

JRCTAF

ISSN 0028-0011

Vol. 18, No. 2

July - December 1986

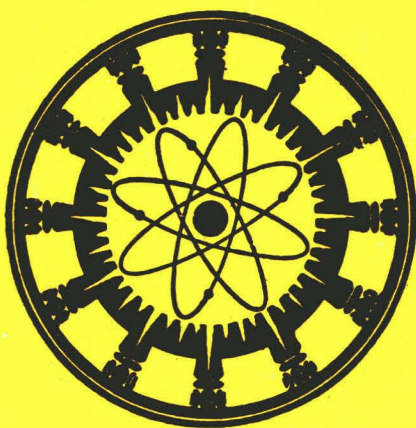
ปีที่ ๑๘ เล่มที่ ๒

กรกฎาคม - ธันวาคม ๒๕๒๕

สำนักบรรณสารกาญจนาภิเษก  
LIBRARY AND INFORMATION CENTER

วารสาร

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



JOURNAL  
OF  
THE NATIONAL RESEARCH COUNCIL  
OF THAILAND

วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ  
พิมพ์ปีละ ๒ ฉบับ การขอรับวารสารติดต่อ  
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ  
บางเขน กรุงเทพฯ ๑๐๕๐๐

**คำบํารุง**

ในประเทศ ปีละ ๖๐ บาท (รวมค่าส่ง)  
ต่างประเทศ ปีละ ๑๘๐ บาท (รวมค่าส่ง)

**Journal of the National Research Council of Thailand** is a semiannual publication. Correspondences should be addressed to the National Research Council, Bangkok 10900, Thailand.

**Annual subscription**

Local 60 baht (postpaid)  
Foreign 180 baht (U.S.\$7.00 postpaid)

ด้วยอำนาจ  
จาก  
กองแปลและวิเทศสัมพันธ์  
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ปีที่ ๑๘ เล่มที่ ๒

Vol. 18, No. 2

กรกฎาคม - ธันวาคม ๒๕๒๕

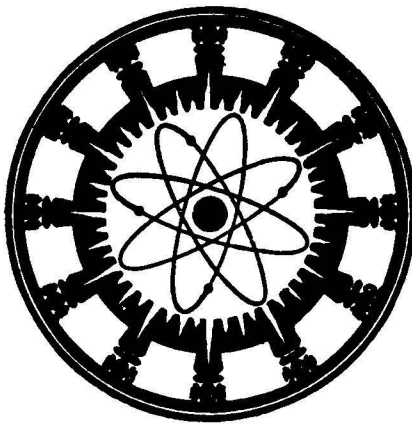
15 ต.ค. 2529

July - December 1986

สำนักบรรณจัดการพัฒนา  
LIBRARY AND INFORMATION CENTER

วารสาร

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



JOURNAL  
OF  
THE NATIONAL RESEARCH COUNCIL  
OF THAILAND

พิมพ์ที่ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ภาพพิมพ์

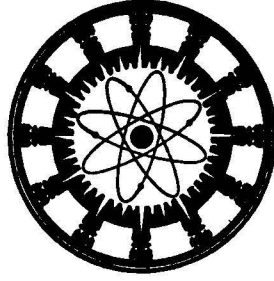
187/25 ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงบางยี่เรือ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร โทร. 4330026-7

นายธงชัย อินทวิศาลกุล ผู้พิมพ์ผู้โฆษณา พ.ศ. 2529

Printed at Parb Pim Ltd. Part.

187/25 Arunamarin Rd., Bangkoknoi, Bangkok. Tel 4330026-7

Mr. Thongchai Intuvisankul Printer and Publiher, 1986.



ส ก า วิ จั ย แ ห่ ง ช า ตี  
NATIONAL RESEARCH COUNCIL

กรรมการบริหาร

EXECUTIVE BOARD

ประธาน    ศัญญา ธรรมศักดิ์  
กรรมการ    สง่า สรรพศรี  
              ประดิษฐ์ เชี่ยวสกุล  
              ประเวศ วะสี  
              พล.อ.อ.อรุณ พร้อมเทพ  
              สุขุม ศรีชัยรัตน์  
              ธงชัย ปกัศราทร  
              ประพฤษดิ์ ณ นคร  
              จาริน อัดทะโยชิน  
              บุญเยี่ยม มีสุข  
              วิทย์ วิศทเวทย์  
              กำธร พันธูลาก  
              กระมล ทองธรรมชาติ  
              วิชิตวงศ์ ณ ป้อมเพชร  
              นิพนธ์ คันทเสวี

**Chairman:** Sanya Dharmasakti  
**Committee:** Sanga Sabhasri  
Pradisth Cheosakul  
Prawase Wasi  
A.C.M. Arun Promdhep  
Sukhum Sritanyaratana  
Tongchai Papasarathorn  
Praprit na Nagara  
Charin Atthayodhin  
Boonyium Meesook  
Wit Wisadavet  
Kamthorn Bhandhulabh  
Kramol Tongdhamachart  
Vichitvong Na Pombhejara  
Niphon Kantasewi

เลขาธิการฯ

Secretary - General:

              จุมพล สวัสดิ์ยากร  
รองเลขาธิการฯ ฝ่ายวิทยาศาสตร์  
              อภิรัตน์ อรุณินท์  
รองเลขาธิการฯ ฝ่ายสังคมศาสตร์  
              สุมล ทรายแก้ว

              Choompol Swasdiyakorn  
**Deputy Secretary-General for Natural Science:**  
              Aphirat Arunin  
**Deputy Secretary-General for Social Science:**  
              Sumol Saikeo

# วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

## คณะกรรมการที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ นายแพทย์อุดม โปษะภุชณะ  
ศาสตราจารย์ (พิเศษ) ประดิษฐ์ เชี่ยวสกุล  
ศาสตราจารย์ ประเสริฐ ณ นคร

## คณะกรรมการวารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

นายจุมพล สวัสดิ์ยากร

นายอภิรัตน์ อรุณินท์

นางสุมล ทราชแก้ว

ศาสตราจารย์ วิรุฬห์ สายคณิต

ศาสตราจารย์ ประเสริฐ ทองเจริญ

รองศาสตราจารย์ อรพรรณ มาตังคสมบัติ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บรรพต ณ ป้อมเพชร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศศิธร บุญ-หลง

นายนิจ หิณูชีระนนท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เกียรติขจร วัจนะสวัสดิ์

รองศาสตราจารย์ สุรพล ราชภัณฑารักษ์

นายชัยวัฒน์ วิบูลย์สวัสดิ์

รองศาสตราจารย์ เพ็ญพร ชีระสวัสดิ์

นางสาววนาศรี สามนแสน

นางอัจฉรา สุพรรณพัฒน์

นางสาวอรุพร แจ่มใจ

นายวิเชียร คงทอง

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยบรรณาธิการฝ่ายวิทยาศาสตร์

ผู้ช่วยบรรณาธิการฝ่ายสังคมศาสตร์

ประจำกองบรรณาธิการ

"

"

"

"

"

"

"

"

"

ผู้จัดการ

ผู้ช่วยผู้จัดการ

"

"

# JOURNAL OF THE NATIONAL RESEARCH COUNCIL

## ADVISORY BOARD

Udom Poshakrishna, M.B. (Med.)

Pradisth Cheosakul, Ph.D.

Prasert na Nagara, Ph.D.

## EDITORIAL BOARD

### Editor

Choompol Swasdiyakorn, M.Sc., Ph.D.

**Assistant Editor for Natural Science**

Aphirat Arunin, Ph.D.

**Assistant Editor for Social Science**

Sumol Saikeo, B.S.

## Representatives of the Divisions

**Physical Science and Mathematics:**

Virulh Sa-yakanid, Ph.D. (Physics)

**Medical Science:**

Prasert Thongcharoen, Dr. med., D.T.M.

**Chemical and Pharmaceutical Sciences:**

Oraphan Matangkasombut, B.Sc. in Pharm.,  
Cert. Quality Control, Ph.D.

**Agriculture and Biology:**

Banpot Napompeth, Ph.D. (Entomology)

**Engineering and Industrial Research:**

Sasithorn Boon-Long, Dr. 3e Cycle  
(Chemical Engineering)

**Philosophy:**

Nid Hinshiranan, M.R.P.

**Law:**

Kietkajorn Vachanasvasti, S.J.D.

**Political Science and Public**

Suraphol Rajbhandaraks,

**Administration:**

Docteur en Droit

**Economics:**

Chaiyawat Wibulsawasdi, Ph.D. (Econ.)

**Sociology:**

Penporn Tiraswat, Ph.D.

(Sociology Demography)

## BUSINESS STAFF

**Manager:**

Wanasri Samanasena, M.A.

**Assistant Manager:**

Achara Supanapat, B.A.

**Assistant Manager:**

Addhaporn Jangjai, B.A.

**Assistant Manager:**

Wichian Kongton, B.Sc.

วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

**JOURNAL OF THE NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THAILAND**

ภาค ๑

วิทยาศาสตร์

**PART I**

**NATURAL SCIENCE**

# วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

Journal of the National Research Council

---

## A $p$ -ADIC UPPER BOUND FOR THE COEFFICIENTS OF A POWER SERIES SATISFYING AN ALGEBRAIC DIFFERENTIAL EQUATION

ขอบเขตบน  $p$ -แอดิกสำหรับสัมประสิทธิ์ของอนุกรมกำลัง  
ที่คล้อยตามสมการเชิงอนุพันธ์พีชคณิต

Vichian Laohakosol

วิเชียร เลาทโกศล

Faculty of Science, Kasetsart University

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

### ABSTRACT

*Using a method of K. Mahler, a  $p$ -adic upper bound for the coefficients of a power series satisfying an algebraic differential equation is established.*

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพิสูจน์ โดยใช้วิธีของ เค มาห์เลอร์ ในการหาขอบเขตบน  $p$ -แอดิกสำหรับสัมประสิทธิ์ของอนุกรมกำลังที่เป็นผลเฉลยของสมการเชิงอนุพันธ์พีชคณิต

## INTRODUCTION

Let  $f(z) = \sum_{h=0}^{\infty} f_h z^h$  be a power series, with algebraic coefficients, which satisfies an algebraic differential equation. Popken<sup>7</sup> proved a remarkable result that either  $f_h = 0$  or there exists a positive constant  $c$  such that for all sufficiently large suffixes  $h$ ,

$$|f_h| \geq \exp(-ch(\log h)^2)$$

Mahler<sup>5</sup> proved a  $p$ -adic analogue of this theorem in 1973. These results have been found useful in constructing a large class of transcendently transcendental functions. The case of lower bound then seems to be settled. As for the case of upper bound, Mahler<sup>3</sup> proved in the classical case that for  $f_h$  being complex numbers, there exist two positive constants  $\gamma_1$  and  $\gamma_2$  such that for all  $h = 0, 1, \dots$

$$|f_h| \leq \gamma_1 (h!)^{\gamma_2}$$

The  $p$ -adic analogue of this last inequality does not seem to be explicitly established although as mentioned in Sibuya and Sperber<sup>9</sup>, it is implicit in Mahler<sup>6</sup>. It is our objective here to make explicit the proof of this  $p$ -adic analogue.

## MATERIALS AND METHODS

The proof follows very closely the line of Mahler<sup>6</sup>. Sibuya and Sperber in the paper just cited have somewhat sharpened these results using some heavy machinery from differential equations. We feel that the following proof is simpler and merits one's attention.

## RESULTS

**Theorem.** If

$$f(z) = \sum_{h=0}^{\infty} f_h z^h$$

is a formal power series, with  $p$ -adic algebraic coefficients, which satisfies an algebraic differential equation, then there exist two positive constants  $\gamma_1$  and  $\gamma_2$  such that for all  $h \geq 0$ ,

$$|f_h|_p \leq \gamma_1 (h!)^{\gamma_2} ,$$

where  $| \cdot |_p$  denotes the  $p$ -adic valuation so normalized that  $|p|_p = 1/p$ .

In order to make the whole proof self-contained, we shall give a detailed proof, parts of which are reproduced from Mahler<sup>6</sup>.

Let  $K$  be an algebraic number field generated (over  $\mathbb{Q}$ ) by all coefficients of  $f$ . Let  $K[[z]]$  be the ring of formal power series (in  $z$ ) with coefficients in  $K$ . Let  $f(z)$  satisfy an algebraic differential equation

$$(1) \quad F(f) := F(z; f, f', f'', \dots, f^{(m)}) = 0 .$$

By a lemma of Ritt and Gourin<sup>8</sup>, we may assume that this algebraic differential equation (1) has rational coefficients. We further assume that (1) is an algebraic differential equation which has lowest order  $m$  and which is of lowest degree in  $f^{(m)}$  among all such algebraic differential equations of this order  $m$ . Since factors of  $F$  not involving  $f^{(m)}$  may be divided out, without loss of generality, the polynomial  $F(z; w_0, w_1, \dots, w_m)$  may be assumed to be irreducible. It is convenient to use the notation

$$F_\mu(z; w_0, w_1, \dots, w_m) = \frac{\partial}{\partial w_\mu} F(z; w_0, w_1, \dots, w_m) \quad (\mu = 0, 1, \dots, m)$$

and

$$F_{(\mu)}(w) := F_\mu(z; w, w', \dots, w^{(m)}) \quad (\mu = 0, 1, \dots, m)$$

where  $w$  may be any series in  $K[[z]]$ . The assumptions about  $F$  imply then that

$$(2) \quad F_{(m)}(f) \equiv F_m(z; f, f', \dots, f^{(m)}) \neq 0 .$$

For  $F(w)$  depends explicitly on  $w^{(m)}$ ; therefore

$$F_{(m)}(f) = 0$$

would be a differential equation for  $f$  of lower order, or of the same order but of lower degree, than the differential equation (1), contrary to the hypothesis.

The differential operator  $F(w)$  can be written in the explicit form

$$(3) \quad F(w) = \sum_{(k)} p_{(k)}(z) w^{(k_1)} \dots w^{(k_N)} .$$

Here the summation

$$\sum_{(k)}$$

extends over all ordered system  $(k) = (k_1, k_2, \dots, k_N)$  of integers for which

$$(4) \quad 0 \leq k_1 \leq m, \dots, 0 \leq k_N \leq m; \quad k_1 \leq k_2 \leq \dots \leq k_N; \quad 0 \leq N \leq n,$$

where  $n$  is a fixed positive integer, and the coefficients  $p_{(k)}(z)$  are polynomials in  $\mathbb{Z}[z]$ . The integer  $N$  varies with  $(k)$ , and there is exactly one improper system with  $N = 0$  which will be defined by  $(\omega)$ . The corresponding term  $p_{(\omega)}(z)$  in (3) has no factors  $w^{(j)}$  and is a polynomial in  $z$  alone.

We require an explicit expression for the derivatives

$$(5) \quad F^{(h)}(w) = \left(\frac{d}{dz}\right)^h F(w) \quad (h = 1, 2, 3, \dots)$$

of  $F(w)$  and shall obtain it by means of the following lemma.

**Lemma.** Let  $h \geq 1$  and  $N \geq 0$  be any two integers, and let  $w_0, w_1, \dots, w_N$  be  $N+1$  arbitrary series in  $K[[z]]$ . Then

$$(6) \quad \left(\frac{d}{dz}\right)^h (w_0 w_1 \dots w_N) = h! \sum_{\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_N} \frac{w_0^{(\lambda_0)}}{\lambda_0!} \cdot \frac{w_1^{(\lambda_1)}}{\lambda_1!} \dots \frac{w_N^{(\lambda_N)}}{\lambda_N!},$$

where the summation extends over all ordered system of integers  $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_N$  such that

$$(7) \quad \lambda_0 \geq 0, \lambda_1 \geq 0, \dots, \lambda_N \geq 0; \quad \lambda_0 + \lambda_1 + \dots + \lambda_N = h.$$

**Proof.** The assertion is evidently true if  $h = 1$ ; assume it has already been established for some order  $h \geq 1$ . We show that it is then valid also for the order  $h+1$  and hence is true for all orders  $h$ .

On differentiating (6) once more,

$$\begin{aligned} \left(\frac{d}{dz}\right)^{h+1} (w_0 w_1 \dots w_N) &= h! \sum_{\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_N} \sum_{\nu=0}^N \frac{w_0^{(\lambda_0)}}{\lambda_0!} \dots \frac{w_\nu^{(\lambda_\nu+1)}}{\lambda_\nu!} \dots \frac{w_N^{(\lambda_N)}}{\lambda_N!} \\ &= h! \sum_{\mu_0, \mu_1, \dots, \mu_N} \left( \sum_{\nu=0}^N \mu_\nu \right) \frac{w_0^{(\mu_0)}}{\mu_0!} \frac{w_1^{(\mu_1)}}{\mu_1!} \dots \frac{w_N^{(\mu_N)}}{\mu_N!}, \end{aligned}$$

where the new summation extends over all ordered system of integers  $\mu_0, \mu_1, \dots, \mu_N$  for which

$$\mu_0 \geq 0, \mu_1 \geq 0, \dots, \mu_N \geq 0; \quad \mu_0 + \mu_1 + \dots + \mu_N = h+1.$$

Now

$$h! \sum_{\nu=0}^N \mu_\nu = (h+1)! ,$$

whence the assertion.

The lemma just proved will now be applied to all the separate terms

$$(8) \quad p_{(k)}(z) w^{(k_1)} \dots w^{(k_N)}$$

in the representation (3) of  $F(w)$ . It follows immediately from the lemma that

$$(9) \quad F^{(h)}(w) = h! \sum_{(k)} \sum_{[\lambda]} \frac{p_{(k)}^{(\lambda_0)}(z)}{\lambda_0!} \frac{w^{(k_1 + \lambda_1)}}{\lambda_1!} \dots \frac{w^{(k_N + \lambda_N)}}{\lambda_N!} .$$

Here the inner sum

$$\sum_{[\lambda]}$$

is extended over all ordered systems  $[\lambda] = [\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_N]$  of integers which satisfy the conditions (7), while  $N$  has the same value as in the term (8) from which the sum arises. There is in particular exactly one term  $p_{(\omega)}^{(h)}(z)$  on the right hand side of (9) for which  $N = 0$ . This term is independent of  $w$  and vanishes as soon as  $h$  exceeds the degree of the polynomial  $P_{(\omega)}(z)$ .

Denote next by  $j$  any integer in the interval

$$(10) \quad 0 \leq j \leq \left[ \frac{h-1}{2} \right] ,$$

put

$$(11) \quad H = h + m - j ,$$

and denote by

$$(12) \quad F^{(h,H)}(w) w^{(H)}$$

the sum of all terms on the right hand side of (9) which have at least one factor  $w^{(H)}$ . Further, let

$$(13) \quad F_{(k)}^{(h,H)}(w) w^{(H)}$$

be the sum of all those contributions to  $F^{(h,H)}(w) w^{(H)}$  which come from the  $h$ th derivative

$$(14) \quad \left( \frac{d}{dz} \right)^h (p_{(k)}(z) w^{(k_1)} \dots w^{(k_N)}) = h! \sum_{[\lambda]} \frac{p_{(k)}^{(\lambda_0)}(z)}{\lambda_0!} \frac{w^{(k_1 + \lambda_1)}}{\lambda_1!} \dots \frac{w^{(k_N + \lambda_N)}}{\lambda_N!}$$

of the term

$$t_{(k)} = p_{(k)}(z) w^{(k_1)} \dots w^{(k_N)}$$

in the representation (3) of  $F(w)$ . Evidently

$$(15) \quad F^{(h,H)}(w) = \sum_{(k)} F_{(k)}^{(h,H)}(w) ,$$

where trivially

$$(16) \quad F_{(\omega)}^{(h,H)}(w) = 0 .$$

It therefore suffices to consider only those terms  $t_{(k)}$  for which  $(k) \neq (\omega)$  and hence  $1 \leq N \leq n$ .

Denote by  $\nu$  any suffix 1, 2, ..., N and by  $\nu'$  any such suffix which is distinct from  $\nu$ . It is trivial that the binomial coefficient

$$(17) \quad \binom{h}{H-k_\nu} = 0 \quad \text{if } H-k_\nu < 0 \quad \text{or } H-k_\nu > h .$$

Next let  $\nu$  be such that

$$(18) \quad 0 \leq H-k_\nu \leq h .$$

There exist then systems  $[\lambda] = [\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_N]$  of N+1 integers with the properties (7) and

$$(19) \quad k_\nu + \lambda_\nu = H .$$

Since then

$$\lambda_\nu = H-k_\nu = (h-j) + (m-k_\nu) \geq h-j > \frac{1}{2}h ,$$

and therefore

$$\lambda_{\nu'} < \frac{1}{2}h, \quad k_{\nu'} + \lambda_{\nu'} < \frac{1}{2}h+m = h+m-\frac{1}{2}h \leq h+m-j = H ,$$

the corresponding term

$$T_{(k),[\lambda]} = h! \frac{p_{(k)}^{(\lambda_0)}(z)}{\lambda_0!} \frac{w^{(k_1+\lambda_1)}}{\lambda_1!} \dots \frac{w^{(k_N+\lambda_N)}}{\lambda_N!}$$

in (14) has exactly one factor  $w^{(H)}$  and no more. Hence the contribution to  $F_{(k)}^{(h,H)}(w)$  of this term  $T_{(k),[\lambda]}$  for the suffix  $\nu$  and the system  $[\lambda]$  is equal to

$$\frac{\partial T_{(k),[\lambda]}}{\partial w^{(H)}} = \frac{h!}{\lambda_{\nu'}!} \frac{p_{(k)}^{(\lambda_0)}(z)}{\lambda_0!} \prod_{\nu'} \frac{w^{(k_{\nu'}+\lambda_{\nu'})}}{k_{\nu'}!} .$$

Next, by the lemma

$$\left(\frac{d}{dz}\right)^{h-H+k_\nu} (P_{(k)}(z) \prod_{\nu'} w^{(k_{\nu'})}) = (h-H+k_\nu)! \sum'_{[\lambda]} \frac{p_{(k)}^{(\lambda_0)}(z)}{\lambda_0!} \prod_{\nu'} \frac{w^{(k_{\nu'}+\lambda_{\nu'})}}{\lambda_{\nu'}!}$$

where the summation  $\sum'_{[\lambda]}$  extends only over those systems  $[\lambda]$  for which both conditions (7)

and (19) are satisfied. From this equation, it follows that

$$\begin{aligned} \sum_{[\lambda]} \frac{\partial T_{(k),[\lambda]}}{\partial w^{(H)}} &= \binom{h}{H-k_\nu} \left(\frac{d}{dz}\right)^{h-H+k_\nu} (P_{(k)}(z) \prod_{\nu'} w^{(k_{\nu'})}) \\ &= \binom{h}{H-k_\nu} \left(\frac{d}{dz}\right)^{h-H+k_\nu} \frac{\partial}{\partial w^{(k_\nu)}} (P_{(k)}(z) w^{(k_1)} \dots w^{(k_N)}) , \end{aligned}$$

whence, on summing over  $\nu = 1, 2, \dots, N$ ,

$$F_{(k)}^{(h,H)}(w) = \sum_{\nu=1}^N \binom{h}{H-k_\nu} \left(\frac{d}{dz}\right)^{h-H+k_\nu} \frac{\partial}{\partial w^{(k_\nu)}} (P_{(k)}(z) w^{(k_1)} \dots w^{(k_N)}) ,$$

because, by (17), the terms for which  $\nu$  does not satisfy the conditions (18) are equal to 0 .

The formula can finally be written as

$$(20) \quad F_{(k)}^{(h,H)}(w) = \sum_{\mu=0}^N \binom{h}{H-\mu} \left(\frac{d}{dz}\right)^{h-H+\mu} \frac{\partial}{\partial w^{(\mu)}} (p_{(k)}(z) w^{(k_1)} \dots w^{(k_N)}),$$

since evidently

$$\frac{\partial}{\partial w^{(\mu)}} (p_{(k)}(z) w^{(k_1)} \dots w^{(k_N)}) = \sum_{\nu} \frac{\partial}{\partial w^{(k_\nu)}} (p_{(k)}(z) w^{(k_1)} \dots w^{(k_N)}) ,$$

where  $\nu$  in  $\sum$  runs over all suffixes  $1, 2, \dots, N$  for which  $k_\nu = \mu$  .

On combining the two relations (15) and (20) with the representation (3) of  $F(w)$  and making use of the notation  $F_{(\mu)}(w)$  introduced earlier, we arrive at the simple formula

$$(21) \quad F_{(k)}^{(h,H)}(w) = \sum_{\mu=0}^m \binom{h}{H-\mu} \left(\frac{d}{dz}\right)^{h-H+\mu} F_{(\mu)}(w) ,$$

which is due to Kakeya.<sup>1</sup>

The basic identities (9) and (21) hold for all series  $w$  in  $K[z]$ . In particular, let

$$w = f.$$

Since  $F(f) = 0$ , we obtain then firstly the equations

$$(22) \quad F^{(h)}(f) = h! \sum_{(k)} \sum_{[\lambda]} \frac{p_{(k)}^{(\lambda_0)}(z)}{\lambda_0!} \frac{f^{(k_1+\lambda_1)}}{\lambda_1!} \dots \frac{f^{(k_N+\lambda_N)}}{\lambda_N!} = 0 \quad (h = 1, 2, \dots) ,$$

and secondly, for all  $h = 1, 2, 3, \dots$  and all  $j = 0, 1, \dots, [\frac{1}{2}(h-1)]$ , the formula

$$(23) \quad F_{(k)}^{(h,H)}(f) = \sum_{\mu=0}^m \binom{h}{H-\mu} \left(\frac{d}{dz}\right)^{h-H+\mu} F_{(\mu)}(f)$$

for the coefficient of  $f^{(H)} = f^{(h-m+j)}$  in (22).

In (22) and (23) put  $z = 0$ . Since

$$p_{(k)}^{(\lambda_0)}(z)|_{z=0} = p_{(k)}^{(\lambda_0)}(0) \quad \text{and} \quad f^{(\ell)}|_{z=0} = \ell! f ,$$

we find that

$$(24) \quad h! \sum_{(k)} \sum_{[\lambda]} \frac{p_{(k)}^{(\lambda_0)}(0)}{\lambda_0!} \frac{(k_1+\lambda_1)!}{\lambda_1!} \dots \frac{(k_N+\lambda_N)!}{\lambda_N!} f_{k_1+\lambda_1} \dots f_{k_N+\lambda_N} = 0$$

(h = 1, 2, 3, ...)

and here the coefficients of  $H! f_H$  on the left hand side is given by

$$(25) \quad F_{(k)}^{(h,H)}(f)|_{z=0} = \sum_{\mu=0}^m \binom{h}{H-\mu} \left(\frac{d}{dz}\right)^{h-H+\mu} F_{(\mu)}(f)|_{z=0} .$$

The  $m + 1$  expressions  $F_{(\mu)}(f)$  are elements of  $K[[z]]$ ; let

$$(26) \quad F_{(\mu)}(f) = \sum_{h=0}^{\infty} F_{\mu,h} z^h \quad (\mu = 0, 1, \dots, m)$$

be their formal power series with coefficients in  $K$ . Since from (2)

$$F_{(m)}(f) \neq 0,$$

not all the coefficients  $F_{m,h}$  are 0, and there exists an integer  $t \geq 0$  such that

$$(27) \quad F_{m,0} = F_{m,1} = \dots = F_{m,t-1} = 0, \text{ but } F_{m,t} \neq 0.$$

From the power series (26)

$$\left(\frac{d}{dz}\right)^{h-H+\mu} F_{(\mu)}(f)|_{z=0} = (h-H+\mu)! F_{\mu,h-H+\mu} \quad (\mu = 0, 1, \dots, m),$$

whence, by (25),

$$F^{(h,H)}(f)|_{z=0} = \sum_{\mu=0}^m \binom{h}{H-\mu} (h-H+\mu)! F_{\mu,h-H+\mu}.$$

Replace here  $\mu$  by  $m - \mu$ ; since  $H = h + m - j$ , the formula then takes the simpler form

$$(28) \quad F^{(h,H)}(f)|_{z=0} = \sum_{\mu=0}^m \binom{h}{j-\mu} (j-\mu)! F_{m-\mu,j-\mu}$$

where terms in the sum on the right hand side with  $\mu > j$  are put equal to 0. All these expressions evidently are polynomials in  $h$  with coefficients in  $K$ .

