ตารางที่ 4 คุณภาพของผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มจากโครงการนมโรงเรียนในจังหวัดขอนแก่น
ระหว่างปี พ.ศ. 2541-2543

ชนิดของนมและผลิตภัณฑ์	จำนวนตัวอย่างทั้งหมด	ได้มาตรฐาน		ไม่ได้มาตรฐาน		สาเหตุที่ไม่ได้มาตรฐาน
		ตัวอย่าง	ร้อยละ	ตัวอย่าง	ร้อยละ	
นมสดยูเอชที	3	3	100	0	0	-
นมปรุงแต่งยูเอชที	4	4	100	0	0	-
นมพาสเจอไรส์	1	0	0	1	100	B*, E*
รวมทั้งหมด	8	7	87.5	1	12.5	

หมายเหตุ B* = จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินมาตรฐาน
 E* = ตรวจพบเชื้อ *E. coli*

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบสาเหตุของการไม่ได้มาตรฐานของคุณภาพผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มจากโครงการนมโรงเรียน
ในจังหวัดขอนแก่น ระหว่างปี พ.ศ. 2541 - 2543

คุณภาพ	ไม่ได้มาตรฐาน		สาเหตุของการไม่ได้มาตรฐาน		
	จำนวนตัวอย่าง	ร้อยละ	รายการตรวจวิเคราะห์	จำนวนตัวอย่าง	ร้อยละ
ทางด้านเคมี	0	0	ปริมาณไขมัน ไขมันรวมไม่รวมไขมัน ปริมาณน้ำตาล	0 0 0	0 0 0
ทางด้านจุลชีววิทยา	1	12.5	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด <i>E. coli</i> <i>S. aureus</i> <i>Salmonellae</i> <i>C. perfringens</i> ยาปฏิชีวนะ	1 1 0 0 0 0	12.5 12.5 0 0 0 0

วิจารณ์

จากการตรวจวิเคราะห์จะเห็นว่าคุณภาพของนมสดและผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มจากแหล่งผลิตในเขต 6 ระหว่างปี พ.ศ. 2541 - 2543 ที่เก็บจากแหล่งผลิตจำนวน 7 แห่ง จำนวนทั้งสิ้น 36 ชนิดผลิตภัณฑ์มีจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 39 ตัวอย่าง พบว่าคุณภาพ

ไม่ได้มาตรฐานจำนวน 20 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 51.28 ซึ่งเป็นตัวเลขที่สูงเกินครึ่งของตัวอย่างทั้งหมด โดยไม่ได้คุณภาพทั้งทางเคมีและทางจุลชีววิทยา ตัวเลขที่
ไม่ได้มาตรฐานเคมีสูงถึงร้อยละ 38.46 สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจาก ไขมันรวมไม่รวมไขมันต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน อาจเนื่องมาจากการเติมน้ำลงในนมดิบที่ใช้

ในการผลิตนมและผลิตภัณฑ์นม ทำให้ราตุ้นนมและไขมันนมที่มีอยู่เจือจางลง นอกจากนี้ตัวเลขที่ไม่ได้คุณภาพทางจุชีววิทยาก็สูงถึงร้อยละ 23.08 จากตัวอย่างทั้งหมดซึ่งการตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงคุณภาพความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้ ค่าจำนวนจุลินทรีย์รวมสูงกว่าค่ามาตรฐาน แสดงว่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไม่ดีพอ มีจุลินทรีย์ปนเปื้อนในปริมาณสูง หรืออาจเกิดจากความร้อนที่ใช้มาเชื้อในกระบวนการผลิตอาจไม่สูงพอที่จะทำให้จุลินทรีย์ซึ่งมีอยู่ให้ลดน้อยลงได้ หรืออาจมีการปนเปื้อนหลังกระบวนการผลิต เป็นต้น ซึ่งจากสาเหตุดังกล่าวจะมีผลทำให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ลดน้อยลง การตรวจพบเชื้อ *E. coli* บ่งชี้ว่า สุขลักษณะการผลิตไม่ดี มีการปนเปื้อนของอุจจาระจากลำไส้ของสัตว์เลือดอุ่น และมีโอกาสสูงที่จะปนเปื้อนด้วยเชื้อโรคอาหารเป็นพิษ การตรวจพบ *S. aureus* แสดงว่า สุขลักษณะส่วนบุคคลที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตไม่ดี มีเชื้อปนเปื้อนจากมือ แผล หรือโอ จามรดอาหาร นอกจากนี้อาจปนเปื้อนจากนมดิบที่รีดจากวัวซึ่งเป็นโรคเต้านมอักเสบ (mastitis) ถ้านมดิบมีการปนเปื้อนของ *S. aureus* ในปริมาณสูง เชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวจะสร้างสารพิษที่ชื่อว่า enterotoxin สารพิษนี้สามารถทนความร้อนสูง อาจจะเป็นสาเหตุให้เกิดการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษได้ หากตรวจพบเชื้อ *Salmonellae* แสดงว่าสุขลักษณะในการผลิตไม่ดี มีการปนเปื้อนจากสัตว์ในขณะรีดนมวัวเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต เกิดการปนเปื้อนจากเครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิตหรือสุขลักษณะส่วนบุคคลไม่ดี มีการปนเปื้อนจากมือของพนักงานผลิตหรือผู้เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต และหากตรวจพบยาปฏิชีวนะ แสดงว่าเกษตรกรไม่ระมัดระวังในการใช้ยาปฏิชีวนะหรือเกษตรกรไม่งดใช้ยาก่อนการรีดนมตามระยะเวลาที่กำหนด ทำให้มีการตกค้างของยาและถูกขับออกมากับน้ำนม (เสาวนิตย์ บุญพัฒนศักดิ์ และคณะ, 2544 ; นิตยา วงศ์จันทร์สม และเจริญ พิชัย, 2544)

เมื่อพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มจากโครงการนมโรงเรียนในจังหวัดขอนแก่นพบว่าคุณภาพไม่ได้มาตรฐานจำนวน 1 ตัวอย่าง ตัวอย่างดังกล่าวเป็นนมพาสเจอร์ไรส์ คิดเป็นร้อยละ 12.5 ซึ่งเป็นตัวเลขที่ต่ำ แต่เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มส่วนใหญ่จะเป็นนมยูเอชที ซึ่งผ่านกรรมวิธีฆ่าเชื้อด้วยอุณหภูมิสูง ทำให้หมดปัญหาเรื่องการปนเปื้อนดังกล่าว ทั้งนี้เนื่องมาจากสภาพภูมิประเทศและระยะทางระหว่างแหล่งผลิตและโรงเรียนในเขตอำเภอต่างๆ ทำให้การขนส่งผลิตภัณฑ์นมชนิดอื่นเป็นไปได้ด้วยความลำบาก ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหานมเน่าเสียระหว่างการขนส่ง ทางโรงเรียนส่วนใหญ่จึงจัดซื้อผลิตภัณฑ์นมที่สามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลานาน เช่น นมยูเอชที เป็นต้น

ส่วนปัญหานมเน่าเสียระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่งนั้น อาจเนื่องมาจากความไม่เข้าใจในขั้นตอนการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่ม โดยเฉพาะนมพาสเจอร์ไรส์ซึ่งผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับนมสดตามธรรมชาติมากที่สุด แต่เก็บรักษาได้ไม่นาน เนื่องจากยังคงมีจุลินทรีย์บางส่วนเหลืออยู่ที่พร้อมจะเจริญเติบโตได้ ดังนั้นจึงต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส และระยะเวลาที่จำหน่ายต้องไม่เกิน 3 วัน ส่วนนมสเตอริไลส์นั้นผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยอุณหภูมิค่อนข้างสูง ทำให้สามารถทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ในน้ำนมทุกชนิด นมชนิดนี้สามารถเก็บรักษาได้นานกว่า 3 เดือนที่อุณหภูมิห้องปกติ สำหรับนมยูเอชทีซึ่งผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยอุณหภูมิสูงสุดที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ทุกชนิดจะมีรสชาติและคุณสมบัติใกล้เคียงกับนมสดมากที่สุด เนื่องจากผ่านความร้อนในระยะเวลาอันสั้น สารอาหารที่สำคัญจึงสูญเสียไปน้อยมาก (วรรณฯ ตั้งเจริญชัย และวิบูลย์ศักดิ์ กาวิละ, 2531) และสามารถเก็บรักษาได้นานกว่า 3 เดือน ที่อุณหภูมิห้องปกติ

สาเหตุที่ดื่มนมแล้วท้องเสีย นั้น อาจเนื่องมาจากการขาดเอนไซม์แลคเทส มักพบในผู้ใหญ่ชาวเอเชียที่ไม่ได้ดื่มนมต่อเนื่องมาตั้งแต่เด็ก แลคเทส

เป็นเอนไซม์ที่มีอยู่ในลำไส้เล็ก ทำหน้าที่ย่อยน้ำตาลแล็กโทสที่มีอยู่ในนมวัวให้แตกสลายเป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลกาแลกโทส คนที่ขาดเอนไซม์ดังกล่าวเมื่อดื่มนมที่มีน้ำตาลแล็กโทสเข้าไป จะมีปัญหาเรื่องการย่อย มีนมส่วนที่เป็นของเหลวตกค้างในร่างกาย ทำให้เกิดแก๊สในท้องและอุจจาระร่วงตามมา (วรรณ ตังเจริญชัย และวิบูลย์ศักดิ์ กาวีละ, 2531) ก่อให้เกิดปัญหาในการดื่มนมได้ ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการดื่มนมเปรี้ยวและผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวแทนนมสด เพราะน้ำตาลแล็กโทสในผลิตภัณฑ์นมทั้งสองชนิดถูกย่อยเกือบหมดโดยจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้น ทำให้ปัญหาการดื่มนมแล้วท้องเสียหมดไป