In particular, for  $j = t$  and hence  $H = h + m - t$ , the polynomial

$$F^{(h,H)}(f)|_{z=0} = \binom{h}{t} t! F_{m,t} + \sum_{\mu=1}^m \binom{h}{t-\mu} (t-\mu)! F_{m-\mu,t-\mu}$$

is by (27) of the exact degree  $t$  in  $h$  and certainly does not vanish identically. Hence there exists a smallest integer  $s$  satisfying

$$0 \leq s \leq t$$

such that also the polynomial in  $h$ ,

$$(29) \quad F^{(h,H)}(f)|_{z=0}, \quad \text{where } H = h + m - s,$$

is not identically 0, while for  $j = 0, 1, \dots, s-1$  the polynomials (28) vanish identically. With this choice of  $s$ ,  $H$  will from now on always be defined by

$$(30) \quad H = h + m - s;$$

hence  $H$  differs from  $h$  only by a constant integer which may be positive, negative, or zero.

It follows now, firstly, that the left hand side of the equation (24) does not involve any of the coefficients

$$f_{H+1}, f_{H+2}, \dots, f_{H+s},$$

ต้นฉบับเป็นหน้าว่าง

BLANK PAGE IN ORIGINAL

Recall from (26) that

$$F_1(\theta) := F_1(s, \theta) = F_{m,s} = \text{sth coefficient of } F_{(m)} (f)$$

$$F_2(\theta) := F_2(s, \theta) = F_{m-1,s-1} = (s-1)\text{st coefficient of } F_{(m-1)} (f)$$

⋮  
⋮

$$F_m(\theta) := F_m(s, \theta) = F_{0,s-m} = (s-m)\text{th coefficient of } F_{(0)} (f) .$$

Thus, from (32) and (33), since  $a(H) \neq 0$ ,

$$\left| \frac{B(H)}{a(H)} \right|_p = \left| H! \sum_{\mu=0}^m \frac{F_{m-\mu,s-\mu}}{(h-s+\mu)!} \right|_p^{-1} .$$

Let

$$\begin{aligned} F(\theta) &:= F(s, \theta) = H! \sum_{\mu=0}^m \frac{F_{m-\mu,s-\mu}}{(h-s+\mu)!} \\ &= H(H-1)\dots(H-m+1)F_1(\theta) + H(H-1)\dots(H-m+2)F_2(\theta) + \dots + F_m(\theta) ; \end{aligned}$$

here we have made used of (30). Now let

$$F_r(\theta) = \frac{a_{r,0} + a_{r,1}\theta + \dots + a_{r,d-1}\theta^{d-1}}{b_r} \quad (r = 1, \dots, m) ,$$

where  $a_{r,0}, \dots, a_{r,d-1}$  and  $b_r$  are rational integers with  $b_r \neq 0$ . Let

$$B = \text{l.c.m. } (b_1, b_2, \dots, b_m) .$$

Then from (32) and (36), we see that for  $H \geq H_0$ ,

$$(37) \quad E(\theta) = BF(\theta) \neq 0$$

is a polynomial in  $\theta$  of degree at most  $d-1$ , with rational integral coefficients. Let  $M(\theta)$  be the minimal polynomial of  $\theta$  over  $\mathbb{Q}$ , i.e.

$$M(\theta) = l_0 + l_1\theta + \dots + l_d\theta^d = 0 , \quad l_i \in \mathbb{Z} .$$

By (37),  $M(\theta)$  and  $E(\theta)$  are relatively prime polynomials. Thus

$$\text{Res}(M, E) := \text{Resultant}(M, E) \neq 0$$

and so

$$|\text{Res}(M, E)| \geq 1$$

because all the coefficients are rational integers. Now, for  $H$  sufficiently large,

$$\begin{aligned} E(\theta) &= B \left\{ \left( \frac{c_1 a_{10}}{b_1} + \frac{c_2 a_{20}}{b_2} + \dots + \frac{c_m a_{m0}}{b_m} \right) + \left( \frac{c_1 a_{11}}{b_1} + \frac{c_2 a_{21}}{b_2} + \dots + \frac{c_m a_{m1}}{b_m} \right) \theta + \right. \\ &\quad \left. + \dots + \left( \frac{c_1 a_{1,d-1}}{b_1} + \dots + \frac{c_m a_{m,d-1}}{b_m} \right) \theta^{d-1} \right\} , \end{aligned}$$

where

$$c_1 = H(H-1) \dots (H-m+1)$$

$$c_2 = H(H-1) \dots (H-m+2)$$

⋮

$$c_m = 1.$$

Let

$$g_0 = \frac{c_1 a_{10}}{b_1} + \dots + \frac{c_m a_{m0}}{b_m}$$

$$g_1 = \frac{c_1 a_{11}}{b_1} + \dots + \frac{c_m a_{m1}}{b_m}$$

⋮

$$g_{d-1} = \frac{c_1 a_{1,d-1}}{b_1} + \dots + \frac{c_m a_{m,d-1}}{b_m} .$$

Let also

$$l := \max (|l_0|, \dots, |l_d|)$$

$$G := B \max (|g_0|, \dots, |g_{d-1}|)$$

$$\leq B \frac{\max_{i,j} |a_{ij}|}{\min_{i,j} |b_i|} m |H(H-1) \dots (H-m+1)| \leq CH^m ,$$

where  $C$  is a constant independent of  $H$ . Since

$$\text{Res}(M, E) = \left| \begin{array}{cccc} l_0 & \dots & l_d & \\ \vdots & & & \\ & l_0 & \dots & l_d \\ Bg_0 & \dots & Bg_{d-1} & \\ \vdots & & & \\ & Bg_0 & \dots & Bg_{d-1} \end{array} \right| \begin{array}{l} \left. \vphantom{\begin{array}{c} l_0 \\ \vdots \\ l_0 \\ Bg_0 \end{array}} \right\} d-1 \text{ rows} \\ \left. \vphantom{\begin{array}{c} Bg_0 \\ \vdots \\ Bg_0 \end{array}} \right\} d \text{ rows} \end{array}$$

then

$$\begin{aligned} 1 \leq |\text{Res}(M, E)| &\leq (2d-1)! l^{d-1} G^d \\ &\leq (2d-1)! l^{d-1} (CH^m)^d = C_1 H^{C_2} , \end{aligned}$$

where  $C_1, C_2$  are positive constants independent of  $H$ . Now, by a well-known result on resultant<sup>10</sup>, there exist two polynomials  $X(z)$  and  $X^*(z)$  with rational integral coefficients such that

$$\begin{aligned} 0 \neq \text{Res}(M, E) &= M(\theta)X(\theta) + E(\theta)X^*(\theta) \\ &= E(\theta)X^*(\theta) . \end{aligned}$$

Since  $X^*(\theta) \in \mathbb{Z}[\theta]$  and  $\theta$  is a  $p$ -adic algebraic integer, then

$$|X^*(\theta)|_p \leq 1 \quad .$$

Consequently,

$$\begin{aligned} |E(\theta)|_p &= \left| \frac{\text{Res}(M, E)}{X^*(\theta)} \right|_p \geq |\text{Res}(M, E)|_p \\ &\geq |\text{Res}(M, E)|^{-1} \geq (C_1 H^{C_2})^{-1} \quad , \end{aligned}$$

where we have made use of the fact that  $\text{Res}(M, E) \in \mathbb{Z} - \{0\}$ . Thus

$$|BF(\theta)|_p \geq (C_1 H^{C_2})^{-1}$$

and so

$$\left| BH! \sum_{\mu=0}^m \frac{F_{m-\mu, s-\mu}}{(h-s+\mu)!} \right| \geq (C_1 H^{C_2})^{-1}$$

i.e.

$$(38) \quad \left| \frac{B(H)}{a(H)} \right|_p \leq \left| H! \sum_{\mu=0}^m \frac{F_{m-\mu, s-\mu}}{(h-s+\mu)!} \right|_p^{-1} \leq C_1 H^{C_2} \quad ,$$

for  $H \geq H_0$ . Using this last inequality as well as (34) and (35), we get

$$(39) \quad |f_H|_p \leq C_1 H^{C_2} \max_{(k), [\lambda]}^* |f_{k_1+\lambda_1} \cdots f_{k_N+\lambda_N}|_p \quad , H \geq H_0$$

where the maximum is extended over all pairs of systems  $(k)$ ,  $[\lambda]$  for which

$$(40) \quad 1 \leq N \leq n; \quad 0 \leq k_1 + \lambda_1 \leq H-1, \dots, \quad 0 \leq k_N + \lambda_N \leq H-1 \quad .$$

Now define a new ordered system  $\{v\} = \{v_1, \dots, v_N\}$  by

$$(42) \quad v_1 = k_1 + \lambda_1, \dots, v_N = k_N + \lambda_N \quad .$$

Then, firstly, by (40),

$$(43) \quad 1 \leq N \leq n; \quad 0 \leq v_1 \leq H-1, \dots, \quad 0 \leq v_N \leq H-1 \quad .$$

Secondly, by the properties of  $(k)$  and  $[\lambda]$ ,

$$v_1 + \dots + v_N = (k_1 + \dots + k_N) + h = H + (k_1 + \dots + k_N - m + s)$$

and hence there exists a further positive integer  $C_3$  independent of  $H$  such that

$$(44) \quad v_1 + \dots + v_N \leq H + C_3 \quad .$$

We deduce from (39) and the definition of  $\{v\}$  that

$$(45) \quad |f_H|_p \leq C_1 H^{C_2} \max_{\{v\}} |f_{v_1} \cdots f_{v_N}|_p \quad \text{for } H \geq H_0 \quad ,$$

where the maximum is extended over all systems  $\{v\}$  with the properties (43) and (44). An upper bound for  $|f_H|_p$  is now obtained in the following way from the recursive inequality (45).

Assume for simplicity that

$$(46) \quad H_0 > C_3 + 1 \quad .$$

Further choose  $H_0$  numbers  $u_0, u_1, \dots, u_{H_0-1}$  such that

$$(47) \quad |f_H|_p \leq \exp(u_H) \quad \text{for } H = 0, \dots, H_0 - 1; \quad 0 < u_0 < u_1 < \dots < u_{H_0-1}$$

and in terms of these define for each suffix  $H \geq H_0$  a number  $u_H$  by the equation

$$(48) \quad u_H = C_2 \log H + \max_{\{v\} \in S_H} (u_{v_1} + \dots + u_{v_N}) + \log C_1 \quad .$$

Here  $S_H$  denotes the set of all ordered system  $\{v\} = \{v_1, \dots, v_N\}$  of integers for which (43) and (44) hold, i.e. for which

$$1 \leq N \leq n; \quad 0 \leq v_1 \leq H-1, \dots, 0 \leq v_N \leq H-1; \quad v_1 + \dots + v_N \leq H + C_3 \quad ;$$

$S_H$  is thus the set of all systems  $\{v\}$  over which the maximum in (45) is extended.

The definition of  $u_H$  implies that

$$(49) \quad |f_H|_p \leq \exp(u_H) \quad \text{for all suffixes } H \geq 0.$$

This is evident for  $H \leq H_0 - 1$  and it follows for  $H \geq H_0$  by complete induction on  $H$  since by (45) and (48)

$$|f_H|_p \leq C_1 \exp(C_2 \log H + \max_{\{v\} \in S_H} (u_{v_1} + \dots + u_{v_N})) = \exp(u_H) \quad .$$

Again suppose  $H \geq H_0$ , so that by (46),

$$(50) \quad H > C_3 + 1 \quad .$$

By (48),

$$(51) \quad u_{H+1} - u_H = C_2 \log \frac{H+1}{H} + \max_{\{v'\} \in S_{H+1}} (u_{v'_1} + \dots + u_{v'_{N'}}) - \max_{\{v\} \in S_H} (u_{v_1} + \dots + u_{v_N}) \quad .$$

Here, by (43-44), every system in  $S_H$  belongs also to  $S_{H+1}$ . The maximum over  $S_{H+1}$  is therefore not less than that over  $S_H$ , and so (51) implies that

$$(52) \quad u_{H+1} - u_H \geq C_2 \log \frac{H+1}{H} > 0 \quad \text{for } H \geq H_0 \quad .$$

On combining this with (47), we see that the  $u_H$  form a strictly increasing sequence of positive numbers.

Consider now any system  $\{\pi\} = \{\pi_1, \dots, \pi_{N^*}\}$  in  $S_{H+1}$  at which the maximum

$$(53) \quad \max_{\{v'\} \in S_{H+1}} (u_{v'_1} + \dots + u_{v'_{N'}}) = u_{\pi_1} + \dots + u_{\pi_{N^*}}$$

is attained. Since the numbers  $u_H$  are positive and form an increasing sequence, the suffixes  $\pi_1, \dots, \pi_{N^*}$  cannot all be zero; and since further

$$\pi_1 + \dots + \pi_{N^*} \leq H + C_3 + 1 \quad \text{and } H > C_3 + 1 \quad ,$$

at most one of these suffixes can be as large as  $H$ . Let, say,

$$\pi_{N^*} > 0$$

be the largest of the suffixes  $\pi_1, \dots, \pi_{N^*}$  (or one of them if several have this same maximum value); then the other suffixes  $\pi_1, \dots, \pi_{N^*-1}$  are non-negative and less than  $H$ . Hence the system  $\{v^0\} = \{v_1^0, \dots, v_{N^*}^0\}$  defined by

$$N^0 = N^*; \quad v_1^0 = \pi_1, \dots, v_{N^*-1}^0 = \pi_{N^*-1}, \quad v_{N^*}^0 = \pi_{N^*} - 1 \geq 0$$

belongs to the set  $S_H$ , and hence it follows that

$$\begin{aligned} \max_{\{v\} \in S_H} (u_{v_1} + \dots + u_{v_{N^*}}) &\geq u_{\pi_1} + \dots + u_{\pi_{N^*-1}} + u_{\pi_{N^*} - 1} \\ &= \max_{\{v'\} \in S_{H+1}} (u_{v'_1} + \dots + u_{v'_{N^*}}) - (u_{\pi_{N^*}} - u_{\pi_{N^*} - 1}) \quad . \end{aligned}$$

The formula (51) leads therefore to the inequality

$$(54) \quad u_{H+1} - u_H \leq C_2 \log \frac{H+1}{H} + \max_{\ell=0, \dots, H-1} (u_{\ell+1} - u_\ell) \quad \text{for } H \geq H_0$$

Put

$$v_\ell = u_{\ell+1} - u_\ell \quad \text{and} \quad C_4 = \max(v_0, v_1, \dots, v_{H_0-1}) \quad ,$$

so that  $C_4$  is a positive constant. By (54),

$$v_H \leq C_2 \log \frac{H+1}{H} + \max_{\ell=0, \dots, H-1} v_\ell \quad \text{for } H \geq H_0 \quad ,$$

that is

$$v_H \leq C_2 \log \frac{H+1}{H} + \max(C_4, v_{H_0}, v_{H_0+1}, \dots, v_{H-1}) \quad \text{for } H \geq H_0 \quad .$$

We assert also that

$$(55) \quad v_H \leq C_2 \log \frac{H+1}{H_0} + C_4 \quad \text{for } H \geq H_0 \quad .$$

For this inequality certainly holds if  $H = H_0$ ; assume then that  $H > H_0$ , and that the inequality has already been proved for all suffixes up to and including  $H-1$ . Then

$$\max(C_4, v_{H_0}, v_{H_0+1}, \dots, v_{H-1}) \leq C_2 \log \frac{H}{H_0} + C_4 \quad ,$$

whence also

$$v_H \leq C_2 \log \frac{H+1}{H} + (C_2 \log \frac{H}{H_0} + C_4) = C_2 \log \frac{H+1}{H_0} + C_4 \quad ,$$

showing that (55) holds also for the suffix  $H$  and therefore is always true.

On putting

$$C_5 = C_4 - C_2 \log H_0$$

(55) can be written in the form

$$u_{H+1} - u_H \leq C_2 \log(H+1) + C_5 \quad \text{for } H \geq H_0 .$$

We apply this inequality successively for the suffixes  $H_0, H_0 + 1, \dots, H - 1$  and add all the results, obtaining

$$u_H \leq u_{H_0} + C_2 \log \left( \frac{H!}{H_0!} \right) + C_5(H - H_0) \quad \text{for } H \geq H_0 .$$

By (49), this finally implies that

$$|f_H|_p \leq \left( \frac{H!}{H_0!} \right)^{C_2} \exp(u_{H_0} + C_5(H - H_0)) \quad \text{for } H \geq H_0 .$$

In this formula,  $H!$  increases more rapidly than any exponential of  $H$ . On replacing  $H$  again by  $h$ , we have then proved our theorem.

## DISCUSSION

Though the method presented above is notationally complex, and the proof is rather lengthy, the principal idea is quite simple. It is actually based upon the explicit relationship (35) which connects one coefficient with those preceding it. It would be of interest to investigate whether the result so derived is best possible, and if not, when it can be improved.

## CONCLUSION

We have essentially shown that if a power series, with algebraic coefficients, satisfies an algebraic differential equation, then its coefficients are either zero or are bounded above by explicitly computable quantities.

## REFERENCES

1. Kakeya, S. On a power series with rational coefficients satisfying an algebraic differential equation. *Sci. Rep. Tôhoku Univ.*, 1915, **4**, 7-20.
2. Mahler, K. On the solutions of algebraic differential equations. *Indag. Math.*, 1939, **1**, 13-15.
3. Mahler, K. On formal power series as integrals of algebraic differential equations. *Atti Accad. Naz. Lincei Rend. Classe Sci. Fis. Mat. Nat.*, 1971, **50**, 36-49.
4. Mahler, K. A remark on algebraic differential equations. *Atti Accad. Naz. Lincei Rend. Classe Sci. Fis. Mat. Nat.*, 1971, **50**, 174-184.
5. Mahler, K. A p-adic analogue to a theorem of J. Popken. *J. Australian Math. Soc.*, 1973, **16**, 176-184.
6. Mahler, K. Lectures on Transcendental Numbers, Lecture Notes in Math. (546). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1976.
7. Popken, J. Über Arithmetische Eigenschaften analytischer Funktionen. Noord-Hollandsche Uitgeversmaatschappij, Amsterdam, 1935.
8. Ritt, J.F. and Gourin, E. An assemblage-theoretic proof of the existence of transcendently transcendental functions. *Bull. Am. Math. Soc.*, 1927, **33**, 182-184.
9. Sibuya, Y. and Sperber, S. Arithmetic properties of power series solutions of algebraic differential equations. *Ann. Math.*, 1981, **113**, 111-157.
10. van der Waerden, B.L. Algebra. Vol. I, Frederick Ungar, New York, 1970.

ผลของฟอสฟอรัสและการคลุกเชื้อไรโซเบียมต่อการเจริญเติบโต  
และการตรึงไนโตรเจนของถั่วเซนโตรซีมา

**EFFECT OF PHOSPHORUS AND INOCULATION ON  
GROWTH AND NITROGEN FIXATION OF  
CENTROSEMA PUBESCENS BENTH.**

วิโรจ อิมพิทักษ์

วรรณกรณ์ รุ่งรัตนกลิน

Viroch Impituksa

Vanakorn Rungratanakasin

ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 3 อัตรา คือ 0, 25.64 และ 102.56 มก. P/กระถาง และการคลุกเชื้อไรโซเบียมต่อผลผลิตน้ำหนักแห้ง ผลผลิตไนโตรเจน และปริมาณการตรึงไนโตรเจนที่อายุการเก็บเกี่ยว 2,  $2\frac{1}{2}$ , 3,  $3\frac{1}{2}$  และ 4 เดือน ของถั่วเซนโตรซีมาที่ปลูกบนชุดดินกำแพงแสน ซึ่งเป็นชุดดินบริเวณที่มีการเลี้ยงโคนมมากที่สุดในภาคกลางและภาคตะวันตกของประเทศไทย โดยทำการทดลองในกระถาง เป็นระยะเวลา 6 เดือน ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ร่วมกับการคลุกเชื้อไรโซเบียม จะมีผลทำให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งและผลผลิตไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลผลิตน้ำหนักแห้งและผลผลิตไนโตรเจนของถั่วเซนโตรซีมาจะมีค่าสูงสุดที่อายุ 4 เดือน การคลุกเชื้อไรโซเบียมจะมีผลทำให้ถั่วเซนโตรซีมาตรึงไนโตรเจนได้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทุกอัตราฟอสฟอรัส และที่ทุกช่วงอายุการเก็บเกี่ยว การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียวจะไม่ทำให้ถั่วเซนโตรซีมาตรึงไนโตรเจนได้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณการตรึงไนโตรเจนของถั่วเซนโตรซีมาตรวจสอบโดยวิธี Acetylene-Ethylene Reduction Assay เฉลี่ยสูงสุดที่อายุ  $3\frac{1}{2}$  เดือน โดยสามารถตรึงได้  $0.29 \mu\text{mol C}_2\text{H}_4/\text{ต้น/ชม}$ . ในกรณีไม่คลุกเชื้อไรโซเบียม และ  $6.52 \mu\text{mol C}_2\text{H}_4/\text{ต้น/ชม}$ . ในกรณีคลุกเชื้อไรโซเบียม

## ABSTRACT

*Pot experiment was established to determine the influences of Rhizobium inoculation (non-inoculation and inoculation) and three phosphorus rates 0, 25.64 and 102.56 mg P/Pot on oven-dry matter N yield and nitrogen fixation activity at different ages of harvesting 2, 2 $\frac{1}{2}$ , 3, 3 $\frac{1}{2}$  and 4 months of Centrosema pubesens Benth. grown on Kamphaeng Saen Soil Series which was one of the most common soil used for growing forage crops for dairy cattle in the central and western parts of Thailand. The experiment was conducted at Kasetsart University (Bangkhen campus) for 6 months.*

*Oven-dry matter and N yield of Centrosema sp. were significantly increased with phosphorus fertilization and Rhizobium inoculation at all ages of harvesting. Oven-dry matter and N yield of this legume were the highest at the age of 4 months. The amount of nitrogen fixation which measured by Acetylene Ethylene reduction method was significantly increased with Rhizobium inoculation at all rates of phosphorus fertilization and at all ages of harvesting. The amount of nitrogen fixation was not significantly increased with phosphorus fertilization without Rhizobium inoculation. Maximum nitrogen fixation of this legume was observed at the age of 3 $\frac{1}{2}$  months at the rate of 0.29  $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4/\text{plant}/\text{h}$  for non-inoculation and at the rate of 6.25  $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4/\text{plant}/\text{h}$  for inoculation.*

## คำนำ

พืชตระกูลถั่วเป็นแหล่งโปรตีนราคาถูกที่สุดสำหรับเลี้ยงสัตว์ เพราะพืชตระกูลถั่วสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศมาใช้ได้ โดยเป็นการกระทำร่วมกันระหว่างพืชตระกูลถั่วและเชื้อไรโซเบียมที่ราก จึงสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยเคมีไนโตรเจนที่มีราคาแพงลงไปได้เป็นอย่างมาก พืชตระกูลถั่วจะสามารถช่วยปรับปรุงให้ปริมาณและคุณภาพของพืชอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้ผลผลิตของสัตว์ต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญในการช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินเพิ่มระดับธาตุไนโตรเจนในดินให้สูงขึ้นอีกด้วย การปลูกเชื้อไรโซเบียมให้กับเมล็ดถั่วก่อนปลูก มีจุดประสงค์เพื่อให้เมล็ดถั่วได้รับเชื้อไรโซเบียมที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจน ซึ่งจะมีผลทำให้ผลผลิตของถั่วสูงตามไปด้วย

พืชตระกูลถั่วมีความต้องการฟอสฟอรัสสูง เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่สำคัญต่อขบวนการตรึงไนโตรเจน เมื่อขาดฟอสฟอรัสจะทำให้การสังเคราะห์โปรตีนในพืชต่ำลง<sup>5</sup> การขาดฟอสฟอรัสอย่างรุนแรงบ่อย ๆ จะจำกัดการตรึงไนโตรเจน และจำกัดการเจริญเติบโตของต้นถั่วที่เป็นพืชอาศัย (host plant)<sup>3</sup> Steel และ Humphreys รายงานว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้กับถั่วอาหารสัตว์ จะช่วยเพิ่มความสามารถในการตรึงไนโตรเจนของถั่ว ซึ่งจะมีผลต่อการเพิ่มผลผลิต น้ำหนักแห้ง ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในถั่วด้วย<sup>4</sup> ดินเขตร้อนส่วนมากมีปริมาณฟอสฟอรัสจำกัด ดังนั้นพืชตระกูลถั่วมักจะตอบสนอง

ต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสโดยจะให้น้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น<sup>1,2</sup>

## อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการทดลองปลูกถั่วเซนโตรซีมาบนชุดดินกำแพงแสนในกระถาง ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ใช้เวลาในการทดลอง 6 เดือน โดยการวางแผนการทดลองแบบ Factorial experiment in completely-randomized design ประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ

1. การคลุมเชื้อโรโซเบียม ประกอบด้วย ไม่มีการคลุมเชื้อ และมีการคลุมเชื้อโรโซเบียม
2. อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส 3 ระดับ คือ 0, 25.64 และ 102.56 มก. P/กระถาง
3. อายุการเก็บเกี่ยว ประกอบด้วยการตัดที่อายุ 2,  $2\frac{1}{2}$ , 3,  $3\frac{1}{2}$  และ 4 เดือน

ทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ คิดเป็น 30 ชุดการทดลอง (treatment) ใช้ดินจำนวน 5 กก. ใส่กระถางดินเผา ปลูกถั่วโดยใช้เมล็ดถั่วที่ผ่านการทำลายระยะพักตัวแล้วมาแช่น้ำค้างคืน โรยบนดินในกระถางซึ่งได้ใส่ปุ๋ยรองพื้นและปุ๋ยฟอสฟอรัสตามอัตราที่กำหนด รดน้ำเชื้อโรโซเบียม ซึ่งได้จากการเชื้อเชื้อจากปมถั่วเซนโตรซีมาที่เก็บจากสำนักงานพัฒนาการปศุสัตว์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น และจากสถานีพืชอาหารสัตว์ปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ในชุดการทดลอง ที่มีการคลุมเชื้อโรโซเบียม จำนวน 25 มล./กระถาง โรยดินกลบเมล็ดถั่วบาง ๆ รดน้ำให้ดินมีความชื้นที่จุด field capacity เมื่อถั่วออกจนมีใบจริง 4-5 ใบ ทำการถอนแยกให้เหลือถั่วกระถางละ 10 ต้น เก็บเกี่ยวตามชุดการทดลองที่ได้กำหนดไว้ที่อายุ 2,  $2\frac{1}{2}$ , 3,  $3\frac{1}{2}$  และ 4 เดือน โดยตัดสูงจากพื้นดินเล็กน้อยคือ ประมาณข้อแรกของต้นถั่ว จากการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้ง นำส่วนต้นไปอบที่อุณหภูมิ 60-70° ซ. จนน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักแห้งแล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างพืชจนละเอียด จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธี Micro Kjeldahl Method คำนวณหาผลผลิตไนโตรเจน โดยนำส่วนรากและปมถั่วมาเขย่าให้ดินหลุดร่วงหมด และล้างน้ำให้สะอาด ใส่ในขวดแก้วปากกว้างซึ่งมีฝาพร้อมจุกยางปิดสนิท แล้วนำไปวัดหาปริมาณการตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixation activity) โดยวิธี Acetylene Ethylene Reduction Assay

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ Analysis of variance หากข้อมูลแสดงความแตกต่างในระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ขึ้นไป นำข้อมูลนั้นมาเปรียบเทียบหาความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test

## ผลและวิจารณ์

### ผลผลิตน้ำหนักแห้ง

ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ยถั่วเซนโตรซีมาจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส และคลุกเชื้อไรโซเบียม การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับ การคลุกเชื้อไรโซเบียม (ตารางที่ 1) การคลุกเชื้อไรโซเบียมจะทำให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ทุกอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส และทุกช่วงอายุการเก็บเกี่ยว ยกเว้นที่อายุการเก็บเกี่ยว 2 เดือน ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ทั้งนี้อาจจะเป็นเนื่องจากที่จุดเริ่มต้นการเจริญเติบโตของถั่วมีฟอสฟอรัสต่ำ จึงทำให้ถั่วตรึงไนโตรเจนได้ต่ำ แต่จะมีการตรึงไนโตรเจนได้มากขึ้นเมื่อถั่วมีอายุมากขึ้น ผลผลิตน้ำหนักแห้งจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2) ไม่ว่าจะใส่หรือไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส หรือไม่คลุกหรือคลุกเชื้อไรโซเบียม ถั่วจะมีน้ำหนักแห้งสูงสุดที่อายุ 4 เดือน

### ผลผลิตในโตรเจน

ผลผลิตในโตรเจนเฉลี่ยจะได้ผลเช่นเดียวกับผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ย คือจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและคลุกเชื้อไรโซเบียม การคลุกเชื้อไรโซเบียมจะทำให้ผลผลิตในโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ทุกอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสและทุกอายุการเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 3) ยกเว้นที่อายุการเก็บเกี่ยว 2 เดือน การคลุกและไม่คลุกเชื้อไรโซเบียมจะให้ผลผลิตในโตรเจนไม่แตกต่างกัน เนื่องจากที่ระยะเริ่มต้นการเจริญเติบโตของถั่วยังไม่มีการตรึงไนโตรเจน หรือมีการตรึงไนโตรเจนน้อย แต่เมื่อถั่วอายุมากขึ้นการคลุกไรโซเบียมจะให้ผลผลิตในโตรเจนดีกว่า และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4) และจะมีการผลิตในโตรเจนสูงสุดที่อายุ 4 เดือน

### ปริมาณในโตรเจนที่ตรึงได้

ปริมาณการตรึงไนโตรเจนเฉลี่ยถั่วเซนโตรซีมาจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อมีการคลุกเชื้อไรโซเบียม ไม่ว่าจะใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราใด (ตารางที่ 5) หรือที่ทุกช่วงอายุการเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 6) การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะไม่ทำให้ถั่วตรึงไนโตรเจนได้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถ้าไม่มีการคลุกเชื้อไรโซเบียม (ตารางที่ 7) แต่จะทำให้ถั่วตรึงไนโตรเจนได้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อมีการคลุกเชื้อไรโซเบียม ถั่วจะตรึงไนโตรเจนได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละช่วงอายุการเก็บเกี่ยวในกรณีที่ไม่มีการคลุกเชื้อไรโซเบียม (ตารางที่ 8) แต่ถั่วจะตรึงไนโตรเจนได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละช่วงอายุการเก็บเกี่ยวที่คลุกเชื้อไรโซเบียม และจะตรึงไนโตรเจนได้สูงสุดอย่าง

มีนัยสำคัญทางสถิติที่อายุการเก็บเกี่ยว  $3\frac{1}{2}$  เดือน ซึ่งสามารถตรึงได้สูงถึง  $6.5221 \mu\text{mol C}_2\text{H}_4/\text{ต้น}/\text{ชม.}$  จะเห็นได้ว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส นั้น สามารถช่วยให้ถั่วตรึงไนโตรเจนได้สูงขึ้นเพียงเล็กน้อยซึ่งอาจจะเนื่องมาจากดินที่ปลูกมีปริมาณฟอสฟอรัสเกือบจะเพียงพอต่อความต้องการของถั่วแล้ว แต่การคลุกเชื้อไรโซเบียมจะช่วยให้ถั่วสามารถตรึงไนโตรเจนได้สูงขึ้นมากในทุกช่วงอายุการเก็บเกี่ยว สำหรับช่วงที่ถั่วสามารถตรึงไนโตรเจนได้สูงสุดคือที่อายุ  $3\frac{1}{2}$  เดือน หลังจากนั้นความสามารถในการตรึงไนโตรเจนของถั่วจะลดลง

## สรุป

การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและการคลุกเชื้อไรโซเบียมจะมีผลทำให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้ง และผลผลิตไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งและผลผลิตไนโตรเจนถั่วเช่นโตรซีมาจะมีค่าสูงสุดที่อายุ 4 เดือน การคลุกเชื้อไรโซเบียมจะมีผลทำให้ถั่วเช่นโตรซีมาตรึงไนโตรเจนได้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ทุกอัตราฟอสฟอรัส และที่ทุกช่วงอายุการเก็บเกี่ยว การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะไม่ทำให้ถั่วเช่นโตรซีมาตรึงไนโตรเจนได้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติถ้าไม่มีการคลุกเชื้อไรโซเบียม ปริมาณการตรึงไนโตรเจนของถั่วเช่นโตรซีมาจะมีค่าสูงสุดที่อายุ  $3\frac{1}{2}$  เดือน

## คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และได้รับความเอื้อเฟื้อในการวัดปริมาณการตรึงไนโตรเจน โดยวิธี Acetylene-Ethylene Reduction จากหมวดจุลินทรีย์ดิน กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

## เอกสารอ้างอิง

1. Fisher, M.J. and Campbell, N.A. The initial and residual response to phosphorus fertilizer of Townsville stylo in pure ungrazed sward at Katherine N.T. *Australian J. Exptl. Agr. Animal Husbandry*, 1972, 12, 488-494.
2. Jones, R.J. The place of legumes in tropical pasture. *ASPAC Food Fertilizer Technol. Centre Tech. Bull.*, 1972, 9.
3. Munns, D.N. Mineral nutrition and the legume symbiosis. In Hardy, R.W.F.(ed.). A. Treatise on Dinitrogen Fixation. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York, 1977, 353-391.
4. Steel, R.J.H. and Humphreys, R.L. Growth and phosphorus response of some pasture legume sown under coconuts in Bali. *Trop. Grasslands*, 1974, 8, 171-178.
5. Whyte, R.Q., Leisenner, C.N. and Trumble, H.C. Legume in Agricultural Studies, no. 21, F.A.O. Rome, 1953.

ตารางที่ 1. ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเซนโตรซีมาที่มีการคลุมเชื้อไรโซเบียมร่วมกับฟอสฟอรัส ที่ช่วงอายุการเก็บเกี่ยวต่าง ๆ (ก./กระถาง)

อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	การคลุมเชื้อไรโซเบียม	อัตราฟอสฟอรัส (มก. P/กระถาง)			ค่าเฉลี่ย
		0	25.64	102.56	
2	ไม่คลุมเชื้อไรโซเบียม	2.21 a	2.45 a	2.69 a	2.45
	คลุมเชื้อไรโซเบียม	2.40 a	3.25 b	3.55 b	3.07
	ค่าเฉลี่ย	2.31	2.85	3.12	
2½	ไม่คลุมเชื้อไรโซเบียม	3.26 a	3.40 a	3.53 a	3.40
	คลุมเชื้อไรโซเบียม	7.27 b	7.31 b	7.56 b	7.38
	ค่าเฉลี่ย	5.27	5.36	5.55	
3	ไม่คลุมเชื้อไรโซเบียม	3.59 a	3.82 a	4.27 a	3.89
	คลุมเชื้อไรโซเบียม	9.87 b	10.11 b	10.61 b	10.20
	ค่าเฉลี่ย	6.73	6.97	7.44	
3½	ไม่คลุมเชื้อไรโซเบียม	4.17 a	4.32 a	4.54 a	4.34
	คลุมเชื้อไรโซเบียม	12.35 b	17.72 b	17.81 b	15.96
	ค่าเฉลี่ย	8.26	11.02	11.18	
4	ไม่คลุมเชื้อไรโซเบียม	4.39 a	4.55 a	5.22 a	4.72
	คลุมเชื้อไรโซเบียม	18.50 b	18.58 b	18.86 b	18.65
	ค่าเฉลี่ย	11.45	11.57	12.04	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์ ของแต่ละช่วงอายุการเก็บเกี่ยว หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 95%

ตารางที่ 2. ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของถั่วเซนโตรซิมมาที่ช่วงอายุการเก็บเกี่ยวร่วมกับการคลุมเชื้อไรโซเบียมที่ฟอสฟอรัสอัตราต่าง ๆ (ก./กระถาง)

อัตราฟอสฟอรัส (มก. P/กระถาง)	อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	การคลุมเชื้อไรโซเบียม		ค่าเฉลี่ย
		ไม่คลุมเชื้อไรโซเบียม	คลุมเชื้อไรโซเบียม	
0	2	2.21 a	2.40 a	2.31
	2½	3.26 b	7.27 b	5.27
	3	3.59 bc	9.87 c	6.73
	3½	4.17 cd	12.35 d	8.26
	4	4.39 d	18.50 e	11.45
	ค่าเฉลี่ย		3.52	10.08
25.64	2	2.45 a	3.25 a	2.85
	2½	3.40 b	7.31 b	5.36
	3	3.82 bc	10.11 c	6.97
	3½	4.32 c	17.72 d	11.02
	4	4.55 c	18.58 e	11.57
	ค่าเฉลี่ย		3.71	11.39
102.56	2	2.69 a	3.55 a	3.12
	2½	3.53 b	7.56 b	5.55
	3	4.27 bc	10.61 c	7.44
	3½	4.54 cd	17.81 d	11.18
	4	5.22 d	18.86 e	12.04
	ค่าเฉลี่ย		4.05	11.68

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์ ของแต่ละอัตราฟอสฟอรัส หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 95%

ตารางที่ 3. ผลผลิตไนโตรเจนเฉลี่ยของถั่วเซนโตรซีมาที่มีการคลุมเชื้อโรโซเบียมร่วมกับฟอสฟอรัส ที่ช่วงอายุการเก็บเกี่ยวต่าง ๆ (มก./กระถาง)

อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	การคลุมเชื้อโรโซเบียม	อัตราฟอสฟอรัส (มก. P/กระถาง)			ค่าเฉลี่ย
		0	25.64	102.56	
2	ไม่คลุมเชื้อโรโซเบียม	38.75 a	48.29 a	54.15 a	47.06
	คลุมเชื้อโรโซเบียม	50.20 a	68.40 a	73.85 a	64.15
	ค่าเฉลี่ย	44.48	58.35	64.00	
2½	ไม่คลุมเชื้อโรโซเบียม	48.03 a	52.57 a	56.79 a	52.46
	คลุมเชื้อโรโซเบียม	131.37 b	146.21 b	164.48 b	147.35
	ค่าเฉลี่ย	89.70	99.39	110.64	
3	ไม่คลุมเชื้อโรโซเบียม	56.29 a	60.78 a	71.47 a	62.85
	คลุมเชื้อโรโซเบียม	218.12 b	229.59 b	239.35 b	229.02
	ค่าเฉลี่ย	137.21	145.19	155.41	
3½	ไม่คลุมเชื้อโรโซเบียม	71.45 a	74.95 a	80.33 a	75.58
	คลุมเชื้อโรโซเบียม	315.00 b	494.12 b	499.70 b	436.27
	ค่าเฉลี่ย	193.23	284.54	290.02	
4	ไม่คลุมเชื้อโรโซเบียม	71.94 a	75.03 a	86.44 a	77.80
	คลุมเชื้อโรโซเบียม	448.91 b	496.79 b	514.06 b	486.59
	ค่าเฉลี่ย	260.43	285.91	300.25	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์ ของแต่ละช่วงอายุการเก็บเกี่ยวหมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 95%

ตารางที่ 4. ผลผลิตไนโตรเจนเฉลี่ยของถั่วเซนโตรซีมาที่ช่วงอายุการเก็บเกี่ยว ร่วมกับการคลุมเชื้อโรโซเบียมที่ฟอสฟอรัสอัตราต่าง ๆ (มก./กระถาง)

อัตราฟอสฟอรัส (มก. P/กระถาง)	อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	การคลุมเชื้อโรโซเบียม		ค่าเฉลี่ย
		ไม่คลุมเชื้อโรโซเบียม	คลุมเชื้อโรโซเบียม	
0	2	38.75 a	50.20 a	44.48
	2½	48.03 ab	131.37 b	89.70
	3	56.29 ab	218.12 c	137.21
	3½	71.45 b	315.00 d	193.23
	4	71.94 b	448.91 e	260.43
	ค่าเฉลี่ย	57.29	232.72	
25.64	2	48.29 a	68.40 a	58.35
	2½	52.57 a	146.21 b	99.39
	3	60.78 a	229.59 c	145.19
	3½	74.95 a	494.12 d	284.54
	4	75.03 a	496.79 d	285.91
	ค่าเฉลี่ย	62.32	287.02	
102.56	2	54.15 a	73.85 a	64.00
	2½	56.79 a	164.48 b	110.64
	3	71.47 ab	239.35 c	155.41
	3½	80.33 ab	499.70 d	290.02
	4	86.44 b	514.06 d	300.25
	ค่าเฉลี่ย	69.84	298.29	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์ของฟอสฟอรัสแต่ละอัตรา หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 95%

ตารางที่ 5. ปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้เฉลี่ยของถั่วเซนโตรซิม่าที่มีการปลูกเชื้อไรโซเบียมที่ฟอสฟอรัส อัตราต่าง ๆ ( $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4$ /ต้น/ชม.)

การปลูกเชื้อไรโซเบียม	อัตราฟอสฟอรัส (มก. P/กระถาง)		
	0	25.64	102.56
ไม่ปลูกเชื้อไรโซเบียม	0.0918 a	0.1102 a	0.1545 a
ปลูกเชื้อไรโซเบียม	2.2895 b	2.8185 b	2.8345 b

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 95%

ตารางที่ 6. ปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้เฉลี่ยของถั่วเซนโตรซิม่าที่มีการปลูกเชื้อไรโซเบียมที่ช่วงอายุ การเก็บเกี่ยวต่าง ๆ ( $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4$ /ต้น/ชม.)

การปลูกเชื้อไรโซเบียม	ช่วงอายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)				
	2	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4
ไม่ปลูกเชื้อไรโซเบียม	0.0150 a	0.0616 a	0.1277 a	0.2879 a	0.1021 a
ปลูกเชื้อไรโซเบียม	0.3521 b	1.8592 b	2.7732 b	6.5221 b	1.7309 b

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 95%

ตารางที่ 7. ปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้เฉลี่ยของถั่วเซนโตรซิม่าที่ได้รับฟอสฟอรัสร่วมกับการปลูกและไม่ปลูกเชื้อไรโซเบียม ( $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4/\text{ต้น/ชม.}$ )

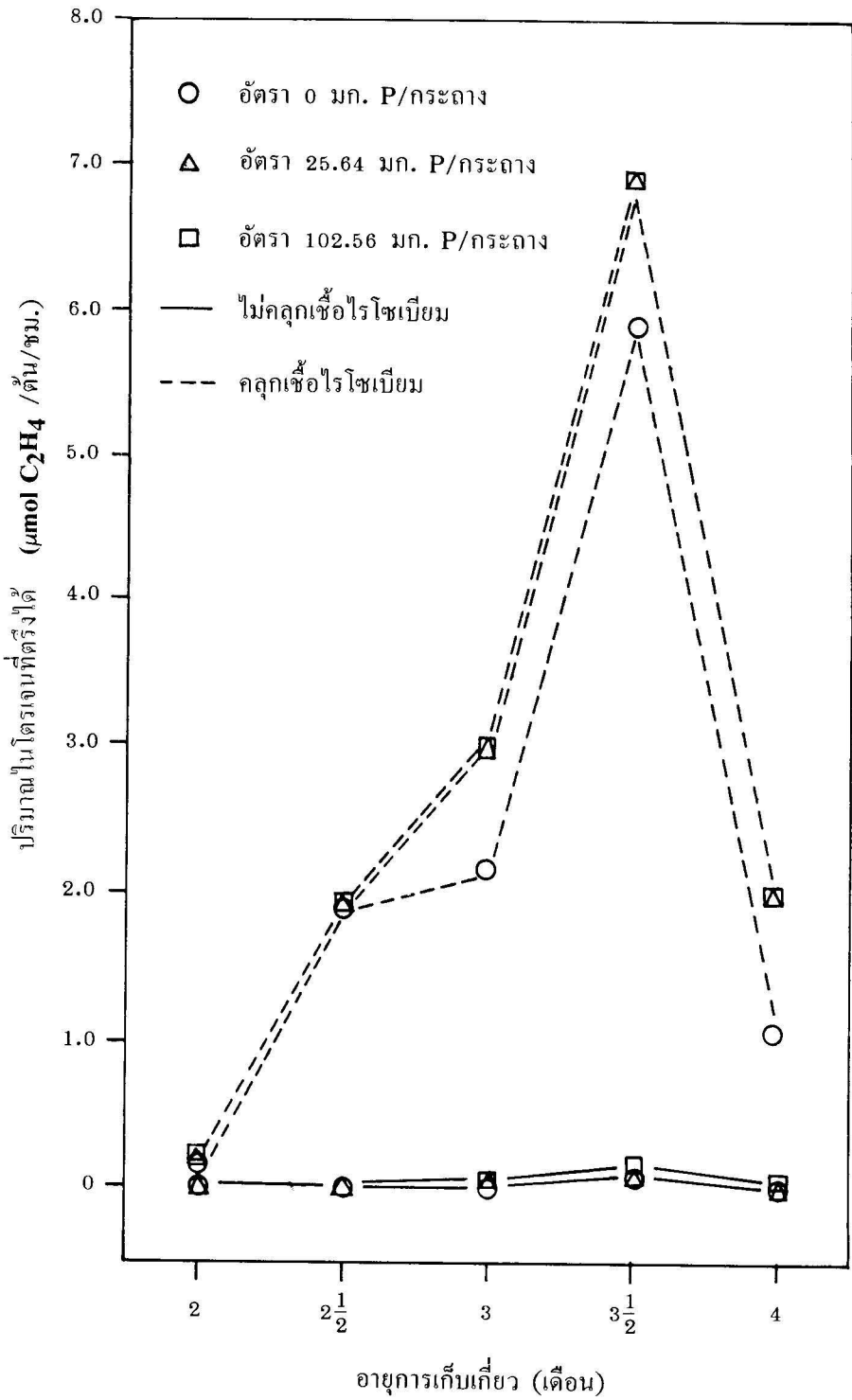
อัตราฟอสฟอรัส (มก. P/กระถาง)	การปลูกเชื้อไรโซเบียม	
	ไม่ปลูกเชื้อไรโซเบียม	ปลูกเชื้อไรโซเบียม
0	0.0918 a	2.2895 a
25.64	0.1102 a	2.8185 b
102.56	0.1545 a	2.8345 b

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 95%

ตารางที่ 8. ปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้เฉลี่ยของถั่วเซนโตรซิม่าในช่วงอายุการเก็บเกี่ยวที่ไม่ได้รับการปลูกและปลูกเชื้อไรโซเบียม ( $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4/\text{ต้น/ชม.}$ )

อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	การปลูกเชื้อไรโซเบียม	
	ไม่ปลูกเชื้อไรโซเบียม	ปลูกเชื้อไรโซเบียม
2	0.0150 a	0.3521 a
2 $\frac{1}{2}$	0.0616 a	1.8592 b
3	0.1277 a	2.7732 c
3 $\frac{1}{2}$	0.2879 a	6.5221 d
4	0.1021 a	1.7309 b

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 95%



รูปที่ 1. ปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้เฉลี่ยของถั่วเซนโตรซิม่า

# การแยกเชื้อแบคทีเรียจากลำคอผู้ป่วยที่มีอาการเจ็บคอ\*

## THROAT SWAB CULTURE FOR PATHOGENIC BACTERIA FROM PATIENTS WITH SORE THROAT

สุภาภรณ์ พัวเพิ่มพูลศิริ

Supaporn Puapermpoonsiri

สมชาติ แสงสะอาด

Somchat Sangsa-ad

สุชาติ สิริใจชิงกุล

Suchat Sirijaichingkul

คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Faculty of Medicine, Khon Kaen University

### บทคัดย่อ

การสำรวจแยกชนิดของเชื้อแบคทีเรียในลำคอผู้ป่วยที่มีอาการเจ็บคอ ซึ่งมารับการรักษาที่แผนกผู้ป่วยนอก ภาควิชาโสต ศอและนาสิก คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และที่คลินิกศึกษาโรคหู คอ จมูก ในจังหวัดขอนแก่น จำนวน 200 ราย พบเชื้อที่สำคัญ ๆ ดังนี้คือ Beta hemolytic streptococci กลุ่ม A 10%, *Streptococcus pneumoniae* 6%, *Staphylococcus aureus* 45%, bacilli แกรมลบ 32% และ *Candida* sp. 9% ผลการทดสอบความไวของเชื้อเหล่านี้ต่อยาปฏิชีวนะพบว่าเชื้อ Beta hemolytic streptococci กลุ่ม A และเชื้อ *Streptococcus pneumoniae* ยังคงมีความไวต่อยาเพนิซิลลิน (Penicillin) ส่วนเชื้อ *Staphylococcus aureus* เป็นเชื้อที่พบบ่อยที่สุด เกือบทุกสายพันธุ์คือต่อยาแอมพิซิลลิน (Ampicillin) และเพนิซิลลิน

---

\* รายงานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น

## ABSTRACT

*An investigation of bacteria isolated from throat swab culture of 200 patients attending ENT clinics at the outpatient department, Faculty of Medicine, Khon Kaen University and ENT private clinics in Changwat Khon Kaen has been reported. The microorganisms isolated were Beta hemolytic streptococci group A 10%, Streptococcus pneumoniae 6%, Staphylococcus aureus 45%, Gram negative bacilli 32% and Candida sp. 9% The susceptibility of these organisms to antimicrobial agents was tested, it was found that Beta hemolytic streptococci group A and Streptococcus pneumoniae were still sensitive to Penicillin; and Staphylococcus aureus, the most frequently isolated, was resisted to Ampicillin and Penicillin.*

## คำนำ

การติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ การติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจส่วนต้น (upper respiratory tract infection) ซึ่งได้แก่ การติดเชื้อของโพรงจมูก ลำคอ (pharynx) และกล่องเสียง (larynx) และการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง (lower respiratory tract infection) ได้แก่ การติดเชื้อของหลอดลม (trachea) และปอด<sup>1</sup>

โรคติดเชื้อของระบบทางเดินหายใจส่วนต้นนี้ สามารถติดต่อไปยังบุคคลอื่นได้ง่ายและรวดเร็วกว่า 90% มีสาเหตุมาจากการติดเชื้อไวรัส ซึ่งทำให้เกิดโรคได้หลายลักษณะ โดยมีอาการตั้งแต่หัวัดธรรมดา คออักเสบ จนถึงปอดอักเสบ ในรายที่เป็นหัวัดธรรมดา และไม่มีโรคทางระบบหายใจมาก่อน ไม่ค่อยพบภาวะแทรกซ้อน พบว่า Rhinovirus และ Parainfluenzavirus เป็นสาเหตุสำคัญ โรคหัวัดธรรมดาที่เกิดจากเชื้อไวรัสมักหายได้เองใน 2-3 วัน แต่ผู้ป่วยที่มีโรคอยู่ก่อนแล้ว การอักเสบติดเชื้ออาจลุกลามเข้าไปในหลอดลมได้ อย่างไรก็ตาม ไม่ค่อยพบว่าโรคมีการลุกลามจนเกิดเป็นปอดอักเสบจากเชื้อไวรัส

การอักเสบของลำคอมักจะพบเสมอในขณะที่มีการอักเสบของทางเดินหายใจช่วงใดช่วงหนึ่งหรืออาจพบร่วมกับการอักเสบติดเชื้อที่อื่นในร่างกาย สาเหตุของการอักเสบของลำคอและต่อมทอนซิลส่วนใหญ่ก็เกิดจากการติดเชื้อไวรัส ผู้ป่วยจะมีอาการเจ็บคอ กลืนลำบาก ปวดศีรษะเล็กน้อย อ่อนเพลีย ตรวจพบมีลำคอแดงและต่อมทอนซิลบวมแดง และมักมีไข้ต่ำ ส่วนการอักเสบจากเชื้อแบคทีเรียมักพบได้ประมาณ 10% เชื้อแบคทีเรียที่สำคัญที่เป็นสาเหตุมี 2 ชนิดคือ เชื้อ beta hemolytic streptococci กลุ่ม A และเชื้อ *Corynebacterium diphtheriae* การอักเสบจากเชื้อแบคทีเรียอาจแยกออกจากการอักเสบจากเชื้อไวรัสได้ โดยมากการอักเสบจากเชื้อแบคทีเรียมักมีอาการมากกว่าการติดเชื้อไวรัส การอักเสบจากเชื้อ *Streptococcus* ผู้ป่วยจะมีไข้สูงพบการไหลซึมของเลือด (exudate) ที่ผนังลำคอ และบนต่อมทอนซิล

ร่วมกับที่ต่อมน้ำเหลืองกลุ่มหน้าของบริเวณลำคอโตและเจ็บ จำนวนเม็ดเลือดขาวสูง การอักเสบจากเชื้อ *Streptococcus* ในเด็กเล็ก อาจมีอาการแบบหวัดเรื้อรัง และมีการอักเสบของลำคองเล็กน้อย มีไข้ต่ำ อาจเป็นอยู่ประมาณ 4-8 สัปดาห์ การวินิจฉัยควรใช้การเพาะเชื้อที่ได้จากบริเวณลำคอ ส่วนการอักเสบจากเชื้อ *Corynebacterium diphtheriae* จะพบลักษณะคล้ายแผ่นเยื่อ (pseudomembrane) สีเทาเหลืองหรือสีน้ำตาล เหนียว เชื้อออกได้ยาก ปิดกั้นทางเดินหายใจ ถ้าขูดออกจะมีเลือดออกที่เยื่อซึ่งลึกลงไป มีไข่สูงปานกลาง ผู้ป่วยจะมีอาการมากกว่าพยาธิสภาพที่เห็นจากลำคอ ฉะนั้น จึงควรวินิจฉัยการตรวจเพาะเชื้อจากบริเวณลำคอด้วย

การอักเสบของทางเดินหายใจส่วนต้นนี้ ปกติจะหายเองถ้าไม่มีภาวะแทรกซ้อน เช่น มีการติดเชื้อแบคทีเรียซ้ำเติม หรือการลุกลามไปสู่อวัยวะใกล้เคียง ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณลำคอมีเชื้อแบคทีเรียอยู่หลายชนิด เป็นแบคทีเรียประจำถิ่น (normal flora) โดยไม่ก่อให้เกิดโรค เช่น เชื้อ *Pneumococci*, *Streptococci*, *Hemophilus* และ *Neisseria* เป็นต้น รวมทั้งเชื้อ hemolytic streptococci กลุ่ม A ซึ่งอาจพบได้ในคนปกติประมาณ 7-30% แต่เชื้อชนิดสำคัญที่ทำให้เกิดโรคจะพบได้จำนวนน้อย<sup>1</sup>

เมื่อมีการอักเสบของทางเดินหายใจส่วนต้น ทั้งที่มีสาเหตุจากการติดเชื้อไวรัสหรือจากการติดเชื้อแบคทีเรียซ้ำเติม อาจทำให้เกิดการอักเสบลุกลามของเชื้อไปสู่บริเวณใกล้เคียง เช่น เกิดเป็นไซนัสอักเสบ (sinusitis) หูชั้นกลางอักเสบ (otitis media) ซึ่งเชื้อที่พบบ่อยคือ *Pneumococci* พบได้กว่า 50% และเชื้อ *Hemophilus influenzae* พบได้ประมาณ 30% ส่วนเชื้อ *Staphylococcus* พบน้อย<sup>1</sup>