สรุป

จากข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณภาพของนมสดและผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มจากแหล่งผลิตในเขต 6 และผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มจากโครงการนมโรงเรียนในจังหวัดขอนแก่น จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐานเกินครึ่งหนึ่งของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด โดยไม่ได้คุณภาพทั้งทางด้านเคมีและทางจุลชีววิทยา สาเหตุหลักเกิดจากคุณภาพของนมสดที่ใช้เป็นวัตถุดิบ และการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงควรหามาตรการที่เหมาะสมเพื่อให้ผู้เกี่ยวข้องมาร่วมมือกันแก้ไข โดยต้องมีการประสานความร่วมมือกันกับเจ้าหน้าที่ภาครัฐในการให้ความรู้ทางวิชาการ คำแนะนำที่ถูกต้องในกระบวนการผลิต การเก็บรักษา และการขนส่ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพมาตรฐาน และผู้ผลิตต้องมีมโนธรรมสำนึกต่อสังคมส่วนรวมในการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพมาตรฐานซึ่งเกิดจากการควบคุมคุณภาพในทุกขั้นตอนของการผลิต ทั้งนี้เพื่อพิทักษ์ผลประโยชน์และความปลอดภัยของผู้บริโภคเป็นสำคัญ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเลขาธิการหญิงลักษณ์ ลือประเสริฐ ผู้อำนวยการศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ขอนแก่น ที่ให้คำปรึกษาเสนอแนะแนวทางในการศึกษาวิจัย และให้การสนับสนุนเป็นอย่างดี คุณน้อย ทองสกุลพานิชย์ หัวหน้ากลุ่มงานอาหาร ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูล ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานอาหาร ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ขอนแก่น ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข. (2522ก). พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 26 (พ.ศ. 2522) เรื่องกำหนดนมโคในอาหารควบคุมเฉพาะและกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน และวิธีการผลิต. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 96 ตอนที่ 163 ลงวันที่ 21 กันยายน 2522.
- กระทรวงสาธารณสุข. (2522ข). พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 35 (พ.ศ. 2522) เรื่องกำหนดนมปรุงแต่ง (Flavoured Milk) เป็นอาหารควบคุมเฉพาะ และกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานและวิธีการผลิต. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 96 ตอนที่ 163 ลงวันที่ 21 กันยายน 2522.
- กระทรวงสาธารณสุข. (2523). พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2523. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 46 (พ.ศ. 2523) เรื่อง นมเปรี้ยว. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 97 ตอนที่ 29 ลงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2523.
- กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. (2542). เอกสารการประชุมเชิงปฏิบัติการเรื่องการควบคุมคุณภาพนมและผลิตภัณฑ์นม. 21-22 ธันวาคม 2542. กรุงเทพฯ.

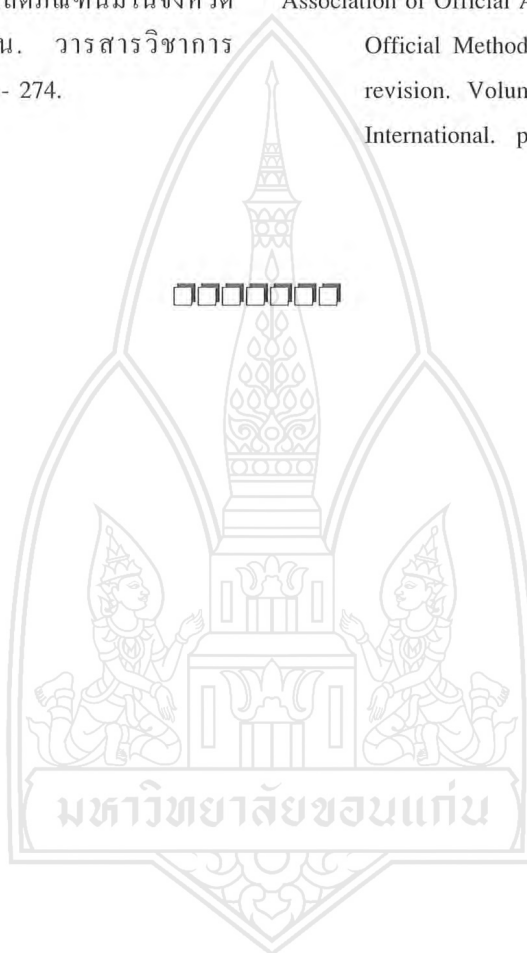
จงจิตร อังคทะวานิช, อูมาพร สุทัศน์วรุตติ และ จุฬารัตน์ รุ่งพิสุทธิพงษ์. (2534). คู่มือการ เลือกรับประทานและอาหารทางการแพทย์ใน เด็กและผู้ป่วย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ Text and Journal Corporation. หน้า 64 - 65.

นิตยา วงศ์จันทร์สม และเจริญ พิชัย. (2544). คุณภาพน้ำนมและผลิตภัณฑ์นมในจังหวัด เชียงใหม่และลำพูน. วารสารวิชาการ สาธารณสุข. 2:271 - 274.

วรรณา ตั้งเจริญชัยและวิบูลย์ศักดิ์ กาวิละ. (2531). นมและผลิตภัณฑ์นม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. หน้า 55 - 59.

เสาวนิตย์ บุญพัฒนศักดิ์, สมศรี คำรังสวัสด์ และ ทิพวัลย์ จิตตะวิบูล. (2544). คุณภาพนม พาสเจอร์ไรส์ ภาคเหนือตอนล่าง ปี 2541-2544. วารสารสาธารณสุขพิษณุโลก. 7:14 - 21.

Association of Official Analytical Chemists. (1999). Official Methods of Analysis. 16th ed. 5th revision. Volume II. Maryland : AOAC International. p.13.



สมบัติของฟิล์มพอลิเอทิลีนที่ผสมสารเติมแต่งซีโอไลต์

สุภารัตน์ รักขลธิ¹, กังสดาล บัวบุตร¹, ณัฐนิชา ศรีเจียรนัย¹ และกัญญาวีร์ สุวรรณชัย¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) ที่ผสมซีโอไลต์ เพื่อเตรียมแผ่นฟิล์มสำหรับงานบรรจุภัณฑ์ โดยเตรียมตัวอย่างจากเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่และบดเป็นเม็ดเล็กด้วยเครื่องบดพลาสติก นำเม็ดพอลิเมอร์ที่ผสมได้ไปศึกษาสมบัติการไหล และอีกส่วนนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มเพื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล การกระจายตัวของซีโอไลต์ และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ พบว่าการเพิ่มปริมาณซีโอไลต์ ทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงกระทำระหว่างพื้นผิวสัมผัสของซีโอไลต์กับพอลิเอทิลีน สมบัติส่วนใหญ่ของทั้ง LDPE และ LLDPE เช่น ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงฉีกขาด และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก มีค่าลดลงเมื่อปริมาณซีโอไลต์เพิ่มขึ้น ส่วนการกระจายตัวของซีโอไลต์เป็นไปได้ยากขึ้น แต่อัตราการซึมผ่านของไอน้ำบนแผ่นฟิล์มมีมากขึ้นซึ่งเกิดจากปริมาณรูพรุนที่เพิ่มขึ้น

Abstract

The objective of this research was to investigate the properties of low density polyethylene (LDPE) and linear low density polyethylene (LLDPE) containing zeolite for film preparation used in packaging application. All samples were compounded using a twin-screw extruder and then ground using a plastic grinding machine. A portion of each sample was employed in a rheological study and the rest was shaped into a thin film for determination of mechanical properties, zeolite dispersion, and water vapor permeation rate characteristics. It was found that an increase in zeolite concentration caused an increase in shear viscosity of the compounds due to interfacial interaction between zeolite and polyethylene. Most properties of both LDPE and LLDPE including tensile strength, percent elongation at break, tear strength, and percent crystallinity decreased when zeolite content increased. The higher the zeolite concentration, the poorer its dispersion in the compounds. However, the water vapor permeation rate became greater possibly because of higher porosity.

¹ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

บทนำ

ปัจจุบันวัสดุพอลิเมอร์เข้ามามีบทบาทกับชีวิตประจำวันของมนุษย์ในหลายๆ ด้าน เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ ก่อสร้าง เครื่องใช้สอยทั้งใน และนอกครัวเรือน เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ได้เล็งเห็นความสำคัญของพอลิเมอร์ในงานด้านบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากพอลิเมอร์เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา มีความใสหนึ่งในวัสดุพอลิเมอร์ที่นิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์คือพอลิเอทิลีน เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่มีความทนทานต่อสารเคมีต่างๆ ไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ ที่อุณหภูมิห้อง สามารถนำไปขึ้นรูปได้ง่าย และมีให้เลือกใช้หลายเกรดตามความต้องการ พอลิเอทิลีนถูกนำมาผลิตเป็นฟิล์มที่มีความหนาแตกต่างกันเพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีความหลากหลาย มีทั้งฟิล์มยืดฟิล์มหด และถุงพลาสติกบรรจุอาหารและผลิตผลสด เป็นต้น (Soroka, 1995) และในงานวิจัยนี้เน้นการศึกษาสมบัติของฟิล์มพอลิเอทิลีนเพื่อนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารสด เช่น ผักและผลไม้ ทั้งนี้เพราะบรรจุภัณฑ์มีบทบาทสำคัญในการช่วยรักษาคุณภาพอาหารซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยทางสภาพแวดล้อม วัตถุประสงค์หลักที่สำคัญคือ การยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลสดและชะลอการเสื่อมคุณภาพ ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีผลิตผลทางการเกษตรมากมาย ในการส่งออกผลิตผลสดดังกล่าวจึงควรคำนึงถึงคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ด้วย วิธีการหนึ่งที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ได้แก่ การหุ้มผลิตผลด้วยฟิล์มพลาสติกหรือการบรรจุลงในถุงพลาสติกแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ถ้าหากอุณหภูมิการเก็บรักษาไม่คงที่และสม่ำเสมอผลิตผลจะสูญเสียน้ำออกจนกระทั่งอากาศรอบๆ อิมตัวด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิสูง เมื่ออุณหภูมิต่ำลงไอน้ำจะควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะอยู่ตามบรรจุภัณฑ์เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอีกอากาศก็จะรับไอน้ำจากผลิตผลได้อีกเรื่อยๆ ทำให้ผลิตผลสูญเสียน้ำในปริมาณมากสภาพดังกล่าวมีความชื้นสัมพัทธ์สูงจึงทำให้ผลิตผลเน่าเสียได้ง่าย (Shewfelt and Bruckner, 2000)

งานวิจัยนี้พยายามปรับปรุงสมบัติของพอลิเอทิลีนที่ใช้เป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ โดยการผสมพอลิเอทิลีนกับสารเติมแต่งซีโอไลต์ ซึ่งเป็นสารที่มีความพรุน จึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก ชนิดที่ใช้เรียกว่าซีโอไลต์ โซเดียมเอ (zeolite Na A) มีอัตราส่วนระหว่างซิลิกอนกับอะลูมิเนียมเป็น 1 โดยมีสูตรทางเคมีคือ $\text{Na}_{12}[(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12} \cdot 27\text{H}_2\text{O}]$ มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนขนาด 4.2 Å (ตะวัน สุขน้อย, 2544) ดังนั้น zeolite Na A จึงมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้บรรจุภัณฑ์ที่เตรียมได้จากฟิล์มที่มี zeolite Na A ผสมอยู่ น่าจะสามารถควบคุมปริมาณน้ำที่มีอยู่ในบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ ส่งผลให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ได้ นอกจากนี้ zeolite Na A ยังมีราคาถูกกว่าพอลิเอทิลีน จึงสามารถลดต้นทุนการผลิตได้อีกด้วย

วิธีดำเนินการ

พอลิเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 เกรดคือพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) เกรด LD1905F/FA (MFI เท่ากับ 5.0, บริษัท TPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (linear low density polyethylene, LLDPE) เกรด L2020F (MFI เท่ากับ 2.0, บริษัท TPE) ส่วนสารเติมแต่งเป็นซีโอไลต์ ชนิดโซเดียมเอ (zeolite Na A) มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 3.9 ไมโครเมตร (บริษัท PQ Chemicals (ประเทศไทย) จำกัด) ปริมาณที่ใช้ตั้งแต่ 0-30 ส่วนใน 100 ส่วนของเรซินหรือพอลิเมอร์ (part per hundred of resin, phr) ซึ่งประมาณ 0-23% โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีน

พอลิเมอร์ตัวอย่างถูกเตรียมขึ้นโดยผ่านเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ (twin-screw extruder, รุ่น PL-200, Intro Engineering) ใช้อุณหภูมิจากส่วนป้อนสารจนถึงหัวดายเป็น 160, 170, 180 และ 190 °ซ. ความเร็วของการหมุนเกลียวหนอนเป็น 35 รอบต่อนาที พอลิเมอร์ที่ผสมแล้วจะถูกนำไปบดเป็นเม็ดเล็กด้วยเครื่องบดพลาสติก (plastic grinding

machine) แบ่งตัวอย่างที่ได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปศึกษาสมบัติการไหลด้วย capillary rheometer ที่อุณหภูมิ 190 °ซ. ตาม ASTM D3835 ส่วนที่สองนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นเรียบขนาด 15X15 ซม. โดยใช้เครื่องอัดระบบไฮดรอลิก (hydraulic pressing machine) อัดร้อนเป็นเวลา 5 นาทีที่อุณหภูมิ 195 °ซ. สำหรับตัวอย่าง LDPE และ 200 °ซ. สำหรับตัวอย่าง LLDPE และอัดเย็นอีก 5 นาที นำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (tensile strength) และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (percent elongation at break) ใช้ ASTM D638 ชิ้นงานมีความยาวเกจ (gauge length) เท่ากับ 20 มิลลิเมตร และความแข็งแรงฉีกขาด (tear strength) ใช้ ASTM D1004 โดยใช้ universal testing machine (รุ่น LR30K, LLOYD Instrument) โดยความเร็วในการทดสอบเป็น 100

มิลลิเมตร/นาที ศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยใช้ differential scanning calorimeter (DSC, รุ่น DSC-50, Shimadzu) ได้แก่ อุณหภูมิในการหลอมเหลวผลึก (Tm) และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (percent crystallinity) โดยให้ความร้อนในอัตรา 20 °ซ./นาที ศึกษาการกระจายตัวของซีโอไลต์ในแผ่นฟิล์มตัวอย่างโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM, รุ่น JSM-5410, JEOL) เตรียมตัวอย่างโดยใช้เทคนิค cryogenic cracking นำพื้นผิวที่แตกหักมาวิเคราะห์ และศึกษาสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำ ใช้ ASTM E96 ที่อุณหภูมิ 38 °ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ในการวิเคราะห์ 90% โดยวิธี transfer time method โดยใช้ water vapor permeability analyzer (รุ่น Lyssy, L80-4000J) และพอลิเมอร์ตัวอย่างที่เตรียมทั้งหมดมีองค์ประกอบดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรพอลิเมอร์ตัวอย่างที่ศึกษา

ตัวอย่างสูตรตัวอย่าง	ปริมาณซีโอไลต์ (phr)	พอลิเอทิลีน+ปริมาณ ซีโอไลต์ (%) โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีน
LD หรือ LLD	0	LDPE หรือ LLDPE + ซีโอไลต์ 0%
LDZ05 หรือ LLDZ05	5	LDPE หรือ LLDPE + ซีโอไลต์ 4.8%
LDZ10 หรือ LLDZ10	10	LDPE หรือ LLDPE + ซีโอไลต์ 9.1%
LDZ15 หรือ LLDZ15	15	LDPE หรือ LLDPE + ซีโอไลต์ 13.0%
LDZ20 หรือ LLDZ20	20	LDPE หรือ LLDPE + ซีโอไลต์ 16.7%
LDZ25 หรือ LLDZ25	25	LDPE หรือ LLDPE + ซีโอไลต์ 20.0%
LDZ30 หรือ LLDZ30	30	LDPE หรือ LLDPE + ซีโอไลต์ 23.1%

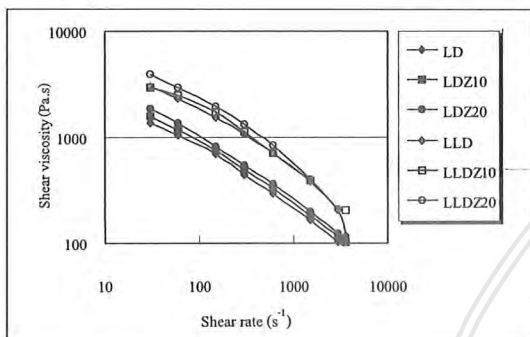
ผลการวิเคราะห์และวิจารณ์

สมบัติการไหล

ทั้ง LDPE และ LLDPE ที่ผสมและไม่ผสม ซีโอไลต์ มีพฤติกรรมการไหลเป็น pseudoplastic (รูปที่ 1) คือเมื่อให้อัตราความเครียดเพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง LDPE และ LLDPE จะเห็นว่า LLDPE มีความหนืดสูงกว่า LDPE เนื่องจาก LLDPE มีค่า MFI น้อยกว่า แสดงว่ามีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า นั่นหมายถึงการที่มี

เกี่ยวพันกันของสายโซ่ (chain entanglement) ที่มากกว่าจึงทำให้ความหนืดสูงกว่า (Birley et al., 1992) และเมื่อมีปริมาณซีโอไลต์เพิ่มขึ้นความหนืดก็จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากซีโอไลต์มีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็ง ซึ่งมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ไม่ดี เท่ากับสายโซ่พอลิเมอร์ การมีแรงกระทำระหว่างพื้นผิวสัมผัส (interfacial interaction) ของซีโอไลต์กับพอลิเมอร์ ทำให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ลดลง เป็นผลให้ความหนืดของ

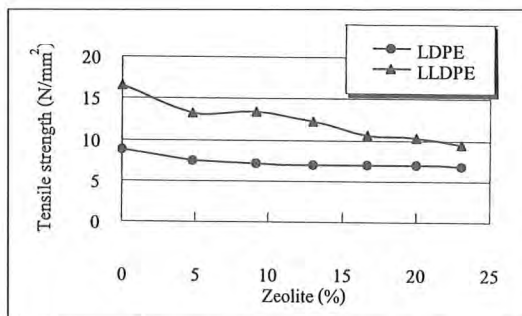
ระบบเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยที่ผ่านมาในระบบที่มีการใช้สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็ง (Maiti and Jeyakumar, 1990; Jumba, 1998)



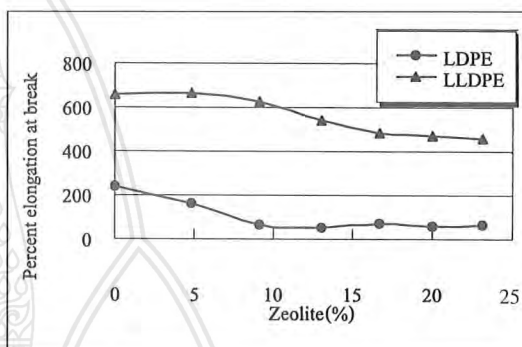
รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเฉือน (Pa.s) กับอัตราความเครียดเฉือน (s^{-1})

สมบัติเชิงกล

จากรูปที่ 2 พบว่าความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนลดลงเมื่อปริมาณซีโอไลต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากซีโอไลต์เป็นสารอนินทรีย์ แต่ทั้ง LDPE และ LLDPE เป็นสารอินทรีย์ ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลไม่แข็งแรง และเมื่อให้แรงดึงจะเกิดช่องว่างระหว่างโมเลกุลได้ง่าย และเนื่องจาก LLDPE มีค่า MFI ต่ำกว่า LDPE เพราะฉะนั้นน้ำหนักโมเลกุลของ LLDPE จึงสูงกว่า LDPE ทำให้รับแรงได้ดีกว่า ความแข็งแรงดึงจึงมากกว่า LDPE ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดแสดงในรูปที่ 3 พบว่าเมื่อซีโอไลต์เพิ่มขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง เพราะซีโอไลต์เป็นอนุภาคของแข็งซึ่งทำให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ลดลง เหมือนกับว่าซีโอไลต์เป็นจุดบกพร่องในแผ่นฟิล์ม ดังเช่นที่พบในพอลิเมอร์ที่ผสมอนุภาคของแข็งชนิดอื่น (Maiti and Mahapatro, 1991)

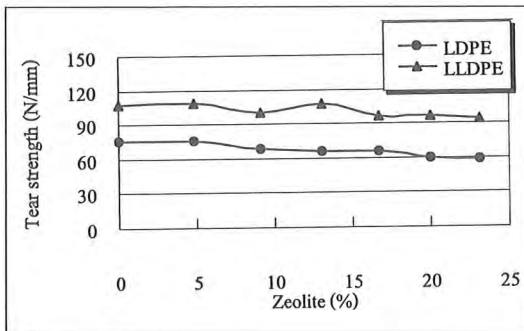


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง (N/mm^2) กับปริมาณซีโอไลต์



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดกับปริมาณซีโอไลต์

สมบัติในเรื่องความแข็งแรงลักษณะ (รูปที่ 4) มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าความแข็งแรงดึงคือสมบัติของ LLDPE มีค่ามากกว่าของ LDPE เนื่องจาก LLDPE มีค่า MFI ต่ำกว่า LDPE เพราะฉะนั้นน้ำหนักโมเลกุลของ LLDPE จึงสูงกว่า LDPE ทำให้รับแรงได้ดีกว่า ส่วนการผสมซีโอไลต์ทำให้ความแข็งแรงลักษณะของพอลิเมอร์ลดลงเมื่อใช้ในปริมาณมากกว่า 5% การใช้ซีโอไลต์ในปริมาณมากขึ้นทำให้ซีโอไลต์มีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเอง (รูปที่ 7) และทำให้เกิดจุดบกพร่องในชิ้นงานได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงฉีกขาด (N/mm) กับปริมาณซีโอไลต์