การอักเสบของทางเดินหายใจส่วนต้นนี้ กว่า 90% เกิดจากเชื้อไวรัส และโรคหายได้เองโดยไม่มีอาการแทรกซ้อน ฉะนั้นการรักษาก็เป็นเพียงการรักษาตามอาการ เนื่องจากเป็นภาวะที่พบบ่อยมาก ผู้ป่วยส่วนใหญ่มีอาการไม่รุนแรง แพทย์จึงให้ความสนใจต่อผู้ป่วยโรคนี้ไม่มากเท่าที่ควร และแพทย์มีความโน้มเอียงไปในทางที่จะใช้ยาปฏิชีวนะเนื่องจากเกรงว่าผู้ป่วยอาจมีโรคแทรกซ้อนที่เกิดจากแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคนั้น ๆ เช่น ปอดอักเสบ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรีย เป็นภาวะที่พบได้บ่อยและมีความสำคัญที่สุดเพราะมีอาการทางคลินิกรุนแรง ซึ่งอาจทำให้ผู้ป่วยเสียชีวิตหรือมีภาวะแทรกซ้อนอื่น ๆ เกิดขึ้นได้ง่าย เชื้อที่เป็นสาเหตุส่วนใหญ่ คือ *Streptococcus pneumoniae* แต่ในระยะหลัง ๆ พบว่าปอดอักเสบในผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาลมีอุบัติการณ์เพิ่มขึ้น 0.5-15%<sup>20</sup> กลไกของการเกิดโรคเชื่อว่าเกิดจากการติดเชื้อจากเครื่องมือเครื่องใช้ของโรงพยาบาล และการใช้ยาปฏิชีวนะมากเกินไป เชื้อที่เป็นสาเหตุที่สำคัญคือ *Streptococci*, *Staphylococci* และเชื้อ bacilli แกรมลบ<sup>19</sup> เนื่องจากแพทย์เกรงว่าผู้ป่วยอาจมีโรคแทรกซ้อนที่เกิดจากแบคทีเรีย การใช้ยาปฏิชีวนะมากเกินไปนอกจากทำให้สิ้นเปลืองแล้ว ยังทำให้ผู้ป่วยได้รับผลแทรกซ้อนจากยาและทำให้อุบัติการณ์ของแบคทีเรียดื้อยาเพิ่มขึ้นด้วย

การวินิจฉัยและรักษาโรคติดเชื้อระบบหายใจยากกว่าระบบอื่น เนื่องจากอาการเหมือนกัน เช่น เจ็บคอ อาจเกิดจากไวรัส แบคทีเรียหรือเชื้อรา เป็นต้น การตรวจทางคลินิกอาจจะไม่สามารถที่จะบอกว่าเกิดจากเชื้ออะไร การเพาะเชื้อทางห้องปฏิบัติการนั้นไม่สามารถทำได้ในผู้ป่วยทั่วไป เนื่องจากจำนวนผู้ป่วยมากกว่าขีดความสามารถของห้องปฏิบัติการที่จะทำได้ ผู้ป่วยส่วนมากที่มีการรักษาด้วยยาปฏิชีวนะมักมีอาการรุนแรง ซึ่งต้องการการรักษาอย่างรีบด่วน เพื่อทำลายเชื้อ *Streptococci* ให้หมดไป และป้องกันภาวะแทรกซ้อนภายหลัง เช่น ไข้รูห์มาติก (rheumatic fever) และไตอักเสบ (glomerulonephritis) ในกรณีนี้ผู้ป่วยไม่สามารถที่จะรอผลการตรวจเพาะเชื้อได้ ส่วนการแปลผลการตรวจย้อมหรือเพาะเชื้อจากเสมหะนั้น มีความยุ่งยากเนื่องจากเสมหะมักปนเปื้อนด้วยจุลชีพที่อยู่ในลำคอและปาก การสำรวจหาเชื้อที่เป็นสาเหตุของอาการเจ็บคอในภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ยังไม่มีผู้ใดได้ทำการศึกษามาก่อนว่าสาเหตุของอาการเจ็บคอเกิดจากเชื้อแบคทีเรียชนิดใดบ้าง และภาวะการดื้อยาที่ใช้ในการรักษาเชื่อนั้นเป็นอย่างไร<sup>2, 8</sup> ฉะนั้น การศึกษาโดยการสำรวจหาเชื้อและชนิดของแบคทีเรียในลำคอของคนที่มีอาการเจ็บคอในภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และสำรวจภาวะของการดื้อยาปฏิชีวนะที่ใช้ในการรักษาในครั้งนี้จะเป็แนวทางให้ได้มาซึ่งข้อมูลดังกล่าว

## อุปกรณ์และวิธีการ

### วิธีดำเนินงาน

1. ทำการเก็บตัวอย่างจากลำคอ (throat swab) ในคนที่มีอาการเจ็บคอและในคนปกติ เพื่อเป็นกลุ่มควบคุม (control)
2. ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อตัวอย่างจากลำคอ
3. แยกชนิดของแบคทีเรียที่ตรวจพบและทำการทดสอบความไวของเชื้อแบคทีเรียต่อยาปฏิชีวนะชนิดต่าง ๆ

### การเก็บตัวอย่างจากลำคอ

ทำการเก็บตัวอย่างส่งตรวจจากลำคอของผู้ป่วยที่มีอาการเจ็บคอ ที่มารับการตรวจรักษาที่โรงพยาบาลศรีนครินทร์ ในแผนกผู้ป่วยนอก ภาควิชาโสต ศอ และนาสิกและผู้ป่วยที่มารับการตรวจรักษาที่คลินิก โรคหู คอ จมูก ของเอกชนในจังหวัดขอนแก่น รวม 200 คน โดยเก็บตัวอย่างจากลำคอของผู้ป่วยซึ่งแพทย์ได้ตรวจร่างกายและให้การวินิจฉัยว่ามีอาการอักเสบของระบบหายใจส่วนต้นดังต่อไปนี้

1. ทอนซิลอักเสบชนิดเฉียบพลันหรือเรื้อรัง (acute หรือ chronic tonsillitis)
2. คออักเสบชนิดเฉียบพลันหรือเรื้อรัง (acute หรือ chronic pharyngitis)

### 3. คอร่วมกับทอนซิลอักเสบชนิดเฉียบพลันหรือเรื้อรัง (acute หรือ chronic pharyngotonsillitis)

กลุ่มควบคุม คือคนปกติที่ไม่มีอาการป่วยของโรคในระบบทางเดินหายใจ ในกลุ่มนี้เป็นนักศึกษาแพทย์ชั้นปีที่ 2 จำนวน 28 คน และนักเรียนที่สอบผ่านข้อเขียนแล้วมาตรวจร่างกายเพื่อเข้าศึกษาต่อในคณะต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น จำนวน 172 คน รวมทั้งสิ้น 200 คน

การเก็บตัวอย่างใช้สำลีพันปลายไม้ที่สะอาดปราศจากเชื้อ ป้ายลำคอตรงต่อมทอนซิลทั้งข้างซ้ายและข้างขวา เพดานด้านหลังและบริเวณที่เห็นว่ามีอาการอักเสบ เก็บตัวอย่างส่งตรวจใส่ไว้ใน Stuart's transport medium แล้วนำส่งตรวจทางห้องปฏิบัติการภายใน 24 ชม.

#### การเพาะเชื้อ

นำตัวอย่างที่ป้ายจากลำคอผู้ป่วยและคนปกติ มาเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Blood agar, Mac Conkey agar และ Chocolate agar plate แล้วนำไปเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 37° ซ. ในบรรยากาศที่มีออกซิเจน ยกเว้น Chocolate agar plate นำไปเพาะเลี้ยงในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 3-10% ใน candle jar เป็นเวลา 24-48 ชม.

#### การแยกชนิดของเชื้อแบคทีเรีย

การแยกชนิดของเชื้อแบคทีเรียที่ขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อในเบื้องต้น อาศัยคุณสมบัติต่าง ๆ ของเชื้อ เช่น ลักษณะโคโลนี การทำลายเม็ดเลือดแดง (hemolysis) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Blood agar plate การย้อมสีแกรมและการทดสอบ catalase เป็นต้น ส่วนการวิเคราะห์และแยกชนิดเชื้อแบคทีเรียอื่น ๆ อาศัยวิธีการแยกเชื้อตาม Manual of Clinical Microbiology และ Bailey and Scott's diagnostic Microbiology<sup>6, 11</sup>

#### การทดสอบแยกกลุ่มของเชื้อ Beta hemolytic streptococci เบื้องต้น

นำเชื้อ Beta hemolytic streptococci ที่แยกได้ไปวิเคราะห์แยกกลุ่มโดยทำการทดสอบเบื้องต้นโดยวิธี Bacitracin sensitivity test

## การทดสอบ Bacitracin<sup>12</sup>

1. เชื้อเชื้อ Beta hemolytic streptococci ลงบน Blood agar plate และเชื้อเชื้อเป็นเส้น (streak) ที ๆ ประมาณครึ่งจานเพาะเชื้อ
2. ใช้ปากคีบที่ปราศจากเชื้อ คีบแผ่นยา Bacitracin ความเข้มข้น 0.04 ยูนิต วางลงตรงกลางของบริเวณที่เชื้อเชื้อไว้ และใช้ปลายปากคีบกดที่แผ่นยาเบา ๆ ให้ติดกับผิวอาหารเลี้ยงเชื้อ
3. นำจานเพาะเชื้อไปเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 37° ซ. เป็นเวลา 18–24 ชม.
4. อ่านผล โดยการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของบริเวณที่ไม่มีเชื้อแบคทีเรียขึ้นรอบ ๆ แผ่นยา (zone of inhibition) จะพบว่าเชื้อ Beta hemolytic streptococci กลุ่ม A จะไม่ขึ้นรอบ ๆ แผ่นยา ส่วนเชื้อ Beta hemolytic streptococci กลุ่มอื่น ๆ สามารถเจริญอยู่รอบ ๆ แผ่นยาได้

## การแยกกลุ่มเชื้อ Beta hemolytic streptococci กลุ่ม A ใช้วิธี agar gel diffusion<sup>4</sup>

1. การสกัดแอนติเจน สกัดแอนติเจนจากเชื้อ Beta hemolytic streptococci โดยใช้วิธีนึ่งอัด (autoclave) ตามวิธีการของ Rantz และ Randall<sup>16</sup> ดังนี้คือ
  - 1.1 เพาะเลี้ยงเชื้อ Beta hemolytic streptococci ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว Todd-Hewitt broth ปริมาตร 40 มล. เพาะเลี้ยงไว้ที่อุณหภูมิ 37° ซ. เป็นเวลา 18–24 ชม.
  - 1.2 เมื่อครบเวลา นำหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อไปปั่น เพื่อให้เชื้อตกตะกอน
  - 1.3 ดูดน้ำใสส่วนบนทิ้ง และเติมน้ำเกลือ 0.85% จำนวน 0.5 มล. เขย่าหลอดให้ตะกอนกระจายออก
  - 1.4 นำไปเข้าเครื่องนึ่งอัด ใช้ความร้อนที่ 121° ซ. ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว เป็นเวลา 15–20 นาที
  - 1.5 นำไปปั่น เพื่อให้เชื้อตกตะกอน
  - 1.6 แอนติเจนที่สกัดไว้จะละลายอยู่ในน้ำใสส่วนบน เก็บน้ำใสไว้เพื่อนำไปทดสอบต่อไป

การแยกกลุ่มเชื้อ Beta hemolytic streptococci กลุ่ม A ใช้วิธี agar-gel diffusion<sup>11</sup> ที่ได้ดัดแปลงวิธีการทดสอบใหม่<sup>4</sup>

1. เตรียม 1% Noble agar ในน้ำเกลือ 0.85% และนำไปต้มในน้ำเดือด 15 นาทีเพื่อให้เนื้อวุ้นละลายเข้ากันดี แล้วแช่ไว้ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 50° ซ.
2. ใช้ปิเปตขนาด 5 มล. ดูด Noble agar หลอมเหลวประมาณ 4 มล. เทลงบนสไลด์ที่สะอาดซึ่งวางอยู่บนพื้นราบ โดยเริ่มเทจากมุมหนึ่งของสไลด์ลากไปจนเต็มสไลด์ทิ้งไว้ให้เย็นและแข็งตัว
3. นำมาเจาะหลุมด้วย well cutter ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มล. ตรงกลาง 1 หลุม และรอบ ๆ อีก 6 หลุม

4. ใช้หลอดรูเล็ก (capillary tube) ดูดแอนติเซรัม (antiserum) ต่อ Beta hemolytic streptococci กลุ่ม A ลงตรงหลุมกลาง
5. ใช้หลอดรูเล็ก ดูดแอนติเจนที่สกัดจากเชื้อ ลงในหลุมรอบ ๆ หลุมละ 1 สายพันธุ
6. นำแผ่นสไลด์ใส่ในกรอบที่มีสำลีสุบน้ำวางอยู่ และนำไปใส่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°ซ. เป็นเวลา 24 ชม. แล้วนำแผ่นสไลด์ไปอ่านผล
7. การอ่านผลถ้าพบมี precipitin line เกิดขึ้นระหว่างหลุมที่หยอดแอนติเจนที่สกัดจากเชื้อและหลุมของแอนติเซรัม แสดงว่าเชื้อที่นำมาทดสอบเป็นเชื้อ Beta hemolytic streptococci กลุ่ม A

การแยกเชื้อ *Streptococcus pneumoniae* ใช้วิธี Optochin sensitivity test สำหรับการแยกเชื้อ *Staphylococci* ใช้การทดสอบการกลายเป็นลิ่ม (Coagulase test) Mannitol fermentation test ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Mannitol salt agar และ DNase test

การทดสอบความไวของเชื้อแบคทีเรียต่อยาปฏิชีวนะ ใช้วิธีการทดสอบของ Kirby-Bauer<sup>5</sup>

## ผล

ผู้ป่วยจำนวน 200 คน เป็นชาย 96 คน (48%) หญิง 104 คน (52%) อายุต่ำสุด 8 ปี สูงสุด 61 ปี (รายละเอียดแสดงในตารางที่ 1) กลุ่มอายุที่มาหาแพทย์มีจำนวนมากที่สุด ได้แก่ กลุ่มอายุ 20-29 ปี รองลงมาได้แก่กลุ่มอายุ 30-39 ปี

จากการจำแนกผู้ป่วยที่มาหาแพทย์ด้วยอาการเจ็บคอ เมื่อแพทย์ได้ทำการตรวจร่างกาย และให้การวินิจฉัยตามลักษณะพยาธิสภาพของลำคอและอาการภายนอก พบว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่ 47% มาหาแพทย์ด้วยอาการของต่อมทอนซิลอักเสบชนิดเฉียบพลัน อาการที่พบบ่อยรองลงมาได้แก่ ต่อมทอนซิลอักเสบแบบเรื้อรัง พบถึง 24% นอกจากนี้ผู้ป่วยมีอาการอักเสบของต่อมทอนซิลร่วมกับมีการอักเสบของลำคอ ทั้งที่เป็นชนิดเฉียบพลันและชนิดเรื้อรัง ดังแสดงในตารางที่ 2

ผลการเพาะเชื้อจากตัวอย่างที่ป้ายจากลำคอผู้ป่วยจำนวน 200 คน และคนปกติ 200 คน พบว่าในกลุ่มคนปกติ จำนวน 52% พบเชื้อแบคทีเรียประจำถิ่นของลำคอ (normal throat flora) อันได้แก่ alpha hemolytic streptococci, non hemolytic streptococci, *Staphylococcus epidermidis*, Diphtheroids และ *Neisseria* sp. เป็นต้น ส่วนกลุ่มผู้ป่วยที่มีอาการเจ็บคอ พบแบคทีเรียประจำถิ่นของลำคอได้เพียง 25% เท่านั้น เชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของอาการเจ็บคอได้แก่ Beta hemolytic streptococci กลุ่ม A, *Streptococcus pneumoniae*, Beta hemolytic streptococci กลุ่มอื่น ๆ, *Staphylococcus aureus*

และ bacilli แกรมลบ พบได้ 10%, 6%, 23%, 45% และ 32% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3 จำนวนแบคทีเรียดังกล่าวนี้พบในลำคอของคนปกติได้ในอัตราที่ต่ำกว่า ส่วนเชื้อจุลินทรีย์อื่นที่พบได้แก่เชื้อ *Candida* sp. พบได้จากลำคอของคนที่มีอาการเจ็บคอ และคอของคนปกติ 9% และ 1% ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากลำคอของผู้ป่วยที่มีอาการเจ็บคอแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรังแล้ว พบว่าในกลุ่มที่มีอาการแบบเฉียบพลันพบแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของอาการเจ็บคอ เช่น *Streptococcus pyogenes*, *Streptococcus pneumoniae*, *Staphylococcus aureus* และ bacilli แกรมลบได้สูงกว่ากลุ่มที่มีอาการแบบเรื้อรัง ดังแสดงในตารางที่ 4

สำหรับแบคทีเรียแกรมลบรูปแท่งที่แยกได้จากลำคอของผู้ป่วยที่มีอาการเจ็บคอนั้น พบเชื้อ *Klebsiella pneumoniae* ได้สูงสุดคือ 9% รองลงมาได้แก่ *Enterobacter* sp. และ *Pseudomonas aeruginosa* พบในจำนวนเท่ากันคือ 6% ส่วน *E. coli* พบ 5% เชื้อ *Acinetobacter* var. *anitratus* และ *Acinetobacter* var. *Iwoffii* พบ 3% และ 2% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบเชื้อ *Pseudomonas pseudomallei* 2 ราย (1%) ดังแสดงในตารางที่ 5

ผลการเพาะเชื้อจากลำคอของคนที่มีอาการเจ็บคอ เชื้อแบคทีเรียที่พบบ่อยที่สุดได้แก่ *Staphylococcus aureus* พบสูงถึง 45% เมื่อเทียบกับกลุ่มคนปกติพบเพียง 26.4% เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบความไวของเชื้อ *Staphylococcus aureus* ที่แยกจากผู้ป่วยและคนปกติต่อยาปฏิชีวนะชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการรักษา พบว่าเชื้อ *Staphylococcus aureus* ที่แยกได้จากลำคอของคนทั้ง 2 กลุ่มนี้ ส่วนใหญ่ให้ผลการทดสอบความไวต่อยาปฏิชีวนะใกล้เคียงกัน ยกเว้นการทดสอบความไวต่อยาแอมพิซิลลินและเพนิซิลลิน พบว่าเชื้อที่แยกได้จากคนปกติยังคงมีความไวต่อยาทั้ง 2 ตัวนี้อยู่บ้าง คือ 7.5% และ 3.8% ตามลำดับ แต่เชื้อที่แยกได้จากคนกลุ่มที่มีอาการเจ็บคอนั้น เชื้อทุกตัวคือต่อยาดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 6 นอกจากนี้ยังพบว่า *Staphylococcus aureus* ทุกตัว ทั้งที่แยกจากผู้ป่วยและกลุ่มคนปกติยังคงมีความไวต่อยาเซฟาโลธิน (Cephalothin), โค-ไตรโมซาโซล (Co-trimoxazole), อีริโทรมัยซิน (Erythromycin) และเมธิซิน (Methicilin)

การทดสอบความไวของเชื้อ *S. pyogenes* และ *S. pneumoniae* ต่อยาปฏิชีวนะที่ใช้ในการรักษาโรคติดเชื้อนี้ พบว่าเชื้อทั้งสองชนิดนี้ยังคงมีความไวอย่างมากต่อยาเพนิซิลลิน

## วิจารณ์

จากผลการศึกษาสำรวจหาเชื้อแบคทีเรียจากลำคอของคนที่มีอาการเจ็บคอและจากกลุ่มคนปกติ ในครั้งนี้ พบเชื้อ Beta hemolytic streptococci กลุ่ม A หรือ *S. pyogenes* จากลำคอของคนที่มีอาการเจ็บคอได้เพียง 10% และพบในกลุ่มของผู้ป่วยที่มีอาการเจ็บคอแบบเฉียบพลัน โดยมีการอักเสบของลำคอ และ/หรือมีอาการอักเสบของต่อมทอนซิลร่วมด้วย แต่จากการศึกษาของพินดา ชัยเนตร และคณะ<sup>8</sup> ซึ่งศึกษาในเด็กกลุ่มอายุระหว่าง 1-15 ปี พบว่า เด็กในกลุ่มที่มีอาการเจ็บคอซึ่งมีอาการไข้ และพบการไหลซึมของเลือดที่ต่อมทอนซิลและจากลำคอ พบเชื้อ *S. Pyogenes* ได้สูงถึง 26% แต่ถ้าเป็นในกลุ่มที่มีการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจส่วนต้น พบเชื้อ *S. pyogenes* ได้เพียง 11% เท่านั้น ซึ่งอัตราการพบเชื่อนี้เท่ากับที่พบในเด็กกลุ่มปกติ แต่อย่างไรก็ตามก็ไม่อาจเปรียบเทียบอัตราการพบเชื้อครั้งนี้ได้โดยตรง ทั้งนี้เนื่องจากศึกษาในกลุ่มอายุที่ต่างกัน การที่ผลของการศึกษานี้พบเชื้อ Beta hemolytic streptococci กลุ่ม A ได้ในอัตราที่ต่ำก็อาจเป็นไปได้ว่า กลุ่มที่ศึกษานี้เป็นกลุ่มผู้ใหญ่ซึ่งอาจได้รับยาปฏิชีวนะมาบ้างแล้ว จึงทำให้อัตราการพบเชื้อ *S. pyogenes* ต่ำลง

สำหรับอัตราการตรวจพบเชื้อ *S. pneumoniae* ก็เช่นเดียวกันกับเชื้อ *S. pyogenes* คือพบได้ในอัตราค่อนข้างต่ำคือเพียง 6% และพบได้จากกลุ่มที่มีอาการเจ็บคอแบบเฉียบพลัน และจากการสำรวจเด็กที่มีอาการเจ็บคอก็พบได้เพียง 4-6% เท่านั้น<sup>9</sup> และไม่พบเชื่อนี้ในลำคอของเด็กปกติที่ทำการศึกษาเลย สำหรับในผู้ใหญ่อาจพบเชื้อ *S. pneumoniae* ได้บ้างในจำนวนน้อย ๆ สำหรับเชื้อ Beta hemolytic streptococci กลุ่มอื่น ๆ ที่นอกเหนือจาก กลุ่ม A แล้วพบได้ทั้งในกลุ่มที่มีอาการเจ็บคอและกลุ่มคนปกติ ในอัตราใกล้เคียงกัน การศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ทำการแยกกลุ่มของเชื้อในกลุ่มนี้นอกจากเชื้อกลุ่ม A เท่านั้น แต่จากการศึกษาของสมนีย์ สุขรุ่งเรือง และคณะ พบว่าเชื้อ streptococci กลุ่ม B เป็นสาเหตุของการติดเชื้อในลำคอได้<sup>2</sup>

เป็นที่มาสังเกตว่าจากการศึกษานี้พบเชื้อ *S. aureus* ในลำคอของคนที่มีอาการเจ็บคอได้ในอัตราค่อนข้างสูงคือพบได้ 45% และพบจากลำคอของคนปกติได้ 26.4% มีรายงานว่า การพบเชื้อ *S. aureus* จำนวนมากนั้นเป็นการทวีจำนวนของเชื้อแบคทีเรียภายหลังจากการติดเชื้อไวรัส<sup>14</sup> อย่างไรก็ตามเชื้อ *S. aureus* ที่พบนี้ พบได้ทั้งลำคอของคนที่มีอาการเจ็บคอแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรังและจำนวนเชื้อที่พบก็เป็นจำนวนมาก บางรายพบเป็นเชื้อเพียงอย่างเดียว (pure culture) มีผู้ให้ข้อสังเกตว่าการใช้ยาเพนิซิลลินรักษาผู้ป่วยนาน ๆ อาจเป็นปัจจัยชักนำให้เกิดเชื้อ *S. aureus* สายพันธุ์ที่สร้าง penicillinase ซึ่งทำลายฤทธิ์ของเพนิซิลลินเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้พบเชื้อ *S. aureus* นี้ได้ในอัตราค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตาม การที่จะสรุปว่าเชื้อ *S. aureus* ที่แยกได้จากลำคอนั้นเป็นสาเหตุของการอักเสบของลำคอมากกว่าที่จะเป็นการทวีจำนวนของเชื้อแบคทีเรียนี้ตามหลังการติดเชื้อไวรัสนั้นจะต้องทำการศึกษาต่อไป<sup>8</sup>

แบคทีเรียในกลุ่มรูปแท่งแกรมลบนั้น พบได้จากลำคอของผู้ที่มีอาการเจ็บคอได้สูงถึง 32% ต่างจากที่พบในลำคอของคนปกติ คือ พบเพียง 4.7% เท่านั้น จากรายงานในต่างประเทศพบว่า ในคนปกติมีเชื้อกลุ่มนี้ในลำคอเพียง 2-8%<sup>9, 17</sup> ซึ่งใกล้เคียงกับในคนปกติที่ศึกษาในครั้งนี้เช่นกัน และอุบัติการณ์ของการพบเชื้อในบุคลากรที่ทำงานในโรงพยาบาลมีสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย คือพบเพียง 8.5% เท่านั้น<sup>14</sup> อัตราการพบเชื้อรูปแท่งแกรมลบจากการศึกษานี้ใกล้เคียงกับการศึกษาของอนลินี อัสวโกตี และคณะ<sup>3</sup> ซึ่งได้ศึกษาการทวีจำนวนของเชื้อรูปแท่งแกรมลบในลำคอของผู้ป่วย ที่มารับการรักษาในภาควิชาอายุรศาสตร์ด้วยโรคต่าง ๆ พบว่าผู้ป่วยมีเชื้อแบคทีเรียรูปแท่งแกรมลบตั้งแต่วันแรกที่เข้ามาอยู่ในโรงพยาบาลสูงถึง 45.8% และเชื้อที่พบมากที่สุดได้แก่ *Klebsiella*, *Acinetobacter* sp., *E. coli* และ *Pseudomonas aeruginosa* ซึ่งชนิดของเชื้อแบคทีเรียที่พบก็เหมือนกันกับการศึกษาครั้งนี้ พบเชื้อ *Klebsiella* ได้บ่อยที่สุด รองลงมาได้แก่ *Enterobacter*, *Pseudomonas aeruginosa*, *E. Coli* และ *Acinetobacter* sp. สำหรับในบ้านเรามีการใช้ยาปฏิชีวนะกันอย่างแพร่หลายโดยไม่มีข้อจำกัดอย่างเพียงพอ การใช้ยาปฏิชีวนะอย่างฟุ่มเฟือยและโดยไม่จำเป็น ย่อมมีผลไปทำลายเชื้อแบคทีเรียประจำถิ่นของลำคอ ซึ่งจุลชีพเหล่านี้ช่วยทำหน้าที่ป้องกันการรุกรานของเชื้อจุลชีพก่อโรคอีกด้วยเช่น เชื้อ Alpha hemolytic streptococci<sup>18</sup> เป็นต้น การทำลายหรือฆ่าแบคทีเรียประจำถิ่นเหล่านี้ อาจทำให้แบคทีเรียรูปแท่งแกรมลบซึ่งเดิมมีอยู่เพียงจำนวนเล็กน้อยทวีจำนวนมากขึ้น และอาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดปอดอักเสบจากเชื้อในกลุ่มนี้ได้ ในผู้ป่วยที่มีการทวีจำนวนของเชื้อรูปแท่งแกรมลบก็ย่อมมีโอกาสที่จะเกิดปอดอักเสบได้ง่ายขึ้น ซึ่งจากการศึกษาในต่างประเทศพบได้ในอัตราที่สูงถึง 15%<sup>9</sup> การทวีจำนวนของแบคทีเรียรูปแท่งแกรมลบในลำคอของผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลและนอนอยู่ในโรงพยาบาลหลายวันพบได้สูงถึง 75% พบว่า ปัจจัยหลายอย่างส่งผลส่งเสริมให้มีการทวีจำนวน เช่น อายุของผู้ป่วย ความรุนแรงของโรค แอลกอฮอล์ และยานอนหลับ เป็นต้น<sup>3, 7</sup>

ในกลุ่มที่มีอาการเจ็บคอเรื้อรังสามารถตรวจพบเชื้อ *Pseudomonas pseudomallei* ได้ถึง 2 ราย คิดเป็น 1% เชื้อนี้เป็นเชื้อที่พบได้เฉพาะในแถบประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และพบได้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้ของประเทศไทยได้บ่อยกว่าภูมิภาคอื่นของประเทศ ในปัจจุบันพบอุบัติการณ์ของการติดเชื้อนี้ได้บ่อยขึ้น โดยเฉพาะก่อให้เกิดโรคปอดอักเสบชนิดที่มีอาการเรื้อรังคล้ายอาการของวัณโรค ถึงแม้ว่าอุบัติการณ์ของการเกิดปอดอักเสบจากเชื้อ *Pseudomonas pseudomallei* จะพบได้น้อยกว่าเชื้อวัณโรค เชื้อ *S. aureus* หรือเชื้อรูปแท่งแกรมลบอื่น ๆ ก็ตาม แต่ถ้าหากไม่ได้รับการรักษาอย่างถูกต้อง ผู้ป่วยอาจมีอาการกำเริบหรือมีอาการรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิตได้ ดังนั้นผู้ป่วยที่มีอาการเจ็บคอเรื้อรัง จึงสมควรอย่างยิ่งที่ต้องได้รับการตรวจวินิจฉัยอย่างถูกต้องทั้งจากอาการทางคลินิก และการตรวจทางห้องปฏิบัติการ เพื่อการเพาะเชื้อหาเชื้อจุลชีพที่เป็นสาเหตุแท้จริงของโรคก่อนให้การรักษาด้วยยาปฏิชีวนะ ซึ่งในบางครั้งอาจไปกดหรือยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลชีพที่เป็นสาเหตุของโรค ทำให้เกิดการผิดพลาดในการวินิจฉัยได้

จากการที่พบเชื้อ *S. aureus* ในอัตราค่อนข้างสูง และเมื่อได้ทำการทดสอบความไวของเชื้อ *S. aureus* ทั้งที่แยกได้จากลำคอของผู้ที่มีอาการเจ็บคอ เปรียบเทียบกับจากกลุ่มคนปกติ พบว่าเชื้อ *S. aureus* ที่แยกได้จากลำคอของคนที่มีอาการเจ็บคอทุกสายพันธุ์คือต่อยาเพนิซิลลิน และแอมพิซิลลินซึ่งเป็นยาปฏิชีวนะที่ใช้เป็นประจำในการรักษาผู้ที่มีอาการเจ็บคอ ส่วนเชื้อ *S. aureus* ที่แยกได้จากกลุ่มคนปกติ ยังคงมีความไวต่อยาปฏิชีวนะทั้งสองนี้อยู่บ้าง คือพบมีความไว 7% สำหรับยาปฏิชีวนะที่เชื้อ *S. aureus* มีความไวอย่างมากได้แก่ เซฟาโลลิน โค-ไตรโมซาโซล และเมธิซิลลิน ซึ่งยาชนิดหลังนี้ใช้ได้ผลดีกับเชื้อ *S. aureus* ที่คือต่อยาเพนิซิลลิน

สำหรับความไวของเชื้อ *S. pyogenes* และ *S. pneumoniae* ที่แยกได้ทุกสายพันธุ์ยังคงมีความไวต่อยาเพนิซิลลินอย่างมากอยู่

ผู้ป่วยหรือคนที่มีอาการเจ็บคอบ่อยเพียงเล็กน้อยไม่มีอาการรุนแรงนัก หรือในคนที่ เป็น ๆ หาย ๆ นั้น อาจเนื่องจากการได้รับการรักษาไม่เพียงพอ และถ้ายังตรวจพบว่ามีระดับของ anti streptolysin O antibodies และ anti DNase B ในระดับที่สูงกว่าปกติ อาจเป็นหลักฐานที่บ่งชี้ว่าอาจมีการติดเชื้อ streptococci กลุ่ม A อยู่<sup>10</sup> โดยที่บุคคลนั้นอาจเป็นพาหะของเชื้อ ในกรณีเช่นนี้บางครั้งเพาะไม่พบเชื้อ หรือการที่พบเชื้อได้น้อยอาจเนื่องจากการใช้ยาปฏิชีวนะกันอย่างแพร่หลายดังกล่าวแล้ว ซึ่งมีผลทำลายเชื้อที่เป็นสาเหตุสำคัญของอาการเจ็บคอไปด้วย และอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เชื้อสายพันธุ์อื่นที่คือต่อยา เช่น *S. aureus* และแบคทีเรียรูปแท่งแกรมลบสายพันธุ์อื่น ๆ มีการทวีจำนวนมากขึ้น นอกจากนี้พบว่าปัจจัยสำคัญในการเพาะให้พบเชื้อ *S. pyogenes* นั้น ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างจากลำคอของผู้ป่วยจะต้องทำอย่างระมัดระวัง และป้ายให้ลึกลงในแอ่งของต่อมทอนซิล (tonsillar fossae) ด้วยจะช่วยให้โอกาสพบเชื้อ *S. pyogenes* ได้มากขึ้น<sup>16</sup>

### คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่หน่วยจุลชีววิทยาคลินิก คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ ที่ช่วยเหลือในด้านการตรวจทางห้องปฏิบัติการ และขอขอบคุณหัวหน้าภาควิชา โสต ศอ นาสิกและลาริงซ์วิทยา ตลอดจนหัวหน้าภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ให้การสนับสนุน ให้ความสะดวกต่าง ๆ ในการเก็บตัวอย่างส่งตรวจ และในการตรวจวิเคราะห์ข้อมูล

## เอกสารอ้างอิง

1. ปุชปาคม, รังสรรค์. การติดเชื้อในทางเดินหายใจช่วงบน. ปรัชญานนท์, บัญญัติและคณะ (บก.). โรคระบบการหายใจและวัณโรค. พิมพ์ครั้งที่ 1, รุ่งเรืองรัตน์, กรุงเทพมหานคร, 2522, 95-109.
2. ศุขรุ่งเรือง, สมณีย์; อัสวโกที, นลินี; อัสวโกที, ประสิทธิ์ และฟูเจริญ, สุทัศน์. Group C Streptococcal pharyngitis. *จุดสารวมมรแพทย์โรคติดเชื้อแห่งประเทศไทย*, 2524, 4 (5), 288-294.
3. อัสวโกที, นลินี; โชคเจริญรัตน์, สุเมธ และอัสวโกที, ประสิทธิ์. การทวจำนวนของเชื้อทรงแท่งแกรมลบในคอผู้ป่วยที่รับไว้ในโรงพยาบาล. *ส.ศิริราช*, 2524, 33 (10), 696-702.
4. Addy, M.G., Ellis, P.D.M. and Turk, D.C. Haemophilus epiglottitis: Nine recent cases in Oxford. *Brit. Med. J.*, 1972, 1, 40.
5. Bauer, A.W., Kirby, W.M.M., Sherris, J.C. and Turck, M. Antibiotic susceptibility testing by a standard single disk method. *Am. J. Clin. Pathol.*, 1966, 45, 493.
6. Finegold, S.M., Martin, W.J. and Scott, E.G. Bailey and Scott's Diagnostic Microbiology. 5<sup>th</sup> ed., C.V. Mosby, Saint Louis, 1978, 486.
7. Fuxench-Lopez, Z. and Ronda, C.H.R. Pharyngeal flora in ambulatory alcoholic patients: Prevalence of gram negative bacilli. *Arch. Intern. Med.*, 1978, 138, 1815-1816.
8. Jayanetra, P., Vorachit, M., Pienthawechai, K., Pongpanich, B. and Niemsiri, S. Aetiologic agents of septic sore throat in Thai children. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 1978, 9 (4), 549-557.
9. Johnson, W.G., Piera, A.K. and Sanford, J.P. Changing pharyngeal bacterial flora of hospitalized patients. *New Engl. J. Med.*, 1969, 281, 1137-1140.
10. Kaplan, E.L., Top, F.H., Duddling, B.A. and Wannamaker, L.W. Diagonosis of streptococcal pharyngitis; differentiation of active infection from the carrier state in the symptomatic children. *J. Infect. Diseases*, 1971, 123, 490.
11. Lennette, E.H., Balows, A., Hauster, W.J. and Truant, J.P. Manual of clinical microbiology. 3<sup>rd</sup> ed. *Am.Soc. Microbiol.*, 1980, 195-224.
12. Matex, W.R. The use of bacitracin for identifying group A streptococci. *J. Clin. Pathol.*, 1953, 6, 224.
13. Moffet, H.L., Siegel. A.C. and Doyle H.K. Non streptococcal pharyngitis. *J. Pediat.*, 1968, 73, 51.
14. Rahal, J.J. Jr. et al. Upper respiratory tract carriage of gram negative enteric bacilli by hospital personnel. *J. Am. Med. Assoc.*, 1970, 214, 754-756.
15. Rantz, L.A. and Randall, E. Use of autoclaved extracts of hemolytic streptococci for serological grouping. *Stanford Med. Bull.*, 1955, 13, 290-291.
16. Rosen, G., Samuel, J. and Vered, I. Surface tonsillar microflora versus deep tonsillar microflora in recurrent acute tonsillitis. *J. Laryngol. Otol.*, 1977, XCI (10), 911-913.
17. Rosenthal, S. and Tager, I.B. Prevalence of gram negative rods in the normal pharyngeal flora. *Ann. Intern. Med.*, 1957, 23, 355-357.
18. Sprunt, K. and Redman, W. Evidence suggesting importance of role of interbacterial inhibition in maintaining balance of normal flora. *Ann. Intern. Med.*, 1968, 68, 579-590.
19. Tillotson J.R. and Lerner, A.M. Pneumonias caused by gram negative bacilli. *J. Med.*, 1966, 45, 65-76.
20. Van Scoy, R.E. Bacterial Sputum Culture. *Mayo Clin., Proc.*, 1977, 52, 39.

ตารางที่ 1. แสดงอายุและเพศของผู้ป่วยที่ศึกษา

ช่วงอายุ (ปี)	ชาย	หญิง	รวม
8-10	8	6	14
10-19	11	18	29
20-29	36	38	74
30-39	26	32	58
40-49	10	6	16
50-61	5	4	9
รวม	96	104	200

ตารางที่ 2. การจำแนกผู้ป่วยที่มีอาการเจ็บคอตามอาการแสดง

อาการแสดง	จำนวนผู้ป่วย	%
ทอนซิลอักเสบชนิดเฉียบพลัน	94	47
ทอนซิลอักเสบชนิดเรื้อรัง	48	24
คออักเสบชนิดเฉียบพลัน	20	10
คออักเสบชนิดเรื้อรัง	16	8
Acute follicular tonsillitis	10	5
คออักเสบร่วมกับทอนซิลอักเสบชนิดเฉียบพลัน	4	2
คออักเสบร่วมกับทอนซิลอักเสบชนิดเรื้อรัง	8	4
รวม	200	100

ตารางที่ 3. ผลการตรวจพบเชื้อจุลชีพจากลำคอของผู้ป่วยที่มีอาการเจ็บคอ และของคนปกติ

เชื้อจุลชีพ	เปอร์เซ็นต์	
	คนปกติ	ผู้ป่วย
แบคทีเรียประจำถิ่น	52.0	25.0
<i>Streptococcus pyogenes</i>	2.5	10.0
<i>Streptococcus pneumoniae</i>	2.5	6.0
Beta hemolytic streptococci ที่ไม่ใช่กลุ่ม A	25.0	23.0
<i>Staphylococcus aureus</i>	26.4	45.0
bacilli แกรมลบ	4.7	32.0
<i>Candida</i> sp.	1.0	9.0

ตารางที่ 4. เปรียบเทียบผลการตรวจพบเชื้อจุลชีพจากลำคอของผู้ป่วยที่มีอาการเจ็บคอแบบเฉียบพลัน และแบบเรื้อรัง

เชื้อจุลชีพ	เปอร์เซ็นต์		รวม
	เฉียบพลัน	เรื้อรัง	
แบคทีเรียประจำถิ่น	20	5	25
<i>Streptococcus pyogenes</i>	10	—	10
<i>Streptococcus pneumoniae</i>	6	—	6
Beta hemolytic streptococci ที่ไม่ใช่กลุ่ม A	17	6	23
<i>Staphylococcus aureus</i>	33	12	45
bacilli แกรมลบ	22	10	32
<i>Candida</i> sp.	4	5	9

ตารางที่ 5. แสดงจำนวนและชนิดของเชื้อแบคทีเรียแกรมลบที่แยกได้จากลำคอผู้ป่วย

เชื้อจุลชีพ	เปอร์เซ็นต์
<i>E. Coli</i>	5
<i>Enterobacter</i> sp.	6
<i>Klebsiella</i> sp.	9
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	6
<i>Pseudomonas pseudomallei</i>	1
<i>Acinetobacter</i> var. <i>anitratu</i> s	3
<i>Acinetobacter</i> var. <i>lwoffii</i>	2
รวม	32

ตารางที่ 6. เปรียบเทียบผลการทดสอบความไวของเชื้อ *Staphylococcus aureus* ที่แยกได้จากลำคอของคนที่มีอาการเจ็บคอ และจากคนปกติต่อยาต้านจุลชีพชนิดต่าง ๆ

ยาด้านจุลชีพ	เปอร์เซ็นต์สายพันธุ์ที่มีความไว	
	คนปกติ	ผู้ป่วย
แอมพิซิลลิน	7.5	0
เซฟาโลธิน	100	100
คลอแรมฟินิโคล	93.8	97.8
โค-ไตรโมซาโซล	100	100
เอริโทรมัยซิน	100	97.8
ลินโคมัยซิน	97.5	93.2
เมธิซิลลิน	100	100
เพนิซิลลิน	3.8	0
สเตรปโตมัยซิน	83.3	75.0
เตตราไซคลิน	65.0	69.3

ต้นฉบับเป็นหน้าว่าง

BLANK PAGE IN ORIGINAL

ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของช่อดอกสัก  
กับชนิดของแมลงบนช่อดอก

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE FLOWER  
DEVELOPMENT OF TEAK AND ITS  
ASSOCIATED INSECTS

สุรชัย ชลดำรงค์กุล  
Surachai Choldumrongkul

ฉวีวรรณ หุตะเจริญ  
Chaweewan Hutacharern

ฝ่ายปราบศัตรูพืชป่าไม้ กองบำรุง กรมป่าไม้

Forest Pest Control Branch, Division of Silviculture, Royal Forest Department

บทคัดย่อ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของช่อดอกสักและชนิดของแมลงบนช่อดอก ณ ศูนย์ปรับปรุงพันธุ์ไม้สัก อำเภองาว จังหวัดลำปาง เพื่อหาแมลงศัตรูที่แท้จริงของช่อดอกในระยะต่าง ๆ ได้ดำเนินการตั้งแต่เดือนมิถุนายน-กันยายน 2528 พบว่าดอกสักเริ่มแทงช่อดังแต่ต้นเดือนกรกฎาคมและจะเริ่มติดผลตั้งแต่เดือนสิงหาคมเป็นต้นไป แมลงที่พบบนช่อดอกสักตั้งแต่เดือนมิถุนายน-สิงหาคม มี 14 ชนิด เป็นแมลงศัตรูดอกสัก 11 ชนิดและแมลงชนิดอื่นที่ไม่เป็นศัตรูต่อดอกสักอีก 3 ชนิด คือ มดดำ เหลือบ และผึ้งโพรง สำหรับแมลงศัตรูดอกสักที่พบตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของช่อดอกสักคือ เพลี้ยกระโดดชนิด *Machaerota elegans* Maa ซึ่งจะคุ้ยน้ำเลี้ยงของช่อดอกสักตั้งแต่ยอดสักยังไม่แทงช่อดอกจนกระทั่งติดผล หลังจากดอกสักแทงช่อแล้ว ตั๊กแตนหนวดยาว *Euconocephalus* sp. จะกัดกินดอกตูมมากในเดือนกรกฎาคม แมลงที่พบในช่วงระหว่างดอกตูมและดอกบานคือหนอนผีเสื้อกินดอกสัก ชนิด *Pagida salvaris* Walker หนอนปลอก หนอนบู่ในวงศ์ Lymantriidae หนอนคืบในวงศ์ Geometridae หนอนผีเสื้อกินผิวใบสักชนิด *Eutectona machaeralis* Walker หนอนผีเสื้อกินใบสักชนิด *Hyblaea puera* (Cramer) เพลี้ยกระโดด *Ptyelus* sp. และ *Leptocentrus* sp. สำหรับในช่วงดอกสักเริ่มติดผลแล้ว *Eutectona machaeralis* Walker และหนอนผีเสื้อลายจุดชนิด *Dichocrosis punctiferalis* Guenée จะร่วมกันทำลายผลอ่อน

## ABSTRACT

*Study on the relationship between the flower development of teak and the species of insects found on the inflorescence was carried out at the Teak Improvement Center, Amphoe Ngao, Changwat Lampang. The observations were made from June to September 1985. It was observed that the marked branches developed into flowers in July and fruit forming started from August. Among the 14 species of insects found on the inflorescence, 11 species were pests and 3 species were non-pests. The non-pests were black ants, horse flies, and dwarf bees. The pest insects were : Machaerota elegans Maa , the sucking insect that occurred before the appearance of flower buds and presented through the fruit forming stage; longhorned grasshopper (Euconocephalus sp.) was found feeding on unopened flowers in July; those that were feeding on flowers in both periods of unopened flowers and opened flowers were Pagida salvaris Walker, psychid larvae, lymantriid larvae, geometrid larvae, Eutectona machaeralis Walker, Hyblaea puera(Cramer), Ptyelus sp., and Leptocentrus sp. Eutectona machaeralis Walker and Dichocrosis punctiferalis Guenée were also recorded as pests at the stage of fruit forming.*

## คำนำ

ดอกสักเป็นดอกสมบูรณ์เพศ ผลิดอกเป็นช่อ ระหว่างเดือนกรกฎาคม-กันยายน ช่อละประมาณ 1,200-3,700 ดอก ดอกบานวันละ 100-300 ดอก และจะบานหมดทั้งช่อราว 2-4 สัปดาห์ เวลาที่เหมาะสมสำหรับการผสมเกสรคือระหว่าง 11.00-13.00 น. โดยปกติดอกสักจะมีการผสมข้าม แต่ก็มี การผสมภายในดอกเดียวกันด้วย ถ้าปล่อยให้ผสมเกสรกันเองตามธรรมชาติจะมีการปฏิสนธิโดยเฉลี่ยประมาณ 1.3% แต่ถ้ามีการควบคุมให้มีการผสมข้าม จะมีการปฏิสนธิโดยเฉลี่ยประมาณ 20%<sup>5</sup> การผสมเกสรของดอกสักต้องอาศัยแมลงเป็นสื่อ เพราะละอองเกสรมีลักษณะเหนียวและติดกันแน่น ยากที่จะผสมกันโดยอาศัยลมพัดพาไป ดังนั้น แมลงที่ช่วยการผสมพันธุ์ของต้นสักตามธรรมชาติได้มากที่สุด คือแมลงตัวเล็ก ๆ จำพวกผึ้งที่เรียกว่าชันโรง<sup>3</sup> Hedegart และ Lanridsen<sup>4</sup> พบว่าผึ้ง 2 ชนิด คือ *Heriades parvula* และ *Ceratina hieroglyphica* เป็นแมลงที่ช่วยในการผสมพันธุ์ดอกสักที่สำคัญ ถึงแม้แมลงจะเป็นประโยชน์ในการผสมเกสรก็ตาม แต่ยังมีแมลงอีกหลายชนิดที่เป็นสาเหตุที่ทำให้ดอกสักร่วงหรือถูกทำลายไป ได้แก่ หนอนผีเสื้อกินดอกสักชนิด *Pagida salvaris* Walker<sup>1</sup> เพลี้ยกระโดดคุดคู้น้ำเลี้ยง ชนิด *Machaerota* sp. และด้วงน้ำมันชนิด *Mylabris phalerata* Pallas\* แต่จาริกและฉวีวรรณ<sup>2</sup> ได้พบว่า ดอกสักมีแมลงศัตรูที่สำคัญ 6 ชนิด นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว คือมีหนอนผีเสื้อลายจุดชนิด *Dichocrosis punctiferalis*

\* ผ่ายปราบศัตรูพืชป่าไม้

Walker หนอนบู่ในวงศ์ Lymantriidae และหนอนคืบในวงศ์ Geometridae และยังพบอีกว่าชนิดและปริมาณของแมลงที่พบในท้องที่ต่าง ๆ จะแตกต่างกันไป กล่าวคือ ที่สวนสักแม่หวด จังหวัดลำปาง และสวนป่าดงลาน จังหวัดขอนแก่น จะพบหนอนคืบในวงศ์ Geometridae และหนอนบู่ในวงศ์ Lymantriidae ในขณะที่สวนผลิตเมล็ดพันธุ์แม่กา จังหวัดพะเยา พบด้วงน้ำมันชนิด *M. phalerata* มากกว่าแมลงชนิดอื่น ๆ การศึกษาถึงชนิดและปริมาณของแมลงที่พบในแต่ละท้องที่นับว่าเป็นประโยชน์ต่อการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูดอกสัก แต่ยังไม่มียุทธศาสตร์ว่าแมลงศัตรูที่พบแต่ละชนิดนั้นได้พบในช่วงเวลาใด ฉะนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงได้มีการศึกษาให้ทราบถึงระยะเวลาที่พบแมลงชนิดนั้น ๆ โดยสัมพันธ์กับช่วงระยะเวลาของการผลิตดอกเพื่อนำมาเป็นแนวทางในการวางมาตรการป้องกันกำจัดต่อไป

## วิธีการ

ทำการศึกษา ณ ศูนย์ปรับปรุงพันธุ์ไม้สัก อำเภองาว, จังหวัดลำปาง โดยใช้โรงเรือนไม้ไผ่ความสูงขนาด 10 ม. แบ่งเป็น 2 ชั้น สูงชั้นละ 5 ม. การศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1. ศึกษาการเจริญเติบโตของช่อดอกสัก ทำเครื่องหมายที่ช่อดอกสักทุกช่อ บันทึกวันที่ดอกสักเริ่มตั้งช่อ วันที่ดอกสักเริ่มบานและวันที่เริ่มติดผลอ่อน ติดตามดูการเจริญของช่อดอกสักทุกวัน และบันทึกไว้เมื่อพบการเปลี่ยนแปลง ช่วงเวลาดังกล่าวตั้งแต่ทำเครื่องหมายบนช่อดอกสักช่อแรกที่อยู่ในบริเวณนี้โรงเรือน จนกระทั่งทุกช่อติดผลอ่อนอยู่ระหว่างวันที่ 10 กรกฎาคม - 4 กันยายน 2528

2. การศึกษาแมลงที่พบบนช่อดอกสัก หลังจากทำเครื่องหมายช่อดอกสักแล้ว ติดกับดักแมลงชนิดกาวเหนียวโดยรอบชั้นของโรงเรือนไม้ไผ่ทั้งสองชั้น ทำการสำรวจแมลงที่ติดกับดักแมลงทุกอันและเปลี่ยนกับดักแมลงทุก 2 วัน พร้อมกับเฝ้าสังเกตแมลงบนช่อดอกสักตั้งแต่ดอกเริ่มบานคือเวลา 9.00 น. เป็นต้นไป บันทึกชนิดของแมลงที่พบบนกับดักแมลงและบนช่อดอกสัก

## ผล

### การเจริญเติบโตของช่อดอกสักที่ทำเครื่องหมายไว้

ระยะช่อและดอกตูม เริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคมไปจนถึงสิ้นเดือนสิงหาคม ทอยออกเป็นช่อ ๆ สำหรับช่อที่อยู่ส่วนยอดของต้นสักซึ่งไม่ได้ทำเครื่องหมายนั้นได้รับแสงแดดมาก มีการตั้งช่อเร็ว

กว่าช่ออื่นคือตั้งแต่เดือนมิถุนายนเป็นต้นไป ระยะดอกบาน เริ่มตั้งแต่ปลายเดือนกรกฎาคมไปจนถึงต้นเดือนกันยายน โดยเริ่มบานตั้งแต่เวลา 9.00 น. เป็นต้นไป ระยะติดผล เริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคม เป็นต้นไป

### แมลงที่พบบนช่อดอกสัก

แมลงที่พบทั้งหมดมี 14 ชนิด ตารางที่ 1 ได้แสดงชนิดของแมลงที่พบในระยะต่าง ๆ ของการเจริญของช่อดอกสัก รายละเอียดของแมลงแต่ละชนิดมีดังนี้

เพลี้ยกระโดด *Machaerota elegans* Maa ในวงศ์ Machaerotidae ขนาดวัดตั้งแต่หัวถึงปลายปีกยาวประมาณ 5 มม. บนส่วนของ scutellum จะมีหนามแหลม 1 อัน โค้งยาวยื่นออกไปทางด้านหลังขนาดยาวกว่าลำตัวประมาณ 2-3 มม. ปีกของตัวเต็มวัยใส ไม่มีสี ตัวอ่อนอาศัยอยู่ในหลอดหุ้มตัวสีขาวติดกับช่อดอกลักษณะเป็นกรวย ยาว 4-5 มม. ที่บริเวณยอดหรือปลายกิ่ง ก่อนที่จะแทงช่อดอกคือประมาณเดือนมิถุนายนเรื่อยไปจนถึงติดผล

เพลี้ยกระโดดชนิด *Ptyelus* sp. เป็นเพลี้ยขนาดกลางในวงศ์ Cercopidae ขนาดความยาวของส่วนหัวถึงปลายปีกยาว 9-11 มม. มีสีน้ำตาลเข้ม ส่วนของอกมีสีค่อนข้างจางกว่าลำตัว คูดกินน้ำเลี้ยงของช่อดอกสักตลอดเดือนกรกฎาคม

เพลี้ยกระโดดชนิด *Leptocentrus* sp. เป็นเพลี้ยในวงศ์ Membracidae ขนาดตัวเต็มวัยวัดตั้งแต่หัวถึงปลายปีกประมาณ 8-12 มม. ส่วนของอกจะมีหนามแหลมยื่นยาวออกทางด้านข้าง 2 อัน และหนามแหลมโค้งจาก scutellum 1 อัน สีดำ ส่วนของปีกใส คูดกินน้ำเลี้ยงของช่อดอกในเดือนกรกฎาคม

ด้ก้แดนหนวดยาวชนิด *Euconocephalus* sp. ในวงศ์ Tettigonidae เป็นด้ก้แดนหนวดยาวสีเขียว ขนาดความยาวจากหัวถึงปลายปีกประมาณ 50 มม. ลักษณะหัวและลำตัวส่วนปลายสอบเป็นรูปกระสวย กัดกินดอกตูมและติดกับดักแมลงเป็นจำนวนมาก ในเดือนกรกฎาคม พบในช่วงความสูง 1-10 ม. แต่จะพบหนาแน่นในช่วง 5-7 ม.