สมบัติทางความร้อน

ผลการทดลองในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ค่าอุณหภูมิในการหลอมผลึก (T_m) ของ LDPE และ

ตารางที่ 2 สมบัติทางความร้อน

สูตรแผ่นฟิล์มตัวอย่าง	อุณหภูมิในการหลอมผลึก ($^{\circ}\text{C}$)	พลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมผลึก (J/g)	เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก
LD	114	94	32
LDZ10	113	83	26
LDZ20	112	71	28
LDZ30	112	62	26
LLD	126	103	35
LLDZ10	126	88	33
LLDZ20	125	84	33
LLDZ30	124	74	32

หมายเหตุ เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกคิดเทียบที่ปริมาณพอลิเอทิลีนเท่ากัน

การกระจายตัวของซีโอไลต์

รูปที่ 5 แสดงโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์ ซึ่งเห็นได้ชัดว่าภายในมีลักษณะเป็นรูพรุนทำให้สามารถดูดซับสารหรือยอมให้สารที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนผ่านไปได้ (ตะวัน สุขน้อย, 2544) ส่วนรูปที่ 6 แสดงลักษณะวิทยาของซีโอไลต์พบว่ามีความสามารถในการอยู่

LLDPE มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อปริมาณของซีโอไลต์เพิ่มขึ้น เพราะการมีอนุภาคของซีโอไลต์กระจายทั่วแผ่นฟิล์มอาจทำให้เกิดจุดเริ่มต้นในการเกิดผลึกมาก ทำให้ผลึกพอลิเอทิลีนที่ได้มีขนาดเล็กแต่มีจำนวนมากและมีความสมบูรณ์ลดลง ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก ซึ่งหาได้จากพลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมผลึก (ΔH_f) พบว่า เมื่อปริมาณซีโอไลต์เพิ่มขึ้นความเป็นผลึกจะลดลง เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า T_m ของ LDPE และ LLDPE พบว่า T_m ของ LLDPE มีค่าสูงกว่า LDPE เพราะ LLDPE มีโครงสร้างของสายโซ่ที่เป็นกิ่งสั้น เกิดการจัดเรียงผลึกได้ดีกว่า LDPE และค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกมากกว่า

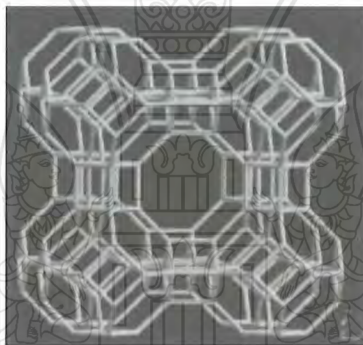
รวมกันเป็นกลุ่มก้อน (agglomerate) มากกว่าอยู่เป็นอนุภาคเดี่ยวๆ (single particle) เนื่องจากแรงดึงดูดของอนุภาคเป็นแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตย์ของสารที่มีขั้วมีรูปร่างลักษณะเป็นทรงลูกบาศก์ มีการจัดเรียงกันเป็นชั้นๆ ในแต่ละอนุภาค ดังนั้นในขั้นตอนการผสมซีโอไลต์ที่มีขั้วกับพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วจะต้องใช้แรง

กระทำที่สูงกว่าแรงดึงดูดของอนุภาคซีโอโลด เพื่อใช้ในการทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคซีโอโลดในพอลิเมอร์ได้ดี

ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มที่แตกหักแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งใช้ฟิล์ม LDPE ที่มีปริมาณซีโอโลดตั้งแต่ 0-25 phr (ประมาณ 0-20% โดยน้ำหนัก) ในตัวอย่างที่มีปริมาณซีโอโลดต่ำๆ จะเห็นอนุภาคของซีโอโลดกระจายตัวได้ดี แต่เมื่อปริมาณซีโอโลดสูงขึ้นอนุภาคเริ่มที่จะอยู่เป็นกลุ่มมากกว่าอยู่เดี่ยวๆ ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติความเป็นขั้วของสารทั้งสองชนิดซึ่งแตกต่างกันคือ ซีโอโลดเป็นสารที่มีขั้วมีแนวโน้มที่จะจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ทำให้การกระจายใน LDPE (หรือ LLDPE) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วเป็นไปได้ยาก ดังนั้นเมื่อมีปริมาณซีโอโลดเพิ่มขึ้นในตัวอย่าง แนวโน้มการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนก็มากขึ้นด้วย

จากรูปที่ 7 (d) เมื่อมีปริมาณซีโอโลดมากขึ้นพบว่าจำนวนรูพรุนในแผ่นฟิล์มมีปริมาณมากขึ้นด้วย ดังนั้นความสามารถในการดูดซับน้ำก็จะสูงขึ้น เนื่องจากความเป็นขั้วของอนุภาคซีโอโลดและน้ำ อีกทั้งขนาดโมเลกุลของน้ำ (หรือไออน้ำ) มีขนาดเล็กกว่าขนาดรูพรุนของซีโอโลด จึงทำให้น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปภายในรูพรุนของซีโอโลดได้ แสดงว่าแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่ผสมซีโอโลดมากขึ้นควรมีปริมาณน้ำผ่านฟิล์มได้มากขึ้น

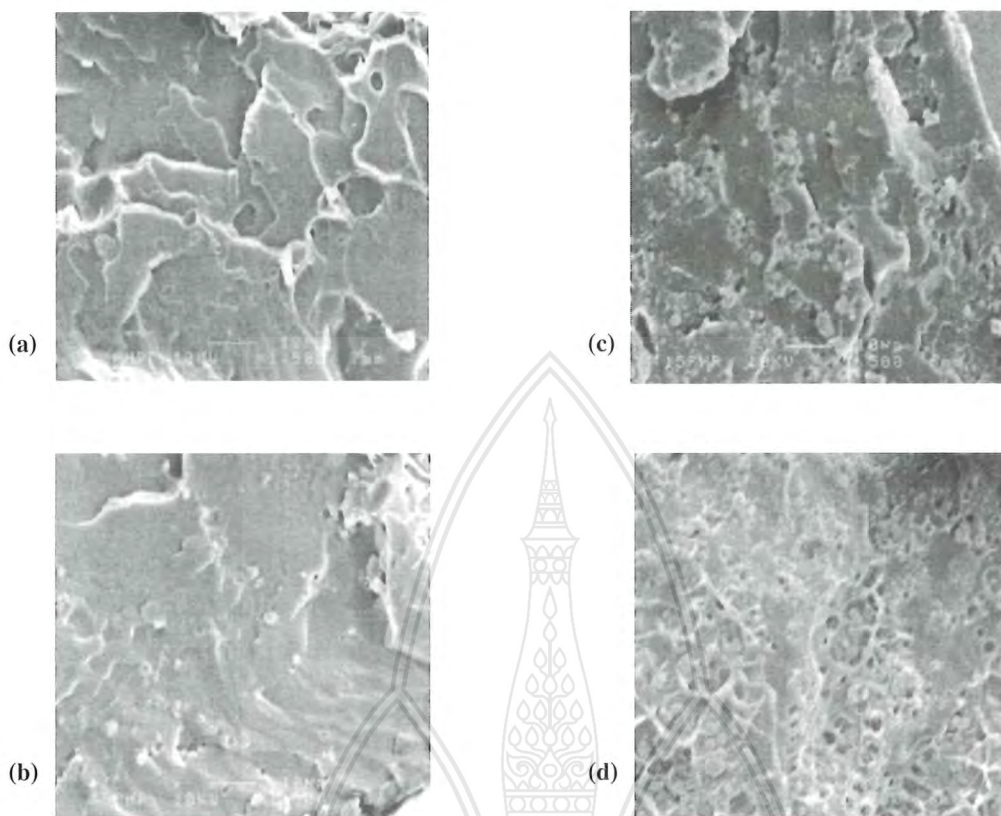
แนวโน้มของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง LLDPE น่าจะให้ผลการทดลองไปในแนวเดียวกันกับชิ้นงานตัวอย่าง LDPE เนื่องจากปริมาณของซีโอโลดที่เติมลงไป และสภาวะที่ใช้ในการเตรียมแผ่นฟิล์มตัวอย่างในสูตรต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ทั้ง LDPE และ LLDPE ยังเป็นพอลิเมอร์เมทริกซ์ของพอลิเอทิลีนเหมือนกัน



รูปที่ 5 โครงร่างผลึกของซีโอโลดโซเดียมเอ (Reed and Breck, 1956)



รูปที่ 6 สัณฐานวิทยาของอนุภาคซีโอโลดโซเดียมเอที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 7 ลักษณะรอยแตกที่ผิวของแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่กำลังขยาย 1,500 เท่า (a) LD, (b) LDZ05, (c) LDZ15 และ (d) LDZ25

สมบัติการซึมผ่านของไอน้ำ

จากตารางที่ 3 พบว่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำบนแผ่นฟิล์มมีมากขึ้นเมื่อใช้ปริมาณซีโอไลต์มากขึ้น ทั้งนี้การซึมผ่านไอน้ำที่มากขึ้นเกิดขึ้นจากปริมาณรูพรุนที่มากขึ้น หรือเกิดในบริเวณผิวสัมผัสระหว่างพอลิเมอร์กับซีโอไลต์ อย่างไรก็ตามจะเห็นได้จากผลการทดลองว่า ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่วัดได้แต่ละครั้งมีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยที่ได้ ทั้งนี้เนื่องจากตัวแปรต่างๆ เช่น ความหนาของแผ่นฟิล์ม

ความสม่ำเสมอของความหนา และความสมบูรณ์ของแผ่นฟิล์ม (นั่นคือการไม่มีฟองอากาศบนแผ่นฟิล์ม) มีผลต่อค่าที่วัดได้ทั้งสิ้น จึงควรปรับปรุงหรือเปลี่ยนเทคนิคการเตรียมแผ่นฟิล์มทดสอบ จากการใช้เครื่องอัดระบบไฮดรอลิกเป็นเครื่องอัดรีดชนิดแผ่น (sheet extruder) หรือเครื่องเป่าขึ้นรูปฟิล์ม (blown film extruder) เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีความสมบูรณ์มากขึ้น และผลการทดลองที่ชัดเจนมากขึ้นด้วย

ตารางที่ 3 สมบัติการซึมผ่านของไอน้ำ

สูตรแผ่นฟิล์ม ตัวอย่าง	แผ่นที่	ความหนา (มิลลิเมตร)	การซึมผ่านไอน้ำ (กรัม/ตารางเมตร.วัน)	ค่าเฉลี่ยการซึมผ่านไอน้ำ (กรัม/ตารางเมตร.วัน)
LD	1	0.0692	3.78	3.33
	2	0.0680	4.00	
	3	0.0536	4.35	
	4	0.0868	2.52	
	5	0.1060	2.01	
LDZ10	1	0.0754	5.95	4.09
	2	0.0836	4.04	
	3	0.0686	6.81	
	4	0.1730	1.82	
	5	0.1530	1.84	
LDZ20	1	0.1426	7.89	5.28
	2	0.1564	2.97	
	3	0.1292	4.58	
	4	0.1060	4.23	
	5	0.0820	6.75	

บทสรุป

พอลิเอทิลีนทุกสูตรในงานวิจัยมีพฤติกรรม การไหลเป็น pseudoplastic และการมีปริมาณซีโอโลต์ เพิ่มขึ้นทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงกระทำระหว่างพื้นผิวสัมผัสของซีโอโลต์ กับพอลิเมอร์

ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงดึงขาดของทั้ง LDPE และ LLDPE มีค่าลดลงเมื่อปริมาณซีโอโลต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างภูมิภาคของพอลิเอทิลีนที่ไม่แข็งแรง ทั้งนี้อาจเกิดจากปฏิสัมพันธ์ของการเพิ่มปริมาณซีโอโลต์ ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกลดลง และมีการกระจายตัวของซีโอโลต์ที่ยากขึ้น และการใช้ซีโอโลต์ ทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำบนแผ่นฟิล์มมีมากขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นจากปริมาณรูพรุนที่มากขึ้น แต่ปริมาณของ ซีโอโลต์ที่เหมาะสมยังต้องมีการศึกษาต่อไป

ข้อเสนอแนะ

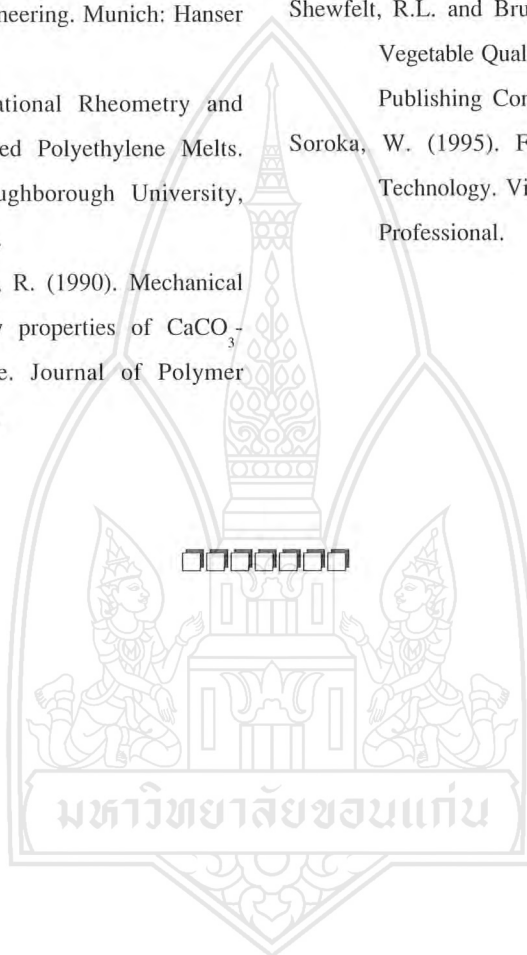
1. ควรปรับปรุงเทคนิคการเตรียมแผ่นฟิล์ม เพื่อให้ลักษณะแผ่นฟิล์มตัวอย่างมีความใกล้เคียงกับ สภาพการนำไปใช้งานมากที่สุด และนำไปศึกษา สมบัติอื่นเพิ่มเติม เช่น สมบัติการซึมผ่านของก๊าซ ออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
2. เลือกใช้สารเติมแต่งชนิดอื่นๆ ที่สามารถ ช่วยปรับปรุงการกระจายตัวของซีโอโลต์ในแผ่นฟิล์ม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทไทยพอลิเอทิลีน (มหาชน) จำกัด (TPE) และบริษัท PQ Chemicals (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีในงานวิจัย และขอขอบคุณศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์ม

เอกสารอ้างอิง

- ตะวัน สุขน้อย. (2544). เอกสารประกอบการเรียน วิชาซีโพลต์และสารมีรูพรุนที่เกี่ยวข้อง ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Birley, A.W., Haworth, B. and Batchelor, J. (1992). *Physics of Plastics: Processing, Properties, and Materials Engineering*. Munich: Hanser Publishers.
- Jumpa, S. (1998). *Elongational Rheometry and Processing of Filled Polyethylene Melts*. Ph.D. Thesis. Loughborough University, Leicestershire, UK.
- Maiti, S.N. and Jeyakumar, R. (1990). Mechanical and melt rheology properties of CaCO_3 -filled polyethylene. *Journal of Polymer Materials*. 7:29-34.
- Maiti, S.N. and Mahapatro, P.K. (1991). Mechanical properties of i-PP/ CaCO_3 composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 42:3101-3110.
- Reed, T.D. and Breck, D.W. 1956. "LTA." [Online]. Available: <http://www.iza-sc.etyz.ch/IZA-SC/Atlas/data/LTA.html>.
- Shewfelt, R.L. and Bruckner, B. (2000). *Fruit and Vegetable Quality*. Pennsylvania: Technomic Publishing Company, Inc.
- Soroka, W. (1995). *Fundamentals of Packaging Technology*. Virginia: Institute of Packaging Professional.



การเตรียมสารหล่อลื่นสังเคราะห์ประเภทเอสเทอร์ จากการดลเตียริกและเดคานอล และการตรวจสอบคุณสมบัติ

วันฉัตร ชื่นชม¹, อรณภา คุ่มกระโทก¹ และอารีญา ทับใบ¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมสารหล่อลื่นประเภทเอสเทอร์ได้แก่ เดคซิลสเตียเรต โดยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างกรดสเตียริกกับเดคานอลในตัวทำละลายโทลูอีน โดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาคือ ที่อุณหภูมิ 110 °ซ. เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และใช้ปริมาณเดคานอลที่มากเกินไป 30% ได้ผลผลิตร้อยละเท่ากับ 92% เมื่อนำเดคซิลสเตียเรตที่สังเคราะห์ได้ไปผสมกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากปิโตรเลียมสองเกรด ซึ่งได้แก่เกรด 150SN และ 500SN ตามลำดับ พบว่าเมื่อผสมเดคซิลสเตียเรตกับน้ำมัน 150SN ในอัตราส่วน 2.75 กรัมต่อน้ำมัน 100 มิลลิลิตรไม่ทำให้น้ำมันผสมมีค่าดัชนีความหนืดเปลี่ยนแปลง แต่ทำให้จุดไหลเทเพิ่มขึ้นจาก -12 °ซ. เป็น -8 °ซ. แต่เมื่อผสมกับน้ำมัน 500SN ในอัตราส่วน 2.61 กรัมต่อน้ำมัน 100 มิลลิลิตรทำให้น้ำมันผสมมีค่าดัชนีความหนืดเพิ่มขึ้น 3.12% ในขณะที่ไม่ทำให้จุดไหลเทเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามทั้งสองกรณีทำให้ความหนืดของน้ำมันผสมลดลง จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเดคซิลสเตียเรตที่สังเคราะห์ได้ไปใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงคุณภาพในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากปิโตรเลียม

Abstract

The aim of this research was to prepare an ester lubricant, decylstearate, by esterification reaction of stearic acid with decanol in toluene using concentrated sulfuric acid as a catalyst. Reaction at 110 °C for 3 hours with 30% excess of decanol was found to be the optimum condition. The yield of ester after purification was 92%. The synthetic decylstearate was then blended with 2 grades of lubricating oil with a petroleum base, 150SN and 500SN. The results showed that blending 2.75 g of decylstearate in 100 ml of 150SN base oil did not affect the viscosity index of mixed oil, but its pour point was increased from -12 °C to -8 °C. In contrast, with 500SN base oil, blending 2.61 g of decylstearate in 100 ml of oil increased the viscosity index by 3.12% while its pour point remained unchanged. However, the viscosity of mixed oils was reduced in both cases. It was concluded that decylstearate had the potential to be used as an additive for lubricating oil with a petroleum base.

¹ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

บทนำ

น้ำมันหล่อลื่นส่วนใหญ่ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้น อาจกล่าวได้ว่ามีส่วนประกอบเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานซึ่งเป็นส่วนประกอบหลัก และส่วนของสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งมีอยู่ในปริมาณน้อย น้ำมันหล่อลื่น พื้นฐานนั้นได้มาจากปิโตรเลียมที่นับวันยิ่งจะหมดไป นอกจากนี้เทคโนโลยีของเครื่องจักรกลที่พัฒนาสูงขึ้นทุกขณะต้องการน้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติเฉพาะและพิเศษขึ้น เช่น ไม่ติดไฟ เสถียรต่อความร้อน ด้านทานต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นต้น จากการที่ความต้องการใช้น้ำมันหล่อลื่นทั้งในด้านของปริมาณและในด้านของคุณภาพมีเพิ่มมากขึ้นทำให้น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์เข้ามามีบทบาทมากขึ้น ข้อดีของน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์คือ สามารถที่จะปรับปรุงคุณภาพตามลักษณะและสภาพของการใช้งานที่ต้องการได้ง่าย น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ประเภทหนึ่งที่ได้รับการนิยมนำอย่างแพร่หลาย ได้แก่ น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ประเภทเอสเทอร์ ซึ่งมีลักษณะเฉพาะคือ มีจุดไหลเท (pour point) ต่ำ มีค่าดัชนีความหนืด (viscosity index) สูง กล่าวคือมีการเปลี่ยนแปลงของความหนืดน้อยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ มีการระเหย (volatility) ต่ำ มีความเสถียรต่อความร้อน (thermal stability) สูง และสามารถเข้ากันได้กับสารเติมแต่ง (additives) ประเภทต่าง ๆ ได้มากมายหลายชนิด (ประเสริฐเทียนนิมิตร และคณะ, 2532)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์เอสเทอร์จากกรดสเตียริกและเตทานอล และศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้งานในลักษณะของผลิตภัณฑ์หล่อลื่น กรดสเตียริกเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นหนึ่งในองค์ประกอบหลักที่มีอยู่ในน้ำมันธรรมชาติทั้งจากพืชและสัตว์ ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ การศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดสเตียริก จึงเป็นแนวทางเบื้องต้นในการศึกษาถึงการทำผลิตภัณฑ์หล่อลื่นสังเคราะห์จากน้ำมันธรรมชาติเพื่อใช้ทดแทนผลิตภัณฑ์หล่อลื่นจากปิโตรเลียมซึ่งมีราคาแพงต่อไป