หนอนผีเสื้อกินดอกสักชนิด *Pagida salvaris* Walker เป็นหนอนผีเสื้อในวงศ์ Pyralidae ขนาดตัวเต็มวัยกางปีกวัดได้ประมาณ 23 มม. ปีกบางสีเหลืองอ่อน มีลายหยักสีชมพูตามขวางที่ปีก ตัวหนอนสีเขียวอมเหลือง กัดตาดอก และเจาะเข้าไปภายในดอกตูมทำให้ดอกสักเสียหายมากในเดือนสิงหาคม

หนอนผีเสื้อกินผิวใบสักชนิด *Eutectona machaeralis* Walker เป็นผีเสื้อในวงศ์ Pyralidae ขนาดกางปีกเต็มที่ 21-26 มม. ปีกคู่หน้าสีเหลืองสดมีรอยคาดเป็นหยักมีสีชมพู ปีกคู่หลังสีจาง ขอบปีก

มีแถบสีแดง ตัวหนอนสีเขียวถึงสีน้ำตาล ลำตัวมีขนบาง ๆ กินผิวใบสักและดอกสัก สำหรับในดอกสัก จะชักใยเอาดอกสักหลาย ๆ ดอกรวมกัน และกัดกินดอกจนเสียหาย นอกจากนี้ยังกัดกินผลอ่อนด้วย พบในเดือนสิงหาคม

หนอนผีเสื้อลายจุดชนิด *Dichocrosis punctiferalis* Guenée เป็นผีเสื้อในวงศ์ Pyralidae ปีกสีเหลืองสด มีจุดสีดำประปรายบนปีกทั้ง 2 คู่ ตัวหนอนกินผลอ่อนในเดือนสิงหาคม

หนอนบู่ในวงศ์ Lymantriidae ขนาดความยาวของลำตัวประมาณ 20 มม. มีขนสีดำ ที่สันหลังส่วนอกมีขนสีขาวเป็นกระจุกขนาดยาวกว่าขนของลำตัว กัดกินดอก ผิวใบและกลีบเลี้ยงที่ห่อหุ้มผลสักในเดือนสิงหาคม

หนอนปลอกในวงศ์ Psychidae ลักษณะของปลอกทำด้วยกิ่งไม้ขนาดเล็ก พบกินดอกในช่วงปลายเดือนสิงหาคม และต้นเดือนกันยายน แต่พบในปริมาณน้อย

หนอนคืบในวงศ์ Geometridae ตัวหนอนมีสีน้ำตาลอมเขียว ลักษณะคล้ายกิ่งไม้แห้ง ลำตัวยาว 20-30 มม. กินดอกสักในเดือนสิงหาคม พบในปริมาณน้อย

หนอนผีเสื้อกินใบสักชนิด *Hyblaea puera* (Cramer) เป็นผีเสื้อในวงศ์ Hyblaeidae ขนาดกางปีกเต็มที่ 21-40 มม. ปีกคู่หน้าสีน้ำตาลแห้ง ปีกคู่หลังสีน้ำตาลเข้ม มีแถบสีส้มขอบแดงอยู่ตรงกลาง และขอบล่างของปีก ตัวหนอนโตเต็มที่ยาวประมาณ 35 มม. กัดกินดอกสักโดยชักใยเอาดอกสักเข้ามารวมกันเป็นกลุ่มและกัดกินดอกเสียหาย พบในเดือนสิงหาคม แต่ปริมาณน้อยมาก

มดดำในวงศ์ Formicidae ขนาดลำตัวยาวประมาณ 5 มม. พบมากในช่วงดอกบานคือเดือนสิงหาคม

เห็บในวงศ์ Tabanidae ขนาดลำตัวยาวประมาณ 8-10 มม. พบมากในเดือนสิงหาคม

ผึ้งโพรง (*Apis indica*) ขนาดลำตัวยาวประมาณ 10-15 มม. พบมากในเดือนสิงหาคมเช่นเดียวกัน

## สรุปและวิจารณ์

แมลงที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับช่อดอกสักมีมากมายหลายชนิด ที่พบในการศึกษานี้มี 14 ชนิดที่นับว่าสำคัญคือ เพี้ยกระโดด *Machaerota elegans* Maa ดูดน้ำเลี้ยงตั้งแต่ยอดสักยังไม่แทงช่อดอกทำให้ช่อดอกสักเกิดการแคระแกร็น เมื่อต้นสักแทงช่อดอกในระยะต่อมา ดอกจะถูกด้กัแตนหนวดยาว *Euconocephalus* sp. กัดขาดมากมายโดยเฉพาะช่อดอกในระดับ 5 ม. นอกจากนี้ยังพบด้กัแตนหนวดยาวชนิดนี้ติดกับด้กัแตนมากมายเช่นกัน ในช่วงที่ช่อดอกมีเปอร์เซ็นต์การบานสูงสุดจะพบหนอนผีเสื้อกินดอกสักชนิด *Pagida salvaris* Walker หนอนบู่ในวงศ์ Lymantriidae หนอนคืบในวงศ์ Geometridae หนอนผีเสื้อกินใบสัก *Eutectona machaeralis* Walker และหนอนผีเสื้อกินใบสัก *Hyblaea puera* (Cramer) สรุปแล้วในปี พ.ศ. 2528 แมลงที่ทำให้ความเสียหายแก่ดอกสักมากที่สุดคือ ด้กัแตนหนวดยาวและหนอนผีเสื้อกินดอกสัก แต่เมื่อติดผลแล้วจะมีหนอนผีเสื้อลายจุดชนิด *Dichocrosis punctiferalis* Guenée เป็นศัตรูที่สำคัญ ในการศึกษานี้ไม่พบด้วงน้ำมันชนิด *Mylabris phalerata* Pallas ที่ช่อดอกสัก และไม่พบร่องรอยของการถูกทำลายจากด้วงน้ำมันดังกล่าวด้วย นอกจากแมลงที่เป็นศัตรูแล้วยังพบแมลงอีก 3 ชนิดคือมดดำ เหลือบ และผึ้งโพรง ซึ่งเป็นแมลงที่มีประโยชน์ในการช่วยผสมเกสรให้แก่ดอกสักโดยเฉพาะผึ้งโพรง

จากการศึกษาแมลงดอกสักในครั้งนี้ ทำให้ทราบถึงระยะเวลาที่พบแมลงศัตรูแต่ละชนิดที่มีความสำคัญแตกต่างกันไปในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของช่อดอก ซึ่งจะเป็นแนวทางสำหรับการคัดเลือกชนิดของสารเคมี และกำหนดระยะเวลาในการทดลองป้องกันกำจัด เพื่อหลีกเลี่ยงการทำลายแมลงที่มีประโยชน์ในโอกาสต่อไป

## คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.อภิชาติ ขาวสะอาด ที่ได้กรุณาสร้างน้้งร้านที่ต้นสักและอำนวยความสะดวกอื่น ๆ ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

1. ไจกลม, ดำรง. คำบรรยายวิชาศัตรูพืชป่าไม้และการกำจัดป้องกัน. กongsบำรุง, กรมป่าไม้, 2519.
2. ศรีพุทธชาติ, จารึก และหุตะเจริญ, ฉวีวรรณ. แมลงศัตรูช่อดอกสัก. การประชุมการป่าไม้ประจำปี 2526, กรมป่าไม้, 2526.
3. สิริพัฒนคิลก, สมคิด. ความเจริญเปลี่ยนแปลงของดอกสัก. รายงานวนศาสตร์วิจัย, เล่มที่ 31, 2517.
4. Hedegart, T. and Laneridson, E.R. *Seed Orchards Forestry Commission Bull.*, 1975, 54, 139-142.
5. Kaosa-ard, A. Teak Improvement Programe. Division of Silviculture, Royal Forest Department, Bangkok, 1983.

ตารางที่ 1. ชนิดแมลงที่พบในระยะต่าง ๆ ของช่อดอกสัก จากน้ิ่งร้านสูง 10 ม. ณ ศูนย์ปรับปรุงพันธุ์ไม้สัก อำเภองาว จังหวัดลำปาง

รายการที่ศึกษา	เดือน				หมายเหตุ
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
ระยะต่าง ๆ ของช่อดอกสัก					
ระยะดอกตูม		=====			
ระยะดอกบาน			=====		
ระยะติดผล				=====	
ชนิดของแมลงที่พบ					
<i>Machaerota elegans</i> Maa					คูดน้ำเลี้ยงดอก
<i>Ptyelus</i> sp.		=====			”
<i>Leptocentrus</i> sp.			=====		”
<i>Euconocephalus</i> sp.	=====				กัดกินดอก
<i>Pagida salvaris</i> Walker			=====		”
<i>Eutectona machaeralis</i> Walker				=====	กัดกินดอกและผล
Lymantriid larvae			=====		”
Psychid larvae			=====		”
Geometrid larvae			=====		”
<i>Hyblaea puera</i> (Cramer)			=====		”
<i>Dichocrosis punctiferalis</i> Guenée				=====	เจาะผล
Black ants	=====				ผสมเกสร
Horse flies			=====		”
Dwarf bees	=====				”

# ISOTHERMAL CARBONIZATION OF *EUCALYPTUS CAMALDULENSIS* DENHN.

## ปฏิกิริยาการทำถ่านไม้ยูคาลิปตัสที่อุณหภูมิคงที่

Thusnee Kitirattrakarn

ทรงสนีย์ กิติรัตน์ตระการ

Preecha Kiatgrajai

ปรีชา เกียรติกระจาย

Faculty of Forestry, Kasetsart University

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

### ABSTRACT

*The carbonization of Eucalyptus camaldulensis Denhn. was carried out by isothermally heating at selected temperature between 200°-800° C in a flow nitrogen atmosphere within 10 h. Four specimens (3 × 3 × 4 cm each, from 53 months old planted eucalypts) were carbonized in an electrical furnace at a given time and temperature. It was found that the average yield and some properties of charcoal depended on temperature. The charcoal yield was 21.5-91%. The heat of combustion was 4,600-7,480 cal/g. The fixed carbon, volatile matter and ash contents were 19.5-91.5%, 7-80% and 0.2-2%, respectively. Statistical analysis revealed linear relationships between carbonization temperature from 300° to 600° C versus heat of combustion, fixed carbon and volatile matter contents. The results of this study will be useful for the selection of a carbonization condition of the eucalypt for optimal charcoal yield, heat content, fixed carbon as well as volatile matter contents.*

### บทคัดย่อ

การศึกษาปฏิกิริยาการทำถ่านไม้ยูคาลิปตัสพันธุ์คามาลดูลเลนซิสโดยการอบด้วยความร้อนภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนที่อุณหภูมิคงที่ระหว่าง 200°-800° ซ. ภายในระยะเวลา 10 ชม. ไม้ตัวอย่างที่ใช้ศึกษาได้มาจากไม้ที่ปลูกขึ้น อายุ 53 เดือน มาแปรรูปให้มีขนาด 3 × 3 × 4 ซม. ในการทำปฏิกิริยาแต่ละครั้งใช้ไม้ตัวอย่างจำนวน 4 ชิ้นอบในเตาเผาไฟฟ้าตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด ผลการทดลองพบว่า ผลผลิตและคุณสมบัติของถ่านแปรผันตามอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา ผลผลิตถ่านมีปริมาณ 21.5-91%

ความร้อนของการสันดาป 4,600-7,480 แคลอรี/ก. ปริมาณคาร์บอนเสถียร 19.5-91.5% ปริมาณสารระเหย 7-80% และปริมาณขี้เถ้า 0.2-2% การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติของคุณสมบัติของถ่านเหล่านี้ ที่อุณหภูมิ 300°-600° ซ. ทราบว่ามีความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรง ผลการศึกษาในครั้งนี้น่าจะใช้เป็นแนวทางในการเลือกอุณหภูมิในการผลิตถ่าน เพื่อให้ได้ผลผลิตถ่าน ค่าความร้อน ปริมาณคาร์บอนเสถียร และปริมาณสารระเหยที่เหมาะสม

## INTRODUCTION

Energy from wood is still essential for rural Thai people. The consumption of cooking charcoal in Thailand was over three million tons in 1983 which the major demand was found in the rural area<sup>5</sup> while the natural forest is unable to supply wood to produce large quantity of charcoal. The objective of this research is to find out an optimum condition to produce cooking charcoal from *Eucalyptus camaldulensis*.

There are several publications reported about residual mass and charcoal properties from pyrolysis of gymnosperm and angiosperm specimens under a nitrogen atmosphere. They confirmed that both residual mass and charcoal properties depended on rate of increasing temperature and final pyrolyzed temperature.

Beall<sup>2</sup> pyrolyzed redwood specimens at heating rates of 1° to 50° C/min to end temperature of 250°-600° C. The mass loss of a slow heating rate was greater at the end temperature lower than 400° C. However, it was found almost no effect of heating rate to mass loss at the end temperature of 600° C. Slocum et al.<sup>4</sup> pyrolyzed oak and hickory specimens at heating rates of 1.5° to 130° C/h to the maximum temperature between 250° - 800° C. The heating rate varied with maximum temperature. The mass loss depended on maximum temperature. They also reported that the residence time at temperature between 400° - 800° C slightly affected to mass loss of both species. Charcoal yield would be reduced less than 10% when a residence time at 800° C was extended to 114 h.

The effect of carbonization temperature between 200° - 1,000° C to charcoal yield and elementary composition of charcoal was summarized by Wenzl.<sup>6</sup> The charcoal yield and carbon content were approximate 33% and 90%, respectively. Acesita<sup>3</sup> carbonized *Eucalyptus grandis* specimens at 300°, 500° and 700° C. The fixed carbon contents were 68, 86 and 92%, respectively. Baileys and Blankenhorn<sup>1</sup> pyrolyzed wood specimens of red oak, southern yellow pine, black cherry and hybrid poplar under a nitrogen atmosphere at average heating rate of 3° C/min to selected final temperature up to 700° C. They confirmed that the residual mass and heat of combustion depended on final temperature. The linear equations between pyrolyzed temperature versus heat of combustion were reported with respect to wood species. The coefficient of determination of each equation was high.

## MATERIALS AND METHODS

### Preparation of specimens and a furnace

About 250 specimens,  $3 \times 3 \times 4$  cm each, were prepared from 8 trees of 53 months old *Eucalyptus camaldulensis*. The eucalypts were planted at Rangsit, Changwat Pathum Thani with a spacing of  $2.4 \times 1.8$  m. All specimens were oven-dried in an electrical oven at  $105 \pm 3^\circ \text{C}$  to obtain oven-dry weight of each specimen before carbonization.

An electrical furnace for carbonization of the eucalypt specimens has a chamber space of  $8 \times 11 \times 26$  cm and it can be heated up to  $1,000^\circ \text{C}$ . An additional temperature controller by a thermocouple with precision of  $100 \pm 3\%$  was connected to the furnace. Temperature profile of the furnace was recorded prior to carbonize the specimens. The temperature profile was shown in Figure 1.

### Carbonization

At a given time and temperature of carbonization, 4 specimens were heated isothermally under a nitrogen atmosphere after the temperature profile had been recorded. All specimens were placed among 15 cm from the rear of the furnace. The given time and temperature of carbonization were up to 10 h and  $800^\circ \text{C}$  respectively as follows.

Temperature, $^\circ \text{C}$	Time, h
200	1, 2, 4, 7, 10
250	$\frac{1}{2}$ , 1, 2, 4, 7
300	$\frac{1}{4}$ , $\frac{1}{2}$ , $\frac{3}{4}$ , 1, 2, 4, 6
350	$\frac{1}{6}$ , $\frac{1}{4}$ , $\frac{1}{3}$ , $\frac{1}{2}$ , 1, 6
400	$\frac{1}{12}$ , $\frac{1}{6}$ , $\frac{1}{4}$ , $\frac{1}{2}$ , 1, 6
500	$\frac{1}{12}$ , $\frac{1}{6}$ , $\frac{1}{4}$ , $\frac{1}{2}$ , 1, 6
600	$\frac{1}{6}$ , $\frac{1}{4}$ , $\frac{1}{2}$ , 1, 6
800	$\frac{1}{2}$ , 1, 3, 6

At the end of each carbonization all remaining specimens were taken from the furnace and cooled in aluminium desiccators under nitrogen atmosphere for 1 h. The specimens were then weighed. The charcoal yield was calculated as follow.

$$\text{Charcoal yield} = \frac{\text{residual weight}}{\text{ovendry weight}} \times 100$$

### Analyses of charcoal

About  $\frac{1}{3}$  of each remaining specimen from a given time and temperature was ground into powder and then mixed together for the following analyses.

### Heat of combustion

The heat of combustion of charcoal was determined by using an adiabatic oxygen bomb calorimeter, Parr no. 1341 and bomb no. 1108, according to the method of ASTM D 2015-72. The heat of combustion was reported based on ovendry weight of charcoal.

### Proximate analyses

The proximate analyses of charcoal were determined by using an electrical furnace, Hoskins type FD 203° C, according to the ASTM D 1726-64 procedure. The fixed carbon, volatile matter as well as ash contents were reported based on ovendry weight of charcoal. The fixed carbon content was the amount of carbon that is not volatilized at a temperature of 950° C for 6 min, minus the amount of ash remaining after the charcoal was completely combusted in the furnace at a temperature of 750° C for 6 h. The fixed carbon content was calculated from the following relation:

$$\% \text{ of fixed carbon} = 100 - \% \text{ of volatile matter} - \% \text{ of ash.}$$

## RESULTS AND DISCUSSION

### Charcoal yield

Residual mass of carbonized specimens was revealed in Figure 2. The remaining specimens, at temperature less than 250° C, were not completely carbonized even though the reaction time was as long as 7 h. The residual mass was still decreasing. Between 300° - 350° C, observed specimens were completely carbonized after 30 min. The residual mass was almost constant during 30 min to 6 h of carbonization. The observed specimens could be completely carbonized within 15 min when carbonization was taken at temperature between 400° - 600° C.

The residual mass from the carbonized specimen was almost constant after 30 min of carbonization. At 800° C, the carbonization was very fast. The remaining specimens could not be removed from the furnace within 30 min of carbonization because they simultaneously combusted due to high temperature and volatile matter content. Unlike lower temperature, the residual mass was decreased with respect to time of carbonization.

The average charcoal yield and charcoal properties of each carbonization temperature were reported in Table 1. The average yield was determined by extrapolation of respective constant value of a given temperature as shown in Figure 3, the determination of charcoal yield at 500° C for example. The relationship between average charcoal yield versus carbonization temperature was probably a curve as shown in Figure 4. The average charcoal yield at temperature between 300-350° C was 39-47%. The carbonization of remaining specimens at these temperatures had begun to be completed. The average charcoal yield was reduced to 24.5-34.5% when carbonization had been taken at temperature between 400° - 600° C. At 800° C, the temperature was too high for carbonization. The charcoal yield was as less as 21.5%.

#### Fixed carbon contents

Fixed carbon contents from all specimens with respect to time and temperature of carbonization are shown in Figure 5. At temperature less than 250° C, the contents were much less than usual cooking charcoal. The contents increased slightly with respect to time of carbonization. At temperature higher than 300° C, the fixed carbon contents were almost constant after carbonization longer than 30 min. The effect of time for carbonization to fixed carbon contents, after specimens has been completely carbonized, was only slightly.

The average fixed carbon contents of remaining carbonized specimens were reported in Table 1. The relationship between carbonization temperature (300° -600° C) versus respective fixed carbon contents was linear as shown in Figure 6. The linear equation for this relation as well as other properties and its quality are revealed in Table 2.

The fixed carbon content for usual cooking charcoal should be greater than 65%. The result from this experiment indicated that the carbonization temperature for *Eucalyptus camaldulensis* must be higher than 400° C in order to obtain cooking charcoal with qualified fixed carbon content.

### Volatile matter content

Volatile matter contents from all specimens at time and temperature of carbonization are revealed in Figure 7. The contents decreased with respect to time and temperature of carbonization except temperature higher than 400° C. The volatile matter content at a given temperature decreased slightly after carbonization had been completed.

The average volatile matter contents were reported in Table i. Figure 8 and Table 2 revealed the linear relationship between 300°-600° C of carbonization temperature versus volatile matter contents.

The normal cooking charcoal should compose of volatile matter content less than 30% in order to provide smokeless charcoal. The result from this experiment indicated that the carbonization temperature of *Eucalyptus camaldulensis* must be greater than 400° C so that the charcoal contained qualified volatile matter content for cooking.

### Ash content

All remaining specimens from this carbonization composed of ash content less than 2.5%. It was difficult to conclude that the content depended on time and temperature. However, the ash content of most remaining specimens was 1-2%. The usual cooking charcoal allowed to compose of ash less than 5%.

### Heat of combustion

Heat of combustion from all carbonized specimens with respect to time and temperature was shown in Figure 9. The heat content depended on time and temperature of carbonization similar to charcoal yield, fixed carbon as well as volatile matter contents. It appeared that the heat content of remaining specimens increased slightly after 1 h of reaction time at temperature higher than 300° C.

The average heat of combustion with respect to carbonization temperature was shown in Table 1. Results from regression analysis according to Figure 10 and Table 2 revealed that the relationship between carbonization temperature (300° - 600° C) versus heat content was linear. The heat of combustion of usual cooking charcoal should not be less than 6,600 cal/g. Therefore, carbonization temperature of the eucalypt should be higher than 400° C.

## Relationships between heat of combustion versus fixed carbon and volatile matter contents

Relationship between some charcoal qualities of the same specimens was not commonly reported. From this experimental result, it was indicated that the linear relationship between heat of combustion versus fixed carbon content as well as volatile matter content were confirmed from carbonized specimens at temperature between 300° - 600° C as shown in Figure 11. The correlation coefficient of each line was 1.00.

### SUMMARY

The carbonization of *Eucalyptus camaldulensis* was made at temperature between 200° - 800° C within 10 h of reaction time. Two hundred and fifty specimens, 3 × 3 × 4 cm each, were prepared from 8 trees of planted eucalypt at 53 months old. A carbonization was taken from isothermally heating of 4 specimens in an electrical furnace under a nitrogen atmosphere at a given time and temperature. Residual mass as well as some charcoal properties, i.e. heat of combustion, fixed carbon and volatile matter contents, were determined from the remaining specimens. These charcoal properties depended on carbonization temperature. The charcoal yield was 21.5-91%. The heat of combustion was 4,600-7,480 cal/g. The fixed carbon, volatile matter as well as ash contents were 19.5-91.5%, 7-80% and 0.2-2%, respectively. The details of charcoal yield and properties from each carbonization temperature were summarized as follows.

At temperature lower than 250° C, all specimens were not completely carbonized although the carbonization had been taken as long as 7 h. The charcoal yield was more than 67%. The heat of combustion and fixed carbon content of the products were less than 5,500 cal/g and 35%, respectively. The products composed of more content of volatile matter.

At temperature between 300° - 350° C all specimens were completely carbonized within 30 min. The average charcoal yield, heat of combustion, fixed carbon and volatile matter contents were almost constant after 30 min of reaction time. The charcoal yield was 39-47%. The heat of combustion, fixed carbon and volatile matter contents were 6,200-6,420 cal/g, 57-62% and 37.5-42%, respectively. These charcoal properties were little poorer than usual cooking charcoal.

Between 400° - 600° C, all specimens were completely carbonized within 15 min. The average charcoal yield, heat of combustion, fixed carbon and volatile matter contents were 6,620-7,480 cal/g, 68-87% and 11-31%, respectively. These physical properties were similar to usual cooking charcoal.

At 800° C, the temperature was too high to produce charcoal. The charcoal yield decreased with respect to reaction time. The heat of combustion, fixed carbon as well as volatile matter contents were not much better than those charcoal properties at 600° C.

Statistical analysis revealed linear relationships between carbonization temperature between 300° - 600° C versus heat of combustion, fixed carbon as well as volatile matter contents. The linear equations for these relationships are as follow:

heat of combustion vs temperature,

$$Y = 4,885 + 4.402 X :$$

fixed carbon content vs temperature,

$$Y = 26.63 + 0.1025 X :$$

volatile matter content vs temperature,

$$Y = 73.99 - 0.1067 X :$$

heat of combustion vs fixed carbon content,

$$Y = 3,743 + 42.93 X :$$

heat of combustion vs volatile matter content,

$$Y = 3,937 - 41.23 X :$$

The correlation coefficient of each equation is 1.00.

The results from this experiment suggested that the optimal carbonization temperature for *Eucalyptus camaldulensis* at 53 months old should be 400° - 500° C for producing of cooking charcoal with qualified yield and properties.

### ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank Dr. Aroon Chomcharn for giving the eucalypt trees, Dr. Somrat Yindepit for setting up a temperature controller and allowing to use an adiabatic bomb calorimeter.

**REFERENCES**

1. Bailey, R.T. and Blankenhorn, P.R. Calorific and porosity development in carbonized wood. *Wood Sci.*, 1982, **15** (1), 19-28.
2. Beall, F.C. Properties of wood during carbonization under fire condition. In Goldstein, I.S. *Wood Technology : Chemical Aspect*. ACS Symposium Series 43, Washington D.C., 1977, 107-114.
3. Florestal Acesita S.A. Charcoal production in Brazil. State-of-the Art report submitted to USDA, Forest Service under Contract No. 53-319 R-0-144, 1982, 51-94.
4. Slocum, D.H., McGinnes, E.A., Jr. and Beall, F.C. Charcoal Yield, Shrinkage, and Density Changes During Carbonization of Oak and Hickory Woods. *Wood Sci.*, 1978, **11** (1), 42-47.
5. UNDP. Thailand rural energy issue and options. A report of the joint UNDP/World Bank Energy Sector Management Assistance Program, 1985, 148.
6. Wenzl, H.F.J. *The Chemical Technology of Wood*. Academic Press, New York, 1970, 251-300.

**Table 1. Average charcoal yield and its properties from carbonization of *Eucalyptus camaldulensis***

Carbonization temperature (° C)	Charcoal yield (%)	Volatile matter content (%)	Fixed carbon content (%)	Heat of combustion (cal/g)
200	91	80	19.5	4,600
250	67	64	35	5,500
300	47	42	57	6,200
350	39	37.5	62	6,420
400	34.5	31	68	6,620
500	27	19	79.5	7,170
600	24.5	11	87	7,480
800	21.5	7	91.5	7,430

**Table 2. Regression analysis of carbonization temperature (300° - 600° C) and respective charcoal properties.**

Items	$a_0$	$a_1$	$s_{y.x}$	$s_0$	$s_1$
Fixed carbon content vs temperature	26.63	.1025	1.22	2.24	$5.05 \times 10^{-3}$
Volatile matter content vs temperature	73.99	-.1067	1.24	2.27	$5.13 \times 10^{-3}$
Heat of combustion vs temperature	4,885	4.402	57.50	105.8	0.24
Heat of combustion vs fixed carbon content	3,743	42.93	27.82	80.35	1.123
Heat of combustion vs volatile matter content	7,937	-41.23	29.81	35.11	1.156

**Note** The correlation coefficient of each relationship was 1.00.

$$Y = a_0 + a_1 X$$

$s_{y.x}$  = Standard error of estimate (of Y on X)

$s_0$  = Standard error of regression coefficient  $a_0$

$s_1$  = Standard error of regression coefficient  $a_1$

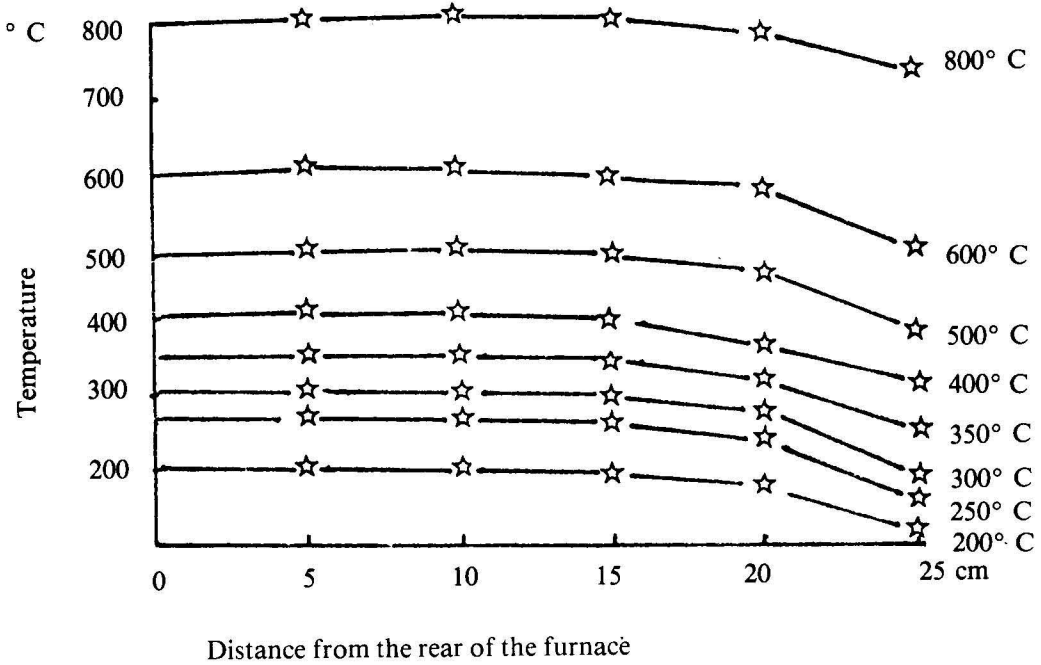


Fig. 1 Temperature profile of the furnace.