ในปี ค.ศ.1992 Short ได้ศึกษาวิธีการสังเคราะห์สารหล่อลื่นที่มีองค์ประกอบประเภทเดียวกับเอสเทอร์พอลิเอสเตอร์ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันพบว่าผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้มีสมบัติความลื่นที่ดีกว่าพอลิโกลคอล มีความเสถียรครอบคลุมช่วงอุณหภูมิกว้าง และมีความทนทานที่ดี

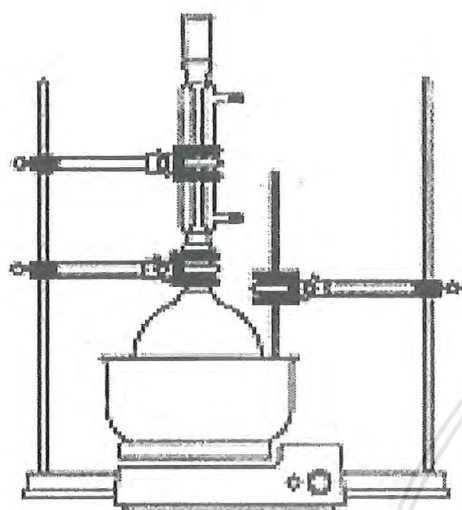
ในปี ค.ศ.1999 Pierik ได้ศึกษาวิธีการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์หล่อลื่นด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยตรงจากพอลิเอสเตอร์และกรดคาร์บอกซิลิกพบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีส่วนช่วยในการยับยั้งการกัดกร่อน

ในปี พ.ศ. 2540 โชคชัย สุวรรณวุฒิวัฒน์ สังเคราะห์สารหล่อลื่นประเภทเอสเทอร์พอลิเอสเตอร์จากกรดโมโนเบสิก เช่น กรดสเตทาโนอิกกรดออกทาโนอิกกับพอลิไฮดริคแอลกอฮอล์ เช่น นีโอเพนทิลโกลคอล ไตรเมทิลเอทิลโพรเพน โดยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันที่อุณหภูมิ 130 °ซ. เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และมีกรดซัลฟริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าเอสเทอร์พอลิเอสเตอร์ที่สังเคราะห์ได้จากไตรเมทิลเอทิลโพรเพนมีสมบัติที่ดีและมีศักยภาพที่จะใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องทำความเย็นได้

การวิจัยและการดำเนินงาน

ขั้นตอนการสังเคราะห์และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์

ทำการสังเคราะห์โดยใช้กรดสเตียริก 35.58 กรัม (0.125 โมล) ใส่ในขวดก้นกลมขนาด 500 มิลลิลิตร ซึ่งต่ออยู่กับอุปกรณ์อื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 เติมน้ำมัน 50 มิลลิลิตร จากนั้นใช้หลอดหยดเติมสารละลายกรดซัลฟริกเข้มข้น 5 หยด (ประมาณ 1 โมล% เทียบกับกรดสเตียริก) และเติมเตทานอล 36 มิลลิลิตร (0.187 โมล, 50% excess) ทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิ 110 °ซ. เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง หลังจากที่ยุติปฏิกิริยาแล้วทิ้งของผสมให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นใส่ของผสมในกรวยแยก ล้างของผสมด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 30 มิลลิลิตร แยกชั้นน้ำออก



ทำซ้ำจนชั้นน้ำหมดความเป็นกรด จากนั้นนำชั้นอินทรีย์ที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่อง rotary evaporator ได้ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ที่มีลักษณะเป็นไข ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนสภาวะในการสังเคราะห์ตามที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

รูปที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1 สภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์เอทิลอะซิเตต

สภาวะที่	อุณหภูมิ (°ซ.)	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณโทลูอีน (มล.)	ปริมาณเดคานอล (% excess)	% ผลิตภัณฑ์ (% yield)
1	110	4	100	50	87.22
2	110	3	100	50	78.88
3	110	3	50	50	92.37
4	110	3	50	30	92.57

ขั้นตอนการทำเอสเทอร์ให้บริสุทธิ์

นำไฮดรอกซีที่ได้ไปทำการกลั่นลดความดันที่อุณหภูมิ 150-160°ซ. ความดัน 20 มิลลิเมตรปรอท เพื่อกำจัดเดคานอลที่มากเกินไปออกไป

ขั้นตอนการพิสูจน์เอกลักษณ์ของเอสเทอร์

พิสูจน์โดยใช้เทคนิค Fourier transform nuclear magnetic resonance spectroscopy (FTNMR) และ Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) และทดสอบหาจุดหลอมเหลว รวมทั้งทดสอบเสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิค thermogravimetric analysis (TGA)

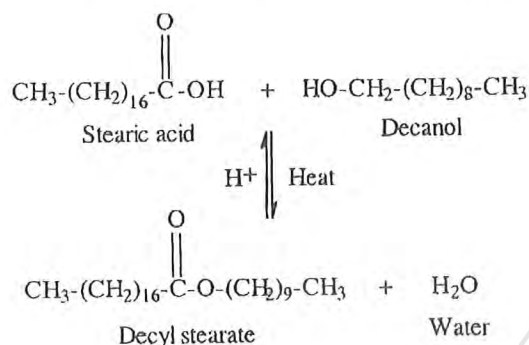
ขั้นตอนการเตรียมสารหล่อลื่น

นำเอทิลอะซิเตตที่ได้มาละลายในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเกรด 150SN และ 500SN ตามลำดับ โดยใช้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปริมาณ 100 มิลลิลิตร ละลายเอทิลอะซิเตตจนอิ่มตัวที่อุณหภูมิห้อง บันทึกน้ำหนักเป็นกรัมต่อ 100 มิลลิลิตรของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

ขั้นตอนการตรวจสอบคุณสมบัติของสารหล่อลื่น

นำสารหล่อลื่นที่ได้ไปทดสอบหาความหนืดที่อุณหภูมิ 40°ซ. และ 100°ซ. (ASTM D 445-97) ดัชนีความหนืด (viscosity index, ASTM D 2270M-98) และจุดไหลเท (pour point, ASTM D 97M-96A) เทียบกับค่าที่ได้กับค่าของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานทั้งสองเกรด

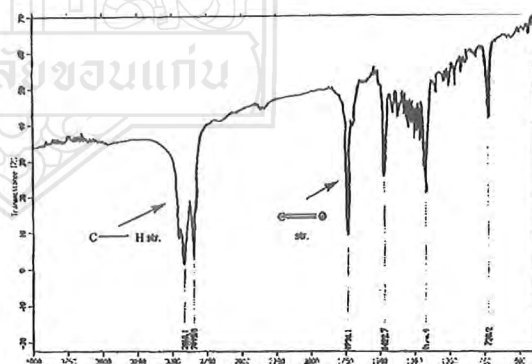
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง



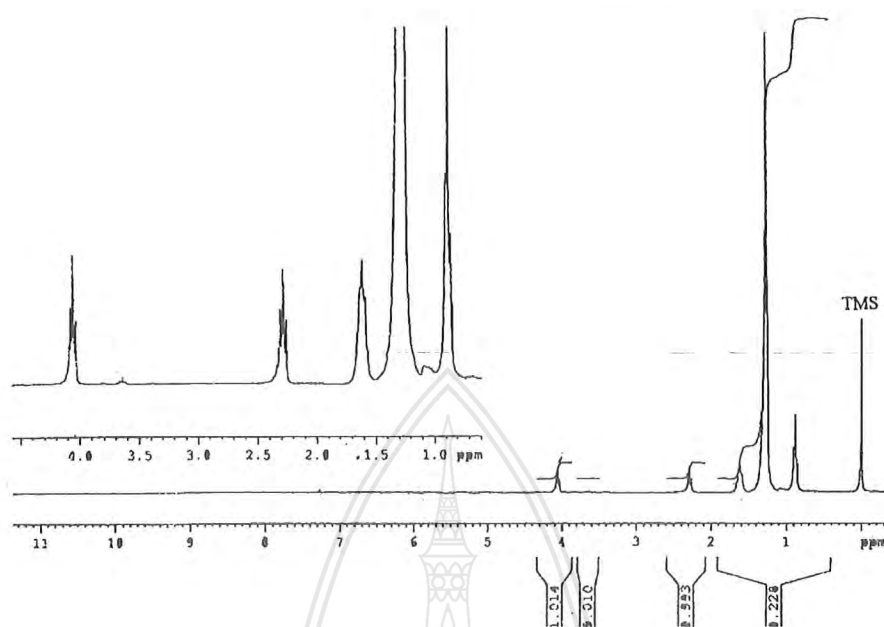
รูปที่ 2 สมการในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดสเตียริกกับเดคานอล

รูปที่ 2 แสดงสมการในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดสเตียริกกับเดคานอล พบว่าการทำปฏิกิริยาที่ 4 สภาวะตามตารางที่ 1 นั้นทำให้ปฏิกิริยาระหว่างกรดสเตียริกกับเดคานอลเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ทั้งสิ้น ทั้งนี้ยืนยันด้วยเทคนิค NMR สเปกโทรสโกปี โดยที่ ^{13}C -NMR สเปกตรัมของสารผสมในชั้นอินทรีย์ที่ได้จากการสังเคราะห์ก่อนที่จะทำให้บริสุทธิ์ด้วยการกลั่นลดความดันนั้น ไม่ปรากฏสัญญาณคาร์บอนจากหมู่คาร์บอนิลของกรดสเตียริกที่ตำแหน่งประมาณ 180 ppm แสดงให้เห็นว่าไม่มีการดสเตียริกหลงเหลืออยู่จากปฏิกิริยาเนื่องจากทุกสภาวะให้ผลไม่แตกต่างกัน ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือสภาวะที่ใช้เวลาน้อยที่สุดในการสังเคราะห์ ใช้ปริมาณ ของเดคานอลน้อยที่สุด และให้ผลิตภัณฑ์ที่ง่ายต่อการทำให้บริสุทธิ์มากที่สุด ซึ่งได้แก่ที่อุณหภูมิ 110 °ซ. เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้ปริมาณเดคานอลที่มากเกินไป 30% หลังจากนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาผ่าน ขั้นตอนการกลั่นลดความดันพบว่าได้เอสเทอร์ที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยได้ผลิตภัณฑ์เท่ากับ 92.57 %

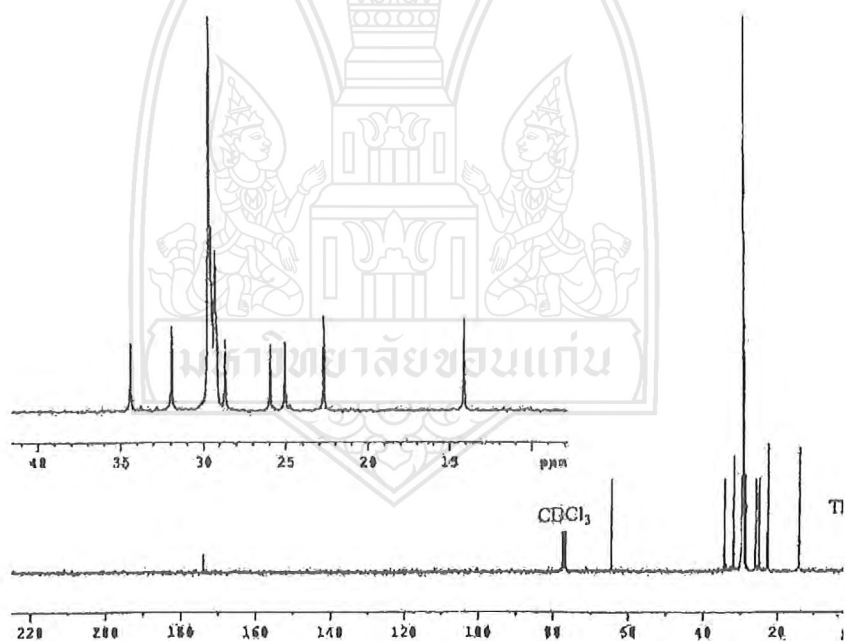
ในขั้นตอนการตรวจสอบเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์นั้น ใน FTIR สเปกตรัมไม่พบสัญญาณที่แสดงการ มีหมู่คาร์บอนิลในกรดสเตียริก (รูปที่ 3) ส่วนใน NMR สเปกตรัมก็แสดงผลที่สอดคล้องกับโครงสร้างของเอสเทอร์ โดยที่ ^1H -NMR สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ (รูปที่ 4) มีความคล้ายคลึงกับสเปกตรัมของกรดสเตียริก แต่มีจำนวนและความกว้างของพีคที่มากกว่าเนื่องจากมีจำนวนคาร์บอนที่มากขึ้น และปรากฏสัญญาณ triplet ที่เกิดจากไฮโดรเจนของหมู่ $[-(\text{CO})-\text{O}-\text{CH}_2-]$ ซึ่งมาจากเดคซิลสเตียเรตที่ตำแหน่งประมาณ 4.07 ppm สัญญาณดังกล่าวนี้ไม่ปรากฏอยู่ในสเปกตรัมของกรดสเตียริก รวมทั้งยังปรากฏสัญญาณ triplet ที่ตำแหน่งประมาณ 2.30 ppm อันเนื่องมาจากไฮโดรเจนของหมู่ $[-\text{CH}_2-(\text{CO})-\text{O}-]$ นอกจากนี้ค่าอินทิเกรชันที่คำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคก็สอดคล้องกับจำนวนคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นด้วย และใน ^{13}C -NMR สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้แสดงพีคของหมู่ $\text{C}=\text{O}$ และ $\text{C}-\text{O}$ ของเอสเทอร์ที่ประมาณ 174 ppm และ 64 ppm ตามลำดับ (รูปที่ 5) เมื่อนำเดคซิลสเตียเรตไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้น พบว่ามีช่วงจุดหลอมเหลวเท่ากับ 40-41 °ซ. และมีความเสถียรทางความร้อนอยู่ที่ 245 °ซ. (รูปที่ 6)



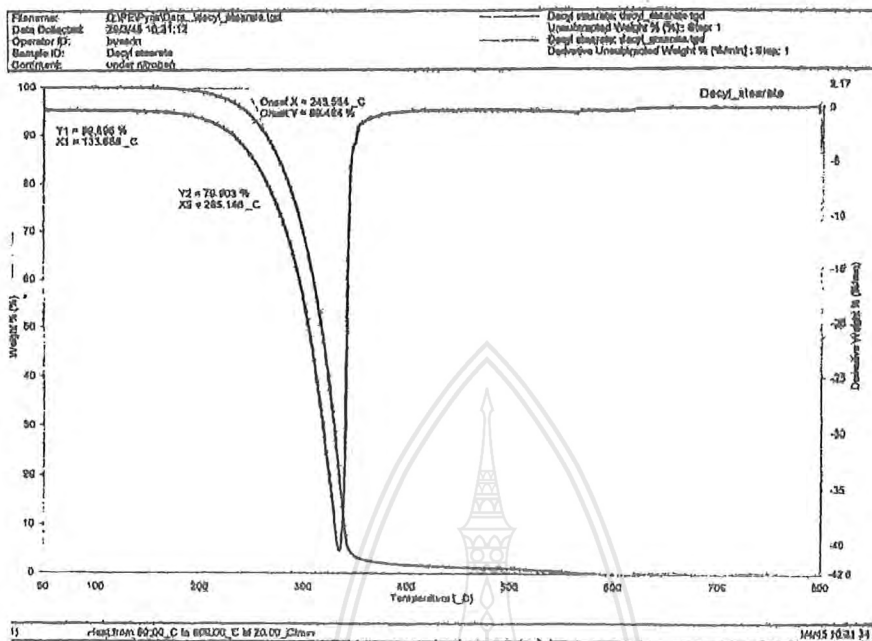
รูปที่ 3 FTIR สเปกตรัมของเดคซิลสเตียเรต



รูปที่ 4 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเดซิลสเตียเรต



รูปที่ 5 $^{13}\text{C-NMR}$ สเปกตรัมของเดซิลสเตียเรต



รูปที่ 6 TGA ไคอะแกรมของเดซิลสเตียเรต

ในขั้นตอนการผสมไขเคซิลสเตียเรตที่ได้ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเกรด 150SN และ 500SN ตามปริมาณที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 แล้วนำน้ำมันหล่อลื่นที่ผสมแล้วไปทดสอบคุณสมบัติเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเดิม พบว่าปริมาณไขเคซิลสเตียเรตที่เติมลงไปน้ำมัน 150SN ทำให้ความหนืดของน้ำมันผสมลดลงจากเดิม โดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำ (40 °ซ.) จะเห็นได้ชัดเจนกว่าที่อุณหภูมิสูง (100 °ซ.) แต่ในขณะเดียวกันทำให้จุดไหลเทเพิ่มขึ้น ดังผลที่แสดงในตารางที่ 3 เป็นที่ทราบกันดีว่าโครงสร้างพันธะของเอสเทอร์มีความยืดหยุ่นสูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ทำให้เอสเทอร์มีความหนืดต่ำ และมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Randles, 1999) การเติมไขเคซิลสเตียเรตซึ่งหลอมเหลวที่ 40 °ซ. ในน้ำมันหล่อลื่นจึงเป็นการลดความหนืดเฉลี่ยของน้ำมันไปด้วย และผลของการเติมเอสเทอร์ต่อการลดลงของความหนืดชัดเจนกว่าที่อุณหภูมิต่ำเนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำน้ำมันมีความหนืดสูง การเติมเอสเทอร์ที่มีความหนืดต่ำกว่าจึง

ทำให้เห็นการลดลงอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามเนื่องจากไขเอสเทอร์เป็นของแข็ง เมื่ออุณหภูมิต่ำลงจึงสามารถตกผลึกได้และทำให้จุดไหลเทโดยรวมสูงขึ้น นอกจากนั้นจากการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าการเติมไขเคซิลสเตียเรตในน้ำมัน 150SN ไม่ส่งผลต่อค่าดัชนีความหนืดแต่อย่างใด ที่เป็นเช่นนี้อาจมีสาเหตุมาจากปริมาณของไขเอสเทอร์ที่ใช้เติมไม่มากพอที่จะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ ส่วนผลที่เกิดจากการเติมไขเคซิลสเตียเรตในน้ำมัน 500SN ดังแสดงในตารางที่ 4 นั้นมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงความหนืดไปในทิศทางเดียวกันกับเมื่อใช้น้ำมัน 150SN คือทำให้ความหนืดลดลง โดยที่อุณหภูมิต่ำจะเห็นผลชัดเจนกว่ามากเนื่องจากน้ำมัน 500SN มีความหนืดสูงกว่า 150SN นอกจากนั้นยังช่วยให้ดัชนีความหนืดของน้ำมันผสมเพิ่มขึ้น แต่ไม่ทำให้จุดไหลเทเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลที่น้ำมัน 500SN มีความหนืดสูงกว่า 150SN นั้นเอง

ตารางที่ 2 ปริมาณของไฮโดรเจนที่ใส่ผสม ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

ชนิดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน	ปริมาณแคชชีลสเดียวเรตที่ผสมได้ (กรัมต่อ 100 มิลลิตรของน้ำมัน)
150SN	2.75
500SN	2.61

ตารางที่ 3 สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเกรด 150SN และของน้ำมันผสม

	น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน เกรด 150SN	น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน เกรด 150SN ผสม แคชชีลสเดียวเรต
จุดไหลเท (°ซ.)	-12	-8
ความหนืดที่ 40°ซ. (cSt)	30.31	28.49
ความหนืดที่ 100°ซ. (cSt)	5.23	5.04
ดัชนีความหนืด	103	103

ตารางที่ 4 สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเกรด 500SN และของน้ำมันผสม

	น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน เกรด 500SN	น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน เกรด 500SN ผสม 1,2-โพรเพนปาล์มมิเตด
จุดไหลเท (°ซ.)	-6	-6
ความหนืดที่ 40°ซ. (cSt)	96.33	88.64
ความหนืดที่ 100°ซ. (cSt)	10.33	10.43
ดัชนีความหนืด	96	99

สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ คือแคชชีลสเดียวเรต เมื่อใช้สภาวะในการสังเคราะห์เป็น 110 °ซ. นาน 3 ชั่วโมง และใช้เตาอบในปริมาณที่มากเกินไป 30% ได้ผลิตภัณฑ์หลังจากทำให้บริสุทธิ์เป็น

92.57% และเมื่อนำมาผสมในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเกรด 150SN และ 500SN พบว่ามีแนวโน้มที่ทำให้ความหนืดของน้ำมันผสมลดลงจากเดิม และน้ำมัน 150SN ทำให้จุดไหลเทเพิ่มขึ้นในขณะที่ดัชนีความหนืดมีค่าคงที่แต่น้ำมัน 500SN ทำให้ค่าดัชนีความหนืด

เพิ่มขึ้น 3.12% ในขณะที่จุดไหลเทไม่เปลี่ยนแปลง อาจจะกล่าวได้ว่าผลที่ได้ขึ้นอยู่กับความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานแต่ละชนิด และขึ้นอยู่กับธรรมชาติและปริมาณของไอเอสเทอร์ที่เติมลงไป

ในงานวิจัยต่อเนื่องจากงานวิจัยนี้ หากสามารถสังเคราะห์เอสเทอร์ที่มีสถานะเป็นของเหลวได้ อาจจะสามารถจัดปัญหาการเพิ่มขึ้นของจุดไหลเทได้ ในขณะที่สามารถทำให้ดัชนีความหนืดมีค่าสูงขึ้น ซึ่งอาจจะนำไปสู่การสังเคราะห์สารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่นที่ช่วยเพิ่มช่วงอุณหภูมิในการทำงานของน้ำมันหล่อลื่น และเพิ่มความสามารถในการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำได้ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังแสดงถึงความเป็นไปได้ในการผลิตสารหล่อลื่นจากน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและเทคโนโลยี การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ที่เอื้อเฟื้อตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ประเสริฐ เทียนนิมิตร, ขวัญชัย ลินทิพย์สมบูรณ์ และปานเพชร จินนทร. (2532). เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด มหาชน.

โชคชัย สุวรรณวุฒิวัฒน์. (2540). การสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานประเภทเอสเทอร์พอลิออล. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและพอลิเมอร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ASTM D97M-96A. (1999). Standard test method for pour point of petroleum products. Annual Book of ASTM Standards. 05.01:86-93.

ASTM D445-97. (1999). Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids (the calculation of dynamic viscosity). Annual Book of ASTM Standards. 05.01:184-192.

ASTM D2270M-98. (1999). Standard practice for calculating viscosity index from kinematic viscosity at 40 and 100° C. Annual Book of ASTM Standards. 05.01:757-762.

Pierik, R.W. (1999). Lubricant. European Patent Application 0458584A1.

Randles, S.J. (1999). Esters. In: Rudnick, L.R. and Shubkin, R.L. (eds.). Synthetic Lubricants and High-Performance Functional Fluids. New York: Marcel Dekker. p. 63-101.

Short, G.D. (1992). Lubricant Composition for Fluorinated Refrigerant. European Patent Application 0498152A1.



ข้อแนะนำในการเขียนบทความลงวารสาร วิทยาศาสตร์ มข.

ประเภทของเรื่องที่จะตีพิมพ์

1. รายงานผลการวิจัยและค้นคว้าหรือการสำรวจที่ยังไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารหรือหนังสืออื่นมาก่อน
2. บทความปริทัศน์ ได้แก่งานเขียนที่รวบรวมหรือเรียบเรียงจากเอกสารหรือหนังสือต่าง ๆ เพื่อเผยแพร่และฟื้นฟูงานด้านวิชาการระดับต่าง ๆ
3. บทความแสดงข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในด้านวิชาการ เรื่องแปล ข่าววิชาการ ย่อความจากงานวิจัยหรือหนังสือใหม่ที่น่าสนใจ

รูปแบบของการเขียนและเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับ ต้องเป็นตัวพิมพ์ปกติ มีช่วงห่างระหว่างบรรทัดตามมาตรฐาน พิมพ์ลงในกระดาษขาว A 4 (โรเนียวสัน) โดยใช้กระดาษหน้าเดียว ความยาวไม่เกิน 10 หน้า ส่งต้นฉบับ 2 ชุด หรือต้นฉบับ 1 ชุด และ Diskette ของบทความนั้น
2. ต้นฉบับ จะถูกพิจารณาโดยกองบรรณาธิการ และจะตอบรับการได้รับบทความโดยไม่ส่งต้นฉบับคืน ผู้เขียนควรจะต้องสำเนาเก็บไว้เป็นหลักฐานของตัวเอง 1 ฉบับ
3. ต้นฉบับ จะต้องมีความถูกต้องทั้งในด้านเนื้อหา และการใช้ภาษา รวมทั้งมีความสมบูรณ์ในรูปแบบพร้อมที่จะนำลงตีพิมพ์ได้
4. ชื่อเรื่อง ให้ใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ไม่ยาวเกินไป และหลีกเลี่ยงการใช้คำย่อโดยไม่จำเป็น
5. ชื่อผู้เขียน เขียนชื่อภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษพร้อมทั้งบอกสถานที่ทำงานให้ชัดเจน
6. เนื้อเรื่อง ใช้ได้ทั้งภาษาไทยล้วนและภาษาอังกฤษล้วน ถ้าใช้ภาษาไทย ภาษาอังกฤษที่ใช้ปนกับภาษาไทยนั้นให้พยายามแปลเป็นไทยเท่าที่จะทำได้ และให้เขียนคำเดิมกำกับในวงเล็บ การทับศัพท์ภาษาอังกฤษตลอดทั้งการเขียนตัวสะกด การันต์ ในภาษาไทยให้ใช้ตามแบบราชบัณฑิตยสถาน
7. ในกรณีของบทความวิจัย ต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และแบ่งเนื้อหาของบทความเป็นบทนำ วิธีดำเนินงาน ผลการวิเคราะห์ บทสรุปและวิจารณ์
8. เชิงอรรถ (footnote) ใช้เฉพาะที่จำเป็นเพื่อขยายหรือให้รายละเอียดเพิ่มเติมแก่ใจความเฉพาะตอนในบทความ
9. ตารางและภาพประกอบ คำบรรยายประกอบตารางหรือภาพประกอบควรจะสั้นและชัดเจน ถ้าเป็นภาพถ่ายให้ใช้ภาพขาว-ดำ ขนาดโปสการ์ด ภาพเขียนลายเส้นควรเขียนด้วยหมึกดำ ภาพที่เขียนต้องชัดเจนและมีขนาดที่เหมาะสม
10. เอกสารอ้างอิง หรือบรรณานุกรม แนะนำให้เขียนตามแบบที่ทางวารสารกำหนด

ส่งต้นฉบับมาที่

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

อนันตนาการสำหรับผู้เขียน

เรื่องที่ได้รับการตีพิมพ์ ผู้เขียนจะได้รับวารสารฉบับนั้น 2 เล่ม และสำเนาพิมพ์อีก 15 ชุด

การเขียนเอกสารอ้างอิงในวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

เอกสารอ้างอิง (Reference) หมายถึง เอกสารหรือส่วนหนึ่งของเอกสารที่อ้างอิงถึงหรือแปลมาโดยตรง การเขียนเอกสารอ้างอิงในเนื้อหานี้ให้ใช้ระบบชื่อและปี เช่น Williams (2001) รายงานว่า... หรือ... (Williams, 2001) การเขียนเอกสารอ้างอิงในตอนท้ายบทความนั้น ให้ใส่เฉพาะเล่มที่มีการอ้างอิงไว้ในเนื้อหาเท่านั้น

บรรณานุกรม (Bibliography) หมายถึง เอกสารที่ใช้อ้างอิงในลักษณะที่สรุปเป็นหลักการหรือทฤษฎีโดยมิได้อ้างอิงหรือแปลมาโดยตรง

การเขียนเอกสารอ้างอิง หรือบรรณานุกรม มีแนวทางการเขียนดังนี้

1. หนังสือ

ก. ภาษาไทย

ชื่อตัว นามสกุลของผู้แต่ง. (เลขปี พ.ศ.) ชื่อหนังสือ. (เล่มที่). (พิมพ์ครั้งที่). เมืองที่พิมพ์ : โรงพิมพ์ หรือสำนักพิมพ์. เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้ายที่อ้างอิง.

ข. ภาษาอังกฤษ

ชื่อสกุล, อักษรย่อชื่อต้น, อักษรย่อชื่อรอง. (เลขปี ค.ศ.). ชื่อหนังสือ. (เล่มที่). (พิมพ์ครั้งที่). เมืองที่พิมพ์ : โรงพิมพ์หรือสำนักพิมพ์. เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้ายที่อ้างอิง.

2. เอกสารราชการ

ชื่อหน่วยราชการ. (เลขปี พ.ศ. หรือ ค.ศ.). ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือ. เมืองที่พิมพ์ : โรงพิมพ์ หรือสำนักพิมพ์.

3. วารสาร

ก. ภาษาไทย

ชื่อตัว นามสกุลของผู้แต่ง. (เลขปี พ.ศ.). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร. เล่มที่ (ฉบับที่) : เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้าย.

ข. ภาษาอังกฤษ

ชื่อสกุล, อักษรย่อชื่อต้น, อักษรย่อชื่อรอง. (เลขปี ค.ศ.). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร. เล่มที่ (ฉบับที่) : เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้าย

หมายเหตุ

- กรณีที่เป็นการอ้างอิงจากแหล่งอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กำหนดข้างต้น เช่น จุลสาร หนังสือพิมพ์ ฯลฯ ให้ยึดหลักการเขียนตามแบบข้างต้นโดยอนุโลม
- กรณีที่ผู้เขียน 2 คน ให้เขียนตามแบบของผู้เขียนคนแรก แต่ให้เติมคำว่า “และ” หรือ “and” หน้าชื่อสุดท้ายในกรณีของภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามลำดับ
- กรณีที่ผู้เขียนมากกว่า 2 คนขึ้นไป ให้ใส่เฉพาะผู้แต่งชื่อแรกและใส่คำว่า “และคณะ” หรือ “et al.” ในกรณีของภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามลำดับ (เฉพาะในเนื้อหาเท่านั้น)
- ถ้าเอกสารที่ถูกอ้างอิงอยู่ในระหว่างตีพิมพ์ ให้บอกรายละเอียดมากที่สุดและใช้คำว่า “ระหว่างตีพิมพ์” หรือ “in press” ในกรณีของภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามลำดับ โดยวงเล็บต่อท้ายเอกสารอ้างอิงนั้น