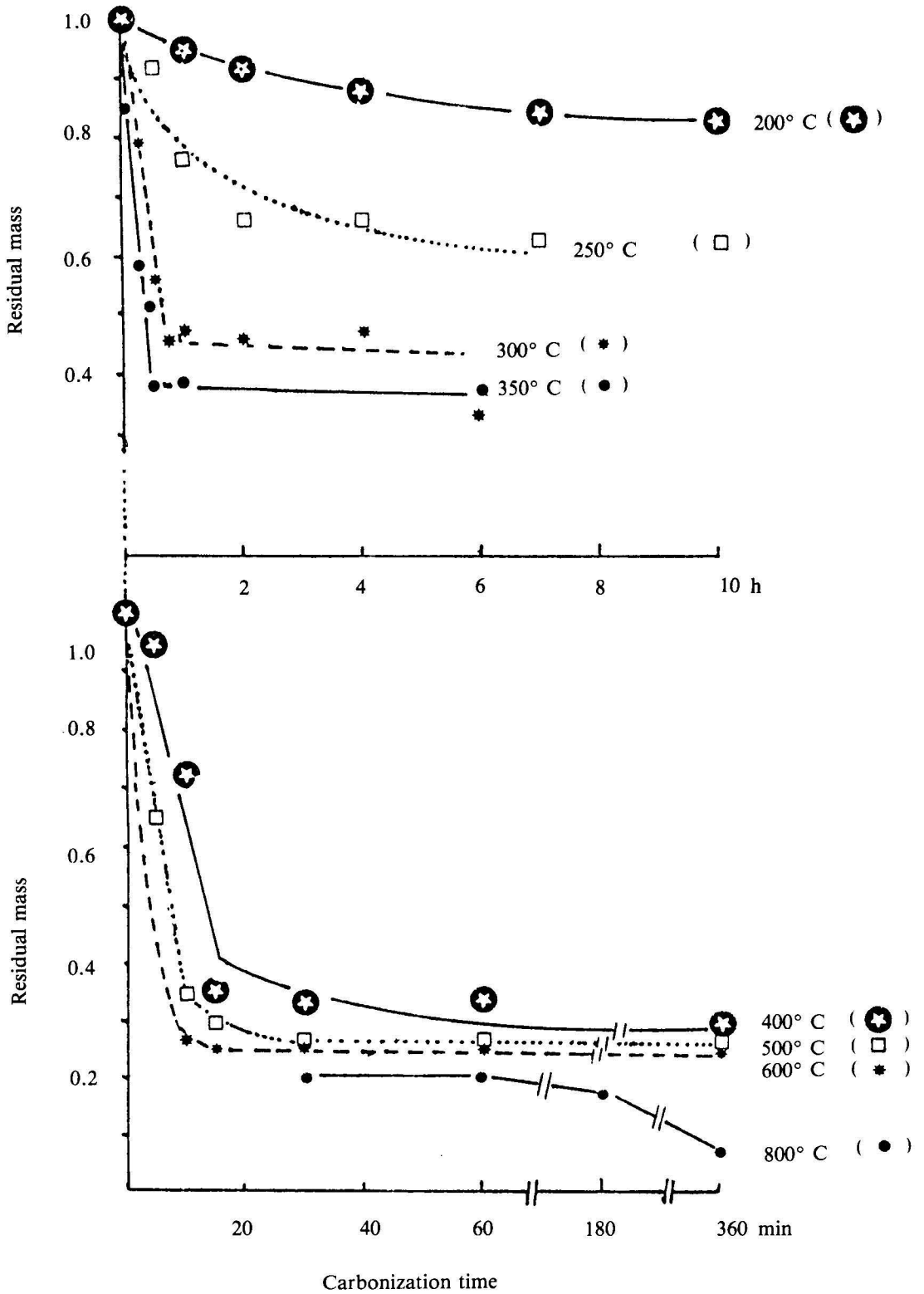


Fig. 2 Average residual mass from carbonization.

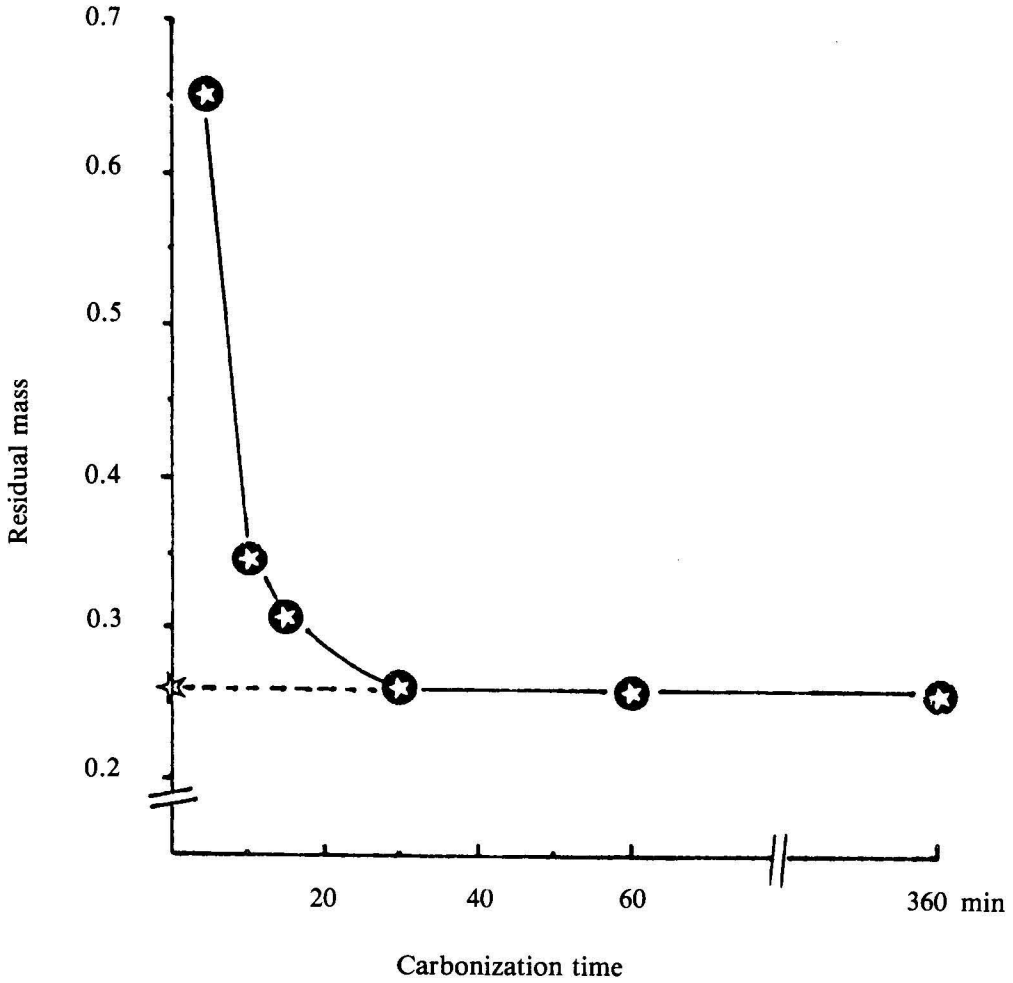
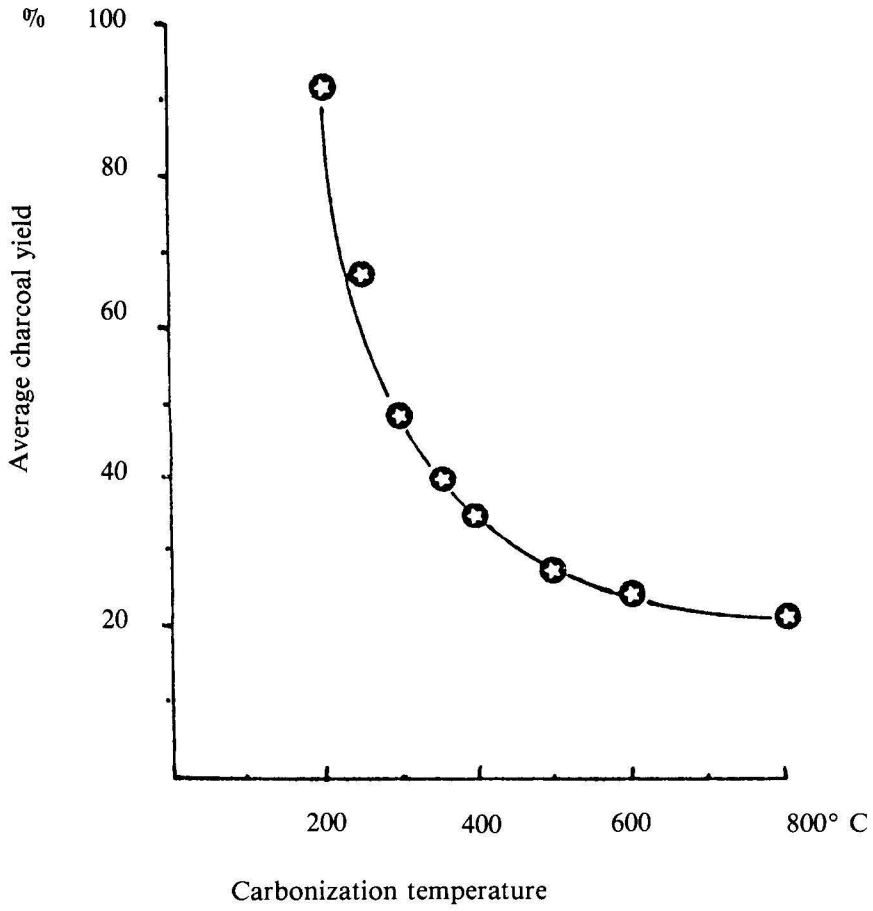


Fig. 3 Determination of average charcoal yield at 500° C.



**Fig. 4 Relationship between average charcoal yield versus carbonization temperature.**

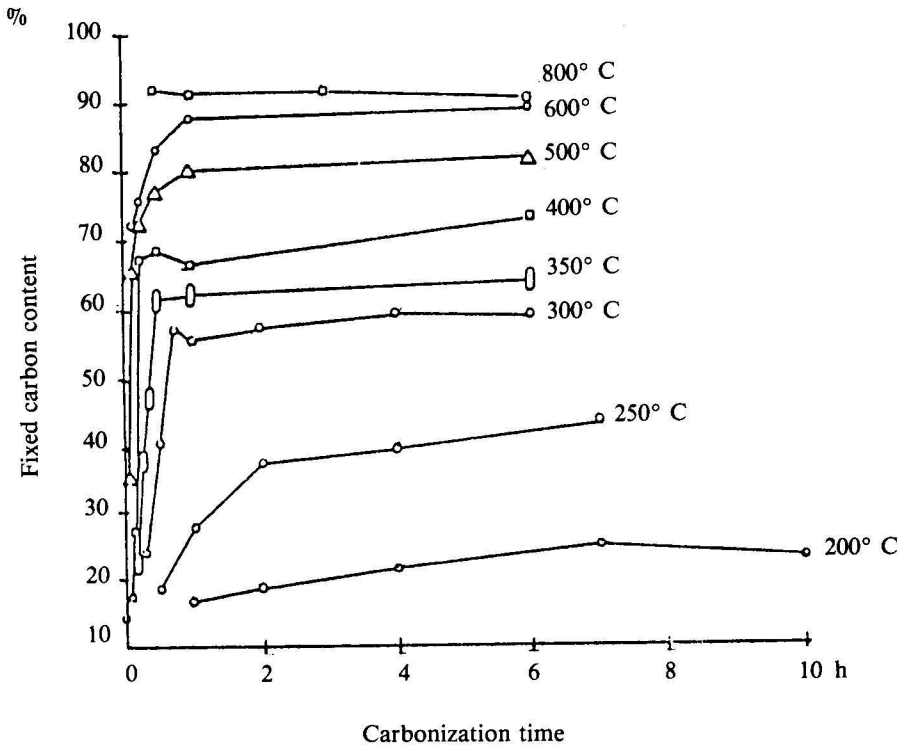


Fig. 5 Fixed carbon content in carbonized specimens.

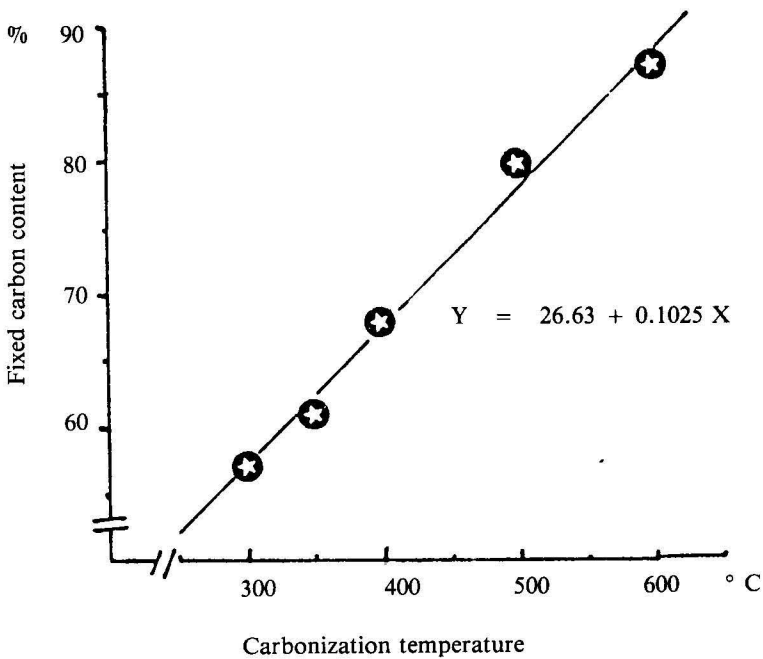


Fig. 6 Relationship between fixed carbon content versus carbonization temperature.

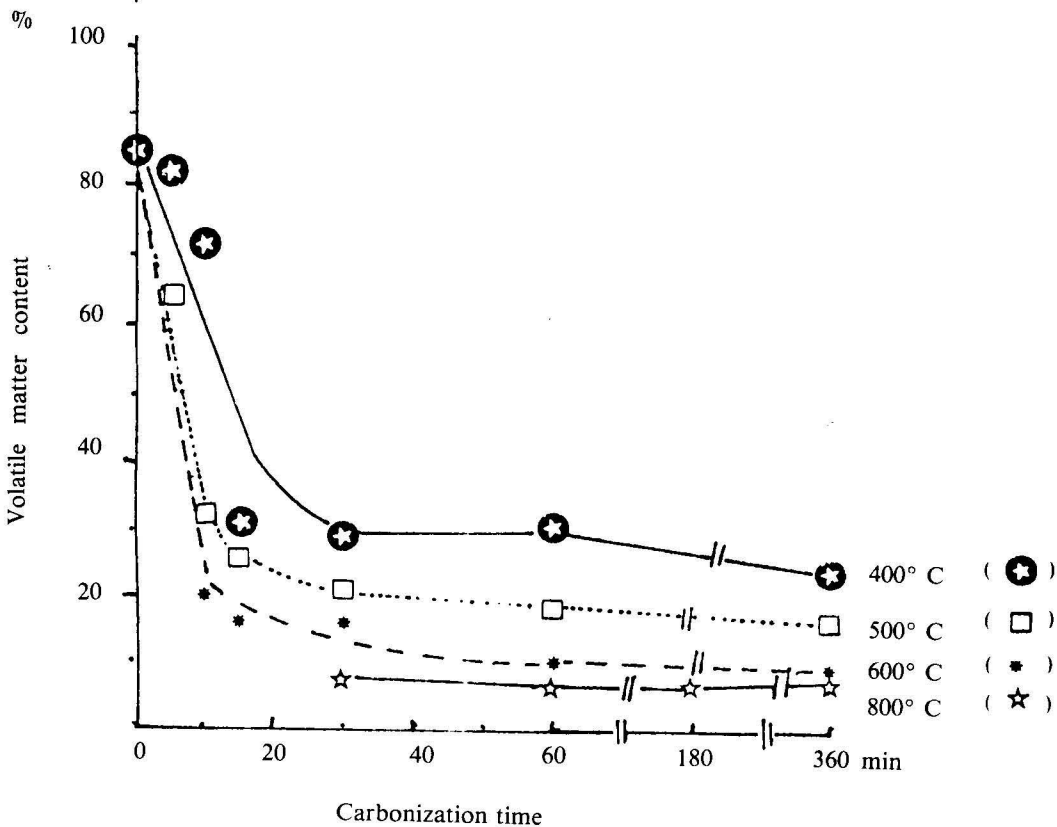
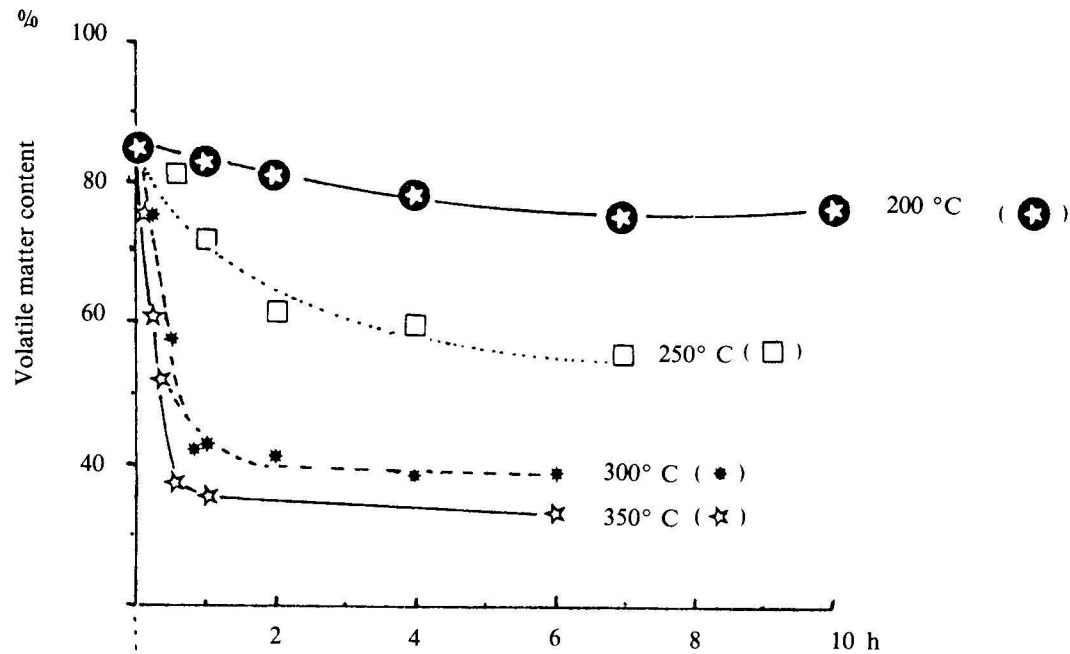
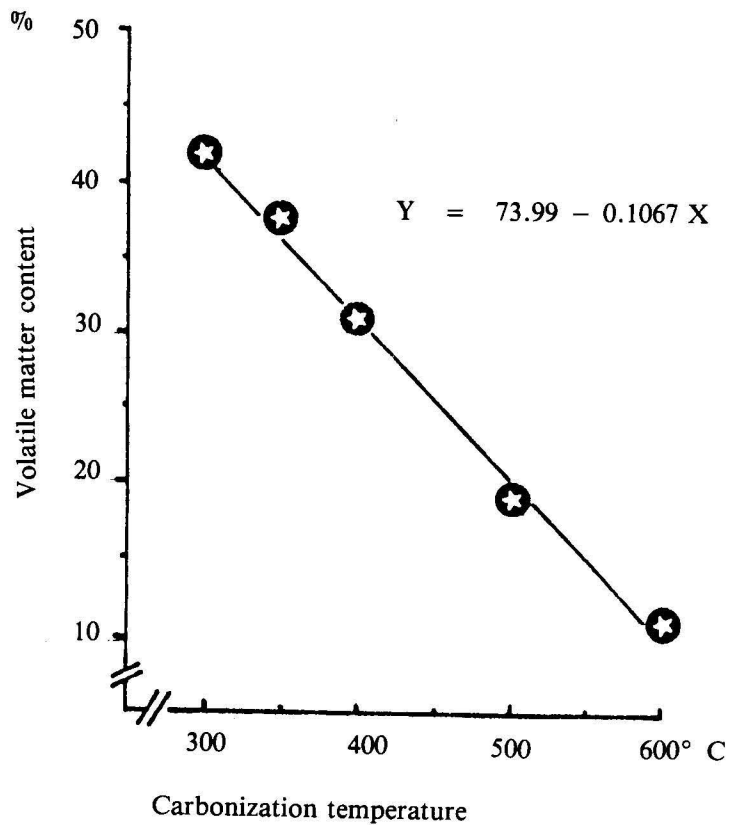


Fig. 7 Volatile matter content in carbonized specimens.



**Fig. 8 Relationship between volatile matter content versus carbonization temperature.**

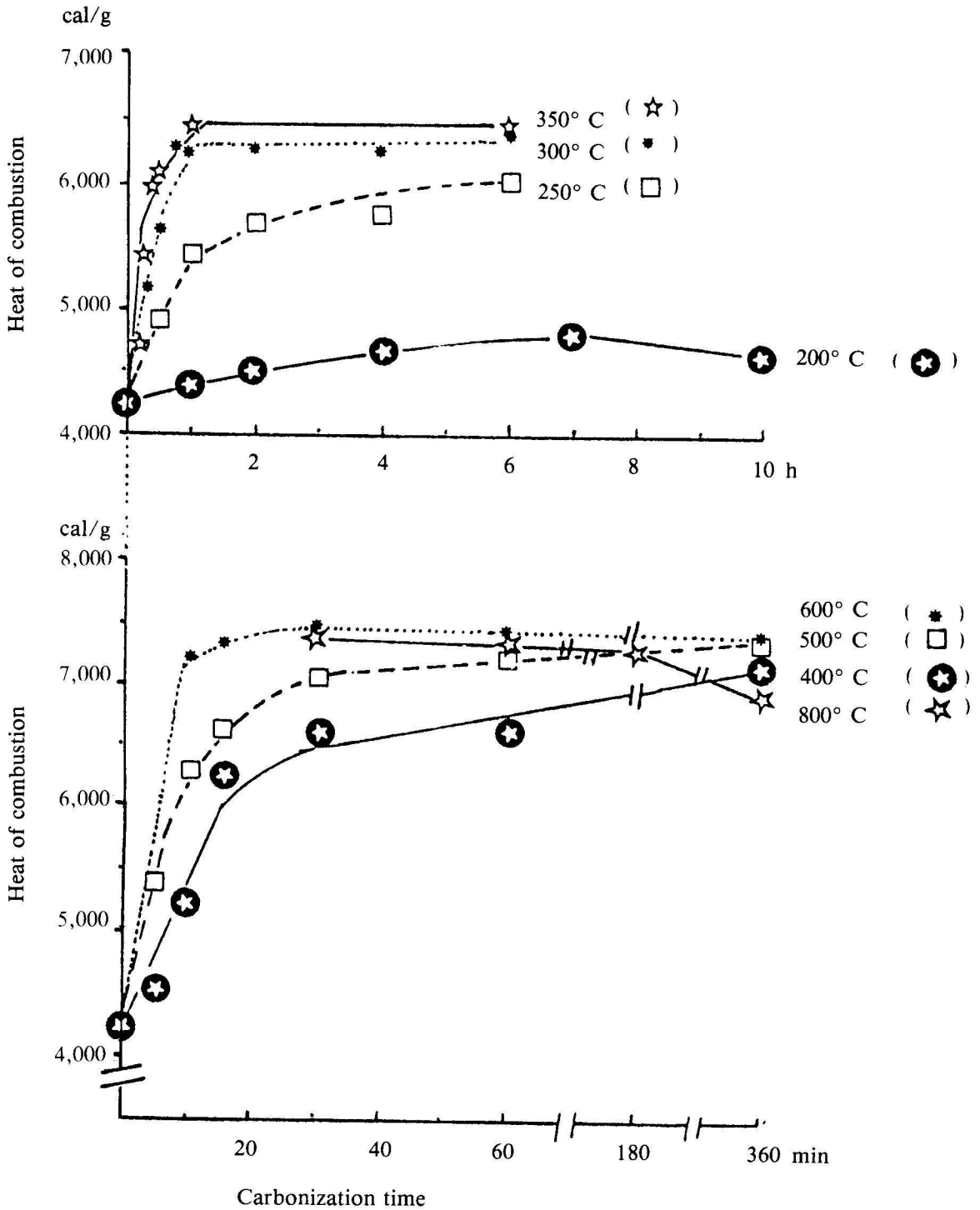


Fig. 9 Heat of combustion in carbonized specimens.

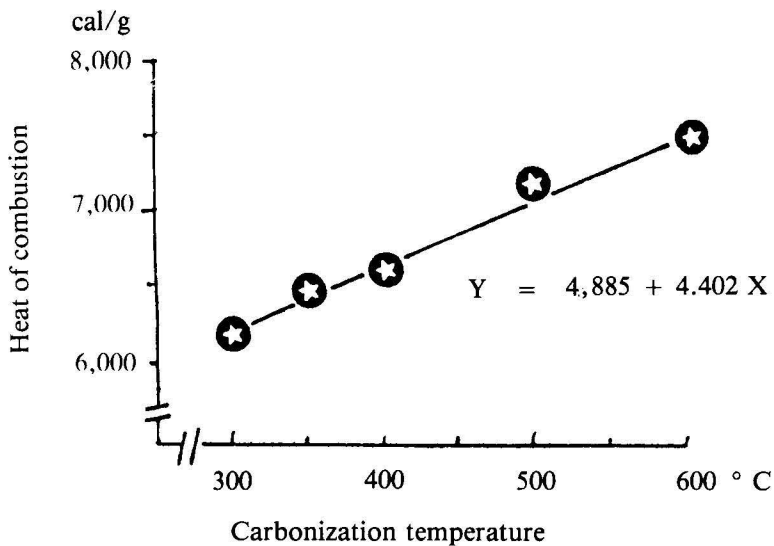


Fig. 10 Relationship between heat of combustion versus carbonization temperature.

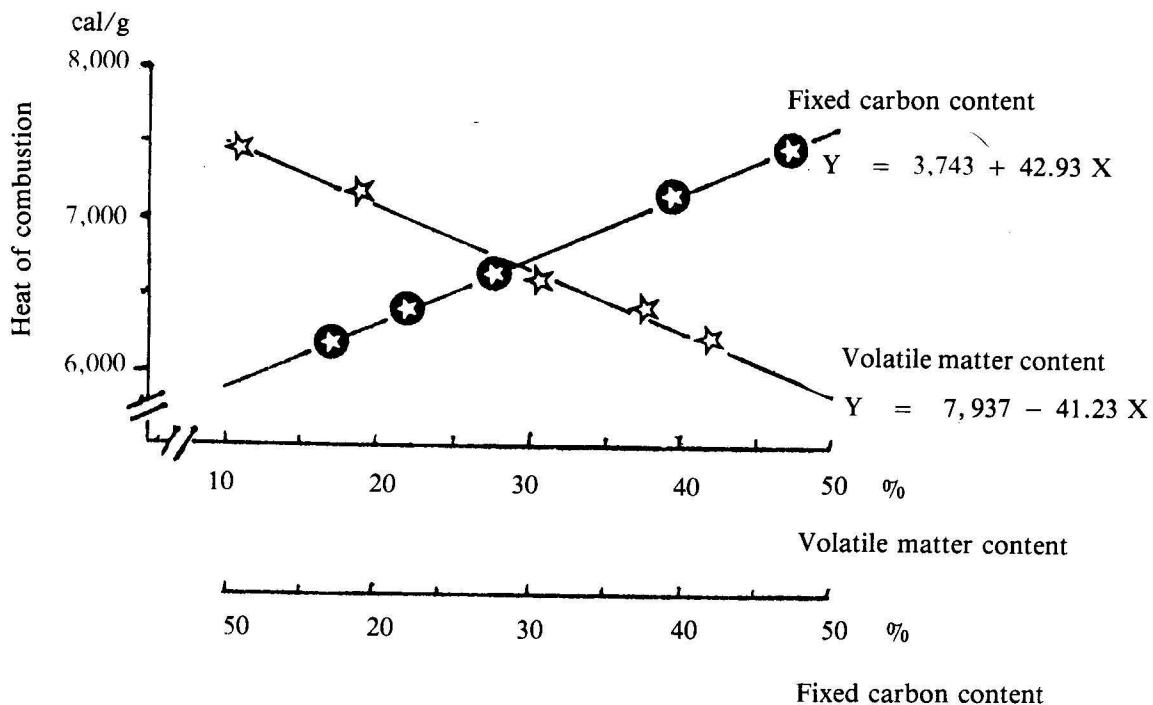


Fig. 11 Relationship between heat of combustion versus volatile matter content and fixed carbon contents.

วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

**JOURNAL OF THE NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THAILAND**

ภาค ๒

สังคมศาสตร์

**PART II**

**SOCIAL SCIENCE**

# ADMINISTRATION OF NON-FORMAL EDUCATION IN THAILAND

## การบริหารงานการศึกษานอกโรงเรียนในประเทศไทย

**Boonton Dockthaisong**

บุญตัน ดอกไธสง

**National Institute of Development Administration**

สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

### ABSTRACT

*This exploratory study showed that the initiative policy to reduce a rate of illiteracy to 10.5% was centralized by the government. To combat the illiteracy, Non-Formal Education centers were established throughout the country. These centers were used to accommodate the educational facilities and provide information to the local people.*

*Nevertheless, the Non-Formal Education Department requires a large national budget to support its own organization and activities as much as coordination with local personnel and agencies to prevent the repetition of certain activities. It was recommended that the Non-Formal Education Department should work in collaboration with primary and secondary schools which already had educational facilities in order to achieve the principle of self-reliance among the targeted people.*

### บทคัดย่อ

ประเทศที่กำลังพัฒนาเช่นประเทศไทยต้องเผชิญกับปัญหาที่สำคัญประการหนึ่ง คือการที่ประชากรบางส่วนไม่รู้หนังสือ ซึ่งจากการสำรวจเมื่อปี พ.ศ. 2526 พบว่าจำนวนผู้ไม่รู้หนังสือ มีประมาณ 14.5% ของประชากรทั้งประเทศ ดังนั้น รัฐบาลจึงต้องวางนโยบายเพื่อหาทางขจัดจำนวนผู้ไม่รู้หนังสือให้ลดลงอย่างน้อย 10.5% ในปลายปี 2529 รัฐบาลจึงเห็นควรให้จัดตั้งกรมการศึกษานอกโรงเรียนขึ้น โดย

เป็นองค์กรหนึ่งในสังกัดกระทรวงศึกษาธิการ เพื่อให้มีหน้าที่รับผิดชอบและดำเนินนโยบายในการจัดปัญหาประชากรไม่รู้หนังสือดังกล่าวตามนโยบายของรัฐบาล โดยกำหนดคนนโยบายจากส่วนกลาง เช่น การจัดตั้งศูนย์การศึกษาออกโรงเรียนในทุกจังหวัด ทุกภาคทั่วประเทศ เพื่อให้การบริการทางด้านข่าวสาร และงานอาชีพไปยังกลุ่มประชากรเป้าหมายโดยตรง ซึ่งจะทำให้จำนวนผู้ไม่รู้หนังสือลดลง และคาดหมายได้ว่ามีแนวโน้มที่จะลดลงไปเรื่อย ๆ

การวิจัยเชิงสำรวจนี้แสดงให้เห็นว่า กรมการศึกษานอกโรงเรียนจำเป็นต้องใช้จ่ายเงินจำนวนมากเพื่อเสริมสร้างองค์กรของตนในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว และการทำงานมีลักษณะซ้ำซ้อนกับหน่วยงานอื่น ๆ หากกรมการศึกษานอกโรงเรียนจะได้ประสานแผนงานและขอความร่วมมือจากหน่วยงานอื่น ๆ และบุคลากรต่าง ๆ ในระดับท้องถิ่น เช่น โรงเรียนประถมศึกษาและมัธยมศึกษา ซึ่งมีอุปกรณ์และสถานที่พร้อมมูล รวมทั้งให้วัดเป็นสถานที่ศึกษาด้วยแล้ว โครงการดังกล่าวจะช่วยให้การสูญเสียงบประมาณของชาติลดน้อยลง ทั้งนี้ รัฐบาลจะต้องเน้นนโยบายการพึ่งพาตนเองเพื่อกระตุ้นให้นักการศึกษา ผู้นำในท้องถิ่น และการศึกษาโดยกลุ่มให้รู้จักการช่วยเหลือตนเองให้มากที่สุด

## INTRODUCTION

According to the National Demographic Survey, approximately 3.5 million of the Thai population between the age of 14-55 were unable to read or write, that is, 14.5% of the total population. These illiterates can be classified as:

1. Those never entering school.
2. Those failing the Grade 4 final examination.
3. Those still illiterate after receiving the Grade 4 Certificate.

The survey, involving 18 provinces out of 72, in 1982 revealed ca.\* 660,322 persons were illiterate, mostly female, including those receiving only primary Grade 4 education of which one consequence is a lack of the necessary training to do business with local merchants, which brings about the fear of exploitation.

Measures intended to combat this situation are under the following headings:

1. Transition from adult education to Non-Formal Education.
2. Establishment of Non-Formal Education facilities.

---

\* ca. = approximately

3. Distribution of Non-Formal Education.
4. Impact of Non-Formal Education on national and rural development.

At the time of absolute monarchy, educational opportunities existed only for the privileged classes. Traditionally, teaching was conducted in the temple where young pupils learned to read, write, became novices at the age of 12-19, and were finally ordained as a monk at the age of 20. They might subsequently withdraw from the monkhood in order to serve the country. The Sangha organized its educational program into 2 levels 1. Dhamma: levels 1 to 3, 2. Pali: levels 1 to 9 and there were two Buddhist universities employing traditional and modern educational methods in conjunction.

The Thai People's Party assuming power in 1932, set its policy towards: 1. National self-sufficiency 2. Internal security 3. Job-creation and economic opportunity for all 4. Social equality 5. Freedom, according to the preceding four principles 6. Universal education: The Compulsory Elementary Act was passed in 1923. Adult education leading to the award of a certificate was commenced in 1940, but this opportunity has been available only to a few, since ca. 14.5% of the population still remains illiterate.

Hence the 5<sup>th</sup> National Social and Economic Development Plan (1982-1986) has set the goal of reducing illiteracy to 10.5% by the end of fiscal year 1986, it is a task for which the Department of Non-Formal Education will be responsible.

### **Transition from adult education to Non-Formal Education**

The Department of Non-Formal Education was established by a Royal Decree through amendment of Administrative order No. 216, September 19, 1972 (Article 8). The National Educational Planning Board for 1983-1987 (Section 2, No. 16) reiterated the Government's obligation to increase the standard of living of underprivileged people through multi-purpose Non-Formal Education, following the aim of the 4<sup>th</sup> National Socio-Economic Development Plan (1977-1981) towards wider distribution of socio-economic, health and educational opportunities among rural people.

The Ministry of Education, in cooperation with the Ministries of Interior, Health, Agriculture and Cooperatives, and other local agencies, will campaign to eliminate illiteracy within 3 years. In 1982 the Non-Formal Education Department surveyed the feasibility of setting up its operations in 24 provinces, which would be extended to 31 provinces in 1983, and nationwide in 1984.

## Objectives of Non-Formal Education

### 1. General

To eliminate illiteracy among people between the age of 14-55.

### 2. Specific

2.1 To promote literacy and interest in reading.

2.2 To promote access to modern knowledge via literacy and vocational training.

2.3 To promote mutual help and cooperation towards development.

### 3. Procedure

3.1 To utilize the services of e.g. government agencies, private sectors and individuals in solving this persistent problem.

3.2 To encourage students, scholars, novices and monks to voluntarily campaign to eliminate illiteracy.

3.3 To utilize the mass media for the distribution of Non-Formal Education.

## Curriculum, learning and teaching processes

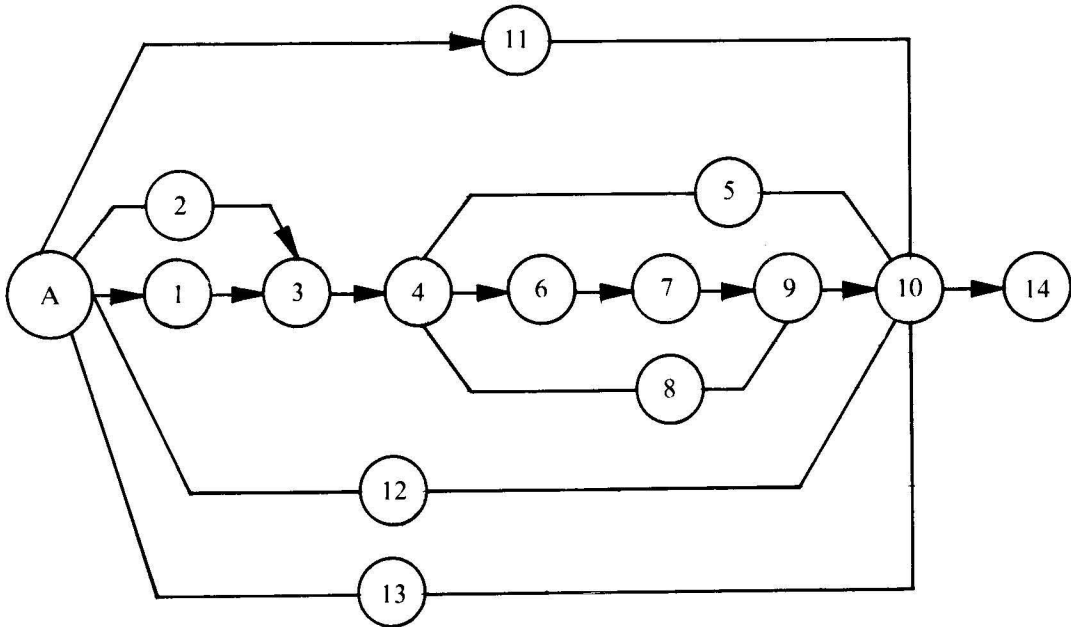
These processes aim at adult or unemployed persons, leading to a certificate granting eligibility to pursue higher education. Some may receive short-term occupational training e.g. hair-dressing, mechanical and electrical techniques, building, or painting.

A basic curriculum is designed to eliminate national illiteracy. Teaching is given voluntarily by those able and willing to serve. A community able to implement the program successfully will receive privileges and a certificate of honour from the Ministry of Education (MOE). As for the pupils, when they are sufficiently proficient they may take an examination provided twice a year by the MOE. Subsequently, in order to improve the ability of those who have learned to read and provide them with access to necessary information (including market price information), each village must be provided with at least two newspapers and other reading material. This plan generates the distribution of books and the development of communications within the village.

The Educational Supervisor for Non-Formal Education, and concerned agencies including voluntary personnel will visit villages regularly to give advices relating to current problems. The MOE has also endeavoured to promote public awareness of national illiteracy,

lack of knowledge and occupational skills that impede development. The government strongly encourages the use of mobile educational centers and libraries as a means to reduce illiteracy. Sequence of the social events is demonstrated in the following diagram:-

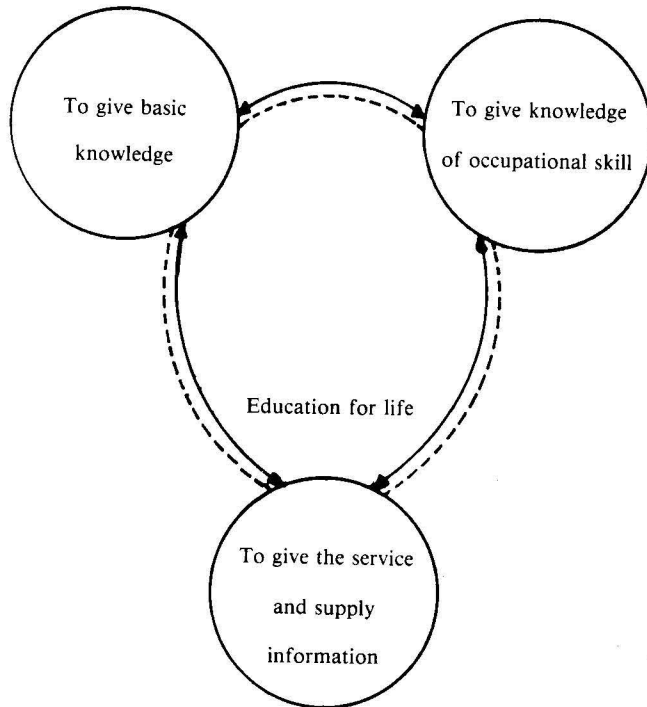
**The process of national literacy campaign project**



#### A. Project approval

1. Information from the offices concerned
2. Survey of the extent of illiteracy
3. Selection of provinces for launching a project
4. Meeting with the heads of the selected provinces to explain principles and procedure
5. Design of curriculum and textbooks
6. Selection of volunteers
7. Selection of respondents at local level
8. Training of lecturers responsible at local level
9. Training of respondents at local level
10. Work of the volunteer teachers
11. Evaluation study
12. The information project
13. Orientation, follow-up, and evaluation
14. Report on the results of each project.

The basic plan for Non-Formal Education, which views education as a life process, may be illustrated by the diagram:-



## The Non-Formal Education program

There are 2 programs:-

### 1. Adult general education

It is a non-formal adult education leading to a certificate equivalent to the normal certificate of education. Its courses of study, usually in the evening, have 2 levels. (Diagram 1)

#### 1.1 Primary level

1.1.1 Grades 1-2, 6 months. These courses are used in some adult schools in rural areas, except for adult classes in prisons, and other rural adult schools using the functional literacy curriculum.

1.1.2 Grades 3-4, 6 months. These courses are used by adult schools in towns for those wishing to continue school, and for adult classes in prisons.

1.1.3 Grades 5-6, 1 ½ years. Completion of at least 30 credits are required for a pass.

## 1.2 Secondary level

1.2.1 Functional education Grades 7 - 9, 1½ years, 50 credits required.

1.2.2 Adult education Grades 10-12 for upper secondary school, issued by the Ministry of Education in 1975.

The above program enables a student, lacking previous opportunity to study, to attain the High School Certificate within 3 years. Many students enrolled on these courses have proved successful at the highest level of national and international education.

## 2. Vocational adult education

The program provides short-term vocational training according to job-market demands, There are 2 schemes:-

2.1 Courses of 100-300 hours, specializing in industry, home economics, business, and agriculture, held in fixed day schools.

2.2 Classes given by mobile units serving remote areas. Mobile adult schools offer courses in dress-making, tailoring, hair-dressing, mechanics, and agriculture, of 150-300 hours, attendance from 9.00 a.m. - 3.00 p.m. Mobile trade training schools specialize in industrial vocations, offering courses of 400 hours, attendance from 9.00-12.00 a.m., 1.00-4.00 p.m., 5.00-8.00 p.m.

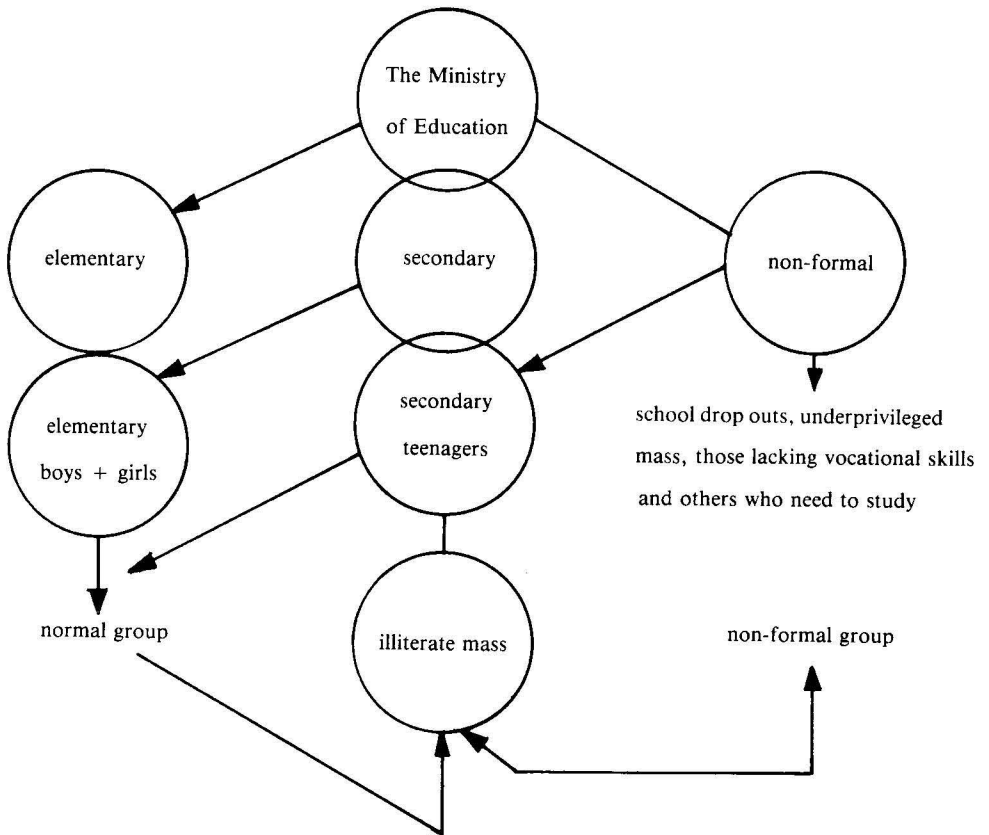
Operating since 1973, interest groups program offers courses of 5-30 hours, depending on people's initiative wishes to study in the field of interest beneficial to themselves and their community. It is interesting to note that the program has been popular in all regions. Action may be initiated by:

1. Random selection of at least 15 people wishing to study in a specified field, following a survey of local needs by provincial officials.

2. A request from at least 15 people interested in studying a specified topic which must be clearly defined. Resources are provided by provincial or central authorities, teachers being paid a government stipend of 30 baht per hour.

**Connection with the existing formal system**

The Department of Elementary Education has been successful in providing services in remote areas and the standard of elementary education is considered high in Southeast Asia. The Department of General Education is responsible for secondary schools and employs teachers of a high standard, often degree holders. Both elementary and secondary school teachers also assist development at the village level by acting as advisors in educational matters. The Academic Department handles curriculum development and research into improved educational material. The next diagram relates Non-Formal Education to the other departments:-



The Non-Formal Education project is diffused throughout the country, its facilities are modern, and makes use of time outside that allotted to elementary and secondary school classes.

## **Establishment of Non-Formal Education facilities**

### **1. Public libraries**

Public libraries have been established as multi-purposed organizations. The government provides its people with public libraries to implement the habit of reading and profitable use of leisure time, and also disseminating up to date news and current informations. There are many types of public libraries, such as, provincial public libraries, district public libraries and mobile libraries. The mobile libraries are mobile vans and boats moving around communities.

### **2. Functional library program**

Public libraries also provide the functional library program. The training is offered to illiterates to promote social and environmental knowledge, problem-solving and decision-making abilities according to local problems, interests, and needs. Discussion between students and teachers on communal and individual problems and their solution may take place in schools, temples, or the students' own homes.

### **3. Educational audio-visual unit**

These units, one for each province, bring information to people in remote areas, in the hope of clearing up misunderstandings among people and between the people and the government. Usually movies are preferred. The unit sets a visiting date, on which educational films and slides are shown.

### **4. Mass media for adult education**

The mass media are used to provide instruction to some 80% of the people who do not attend school.

“Adult Education News” is a bi-weekly wall newspaper sent to village newspaper-reading centers, temples, village headmens' houses, health centers and adult schools, providing information on vocational guidance, health, nutrition, family planning, and laws relating to everyday life. The contents also cover social education, culture, and traditions, in simple language and in forms that can be practically applied.

Radio and television programs inform people concerning economic conditions, marketing and prices of agricultural products.

### **5. Radio and correspondence**

Transistor radios are the cheapest form of mass media, widely used in the countryside. Students receive information by radio and course materials by mail and follow the course according to schedule, or by meeting with a group of teachers for at least 3 hours per week.

### **6. Village newspaper reading center**

According to the survey, about 80% of rural persons literate on leaving primary school lose their ability through lack of opportunity to read. They are disadvantaged in business with local middlemen and subject to exploitation and cheating. It is a feature of an underdeveloped society that the rich exploit the poor; and rural farmers have been regarded as holding the lowest rank in Thai society.

Education is necessary to overcome this inequality, promote business ability and the formation of cooperatives to check middleman exploitation. Hence the government is attempting to quickly solve this problem by launching a pilot project to acquire reading material for rural people. This center has been established for donation for children's books, textbooks, periodicals, supplementary reading and vocational books. Solution to the problems of illiteracy in a developing country is an enormous task for a government, but one very relevant to human development.

### **7. Provincial Non-Formal Education centers**

Since the 1976 survey indicated that 32.4 million persons were not attending school, expansion of NFE services to the provinces is considered urgent. So far, the NFE has established centers (Figure 1) while radio programs are broadcast from Bangkok and 32 provincial stations, covering the subjects of : 1. Life experience 2. Social science 3. Music and pragmatic art, Grades 1-6 4. English language, Grades 5-9 and 5. Thai language, Grades 1-6. At the same time the section provides teachers' handbooks and learning materials for students, and instructs teachers in the effective use of the programs.

The radio visual material section supplies materials for use in and out of school e.g. documentary films and supplementary films for educational television programs. The technical

section provides electrical expertise to the center and co-ordinates with the Public Relations Department in installing and maintaining equipment. Programs are televised on channels 9 and 5 and are recorded for re-use by provincial stations. The above center conducts research into the effective application of new technology for teaching media.

**8. Center for educational technology**

It provides educational radio programs for members of the public, including education officials, and specific groups such as the people of the four southernmost provinces, the majority of whom are muslims.

Educational radio programs are summarized in the following table.

The voice of radio education	Radio Broadcasting Station				Programs: entertainment information and other extra programs such as national security etc.	Types: drama music song occupation nutrition law foreign language
	Monday ↓ Friday	time 7	hour -	broadcasting time 3.00-10.00 p.m.		

Source: Report from Non-Formal Education Bulletin, Ministry of Education.

**9. The Bangkok Planetarium**

One of the largest in Southeast Asia, the Planetarium was established in 1964 to promote astronomical knowledge. It offers numerous instructional services for exhibitions on the solar system, universe and space exploration, training in the teaching of astronomy, use of the telescope the most popular with students-exhibitions on current space research.

## 10. Science Museum

The Science Museum, within the same precincts of the Bangkok Planetarium, exists to promote scientific and technological knowledge among students and the general public. Its temporary and permanent exhibitions include:

1. Basic environmental science, mathematics, measurement, energy conversion, wave phenomena, basic chemistry and biology.
2. Technology in everyday life: communication, transportation, human necessities, and agriculture.
3. Technology applicable to rural areas e.g. wind power, hydraulics, methane fermentation of organic waste, and the use of local crafts such as blacksmithing, pottery, and brick manufacture.

The museum comprises of 3 sections as follows:

1. Suggestion section: Dealing with the acquisition of knowledge at primary, secondary and vocational levels.
2. Illustration section: The promotion of scientific and technological knowledge, at academic level, via audio-visual materials and lectures.
3. Agricultural Dome: Mechanization, use of fertilizers, and other agricultural technology.

## 11. Mobile unit on science education

This involves the application of mobile units to science education, with the aim of promoting scientific knowledge in rural areas and its application to the benefit of these areas.

## 12. Natural History Museum

This was opened in 1984, to promote the understanding of natural science relevant to natural resource development, and will undertake collection and research into local and foreign flora and fauna, organize exhibitions and conduct science teaching.

The most difficult of the illiterate to educate are those who turn their backs on learning and occupy their time in unproductive pursuits. Likewise one of the biggest obstacles to scientific knowledge is the belief in a superhuman culture.

### **13. Museum of Thai Cultural History**

It was planned to disseminate among the people a knowledge of the value of their own cultural heritage.

#### **Distribution of Non-Formal Education**

At present, we can say that the program described is being actively pursued. In addition, Sukhothai University is offering extramural courses through correspondence and television, which are open to all able to read the Thai language.

Hence adult education may be classified in 3 categories:-

1. The university level offers a degree and also a certificate level, of law, business administration, public administration, education, political science.
2. The education of the young, adult and the old age in the study of Buddhism.
3. The Non-Formal Education offers to all under privileged citizens, all types of national learning process which is able to solve the illiteracy mass.

However, there is a lack of coordination between these 3 systems. Buddhist education was the first to be opened to all and is considered of great value towards developing the potential of the mind. Sukhothai University has extended the possibility of university level education to all — though students must pay for learning material. Non-Formal Education was designed as an urgent measure to quickly combat illiteracy and provided vocational training.

Effective distribution of education requires clear identification of the needy target groups, adequate budget, and the cooperation of those to be taught. Despite the fact that the task is being approached with efficiency, the result is as yet uncertain.

#### **The impact of Non-Formal Education on national and rural development**

At present, the urban illiterate benefit more from the project. When the people from rural areas become literate, they will understand such things as the relation between Government policy and price changes, and at the least to understand information related to their work on the farm. Moreover, an uneducated farmer cannot protect himself from exploitation by the local elite.

### **The cooperative link-up**

The system of 4 ministries working in collaboration was designed to mobilize national resources to meet the needs of the rural population; while the Rural Development Committee was formed for the purpose of eradicating rural poverty and hardship. The 4 ministries have been co-ordinated into a single administrative body to direct rural development to high-poverty areas. To eliminate the problem of the 11 million people classified as “poor” throughout the country, government subsidies have been allotted to rural areas for the development to local resources, for example; irrigation, health care, security and education of the illiterate.

The cooperative organization comprises the Central Committee for Rural Development attached to the Office of the Prime Minister, and corresponding committees at provincial, district, communal, and rural levels. Though these committees are working together in the hope that the major problems of rural areas may be relieved by the end of the 5<sup>th</sup> year plan in 1986, the fact remains that decisions continue to be made by an elite group at the top. Though it was intended that the rural population should organize and plan for themselves, the basic administrative bodies, the commune councils were not yet sufficiently strong nor legally constituted to be self-determining.

In fact, the temple remains the only real school for many villagers. The monks and novices, trusted as members of the community itself, are instructors in the rural areas. They may leave to acquire education themselves and return to their own villages as teachers. The system has been in operation since early time and it is possible for a villager to acquire a good education through this medium, thus tending to mitigate the inequity between urban and rural districts.

Despite the fact that the Non-Formal Education program, modeled on the western system, is well organized at the bureaucratic level, it is still uncertain how effective is the service provided where it is needed — it may tend to be limited to urban students living near the center of activity.

### **Ineffectiveness of the services**

As a result of observations and discussions with responsible officials, the different ministries work well individually but somewhat in isolation and with limited resources. The system works well in the urban areas; but the planners have not foreseen the difficulties of the remote rural areas, with their widely scattered villages.

Although the project is targeted specifically at rural areas, progress has not been so rapid as expected because the level of poverty is far greater than had been imagined by the central authorities. The people are farmers, uneducated, with many children and limited resources for cultivation, subject to exploitation. For them, the cost of food leaves little for education. Hence the educational service must be developed side by side with economic development or learning by producing.

### **Overview of the problem**

The administration of NFE, from the top downwards leads to dysfunction and lack of coordination at the practical level. In consequence NFE has faced the following problems:-

1. The classification of illiteracy is not clearly specified between the urban and rural illiterate mass.
2. How to serve remote areas adequately. The answer may be simple: to serve those who want to be served. The high expense of projects may cause the need for new technological equipments to reach the mass of learners. The program is not rendered redundant by standard primary and secondary education programs since different tasks and different target group are involved.

The following points should be added to the overviewed problem.

1. The urban poor are too fully occupied with earning a living to find time for learning. The rural poor face a similar problem though in a different setting.
2. There is a problem of integrating the plan; since many agencies, performing different tasks, are operative at the local level.
3. The technological approach is hampered by the fact that many rural people cannot afford radio or television (many villages even lack electricity).
4. Many working persons take the view that learning is an activity of a special profession and are disinterested in studying. Hence the distribution of learning materials may be wastefully expensive if related only to the mere number of illiterates in an area.
5. The larger facilities are located only in Bangkok, which for economic reasons make them inaccessible to many people from rural areas.
6. The general and vocational education offered by NFE has been the most successful part of the project since its launching in 1983; and, being related to the actual number of students enrolled, budgeting was realistic.
7. The use of mobile units may be something in the nature of propaganda, as it is difficult and expensive to handle these facilities effectively. It may be preferable to dispatch

a mobile unit to an area under a specific arrangement as to the use of this facility, by the parties concerned.

## RECOMMENDATIONS

The critical problems must be solved if NFE is to reduce the rate of illiteracy to 1.5 million by the end of the 5<sup>th</sup> year plan in 1986.

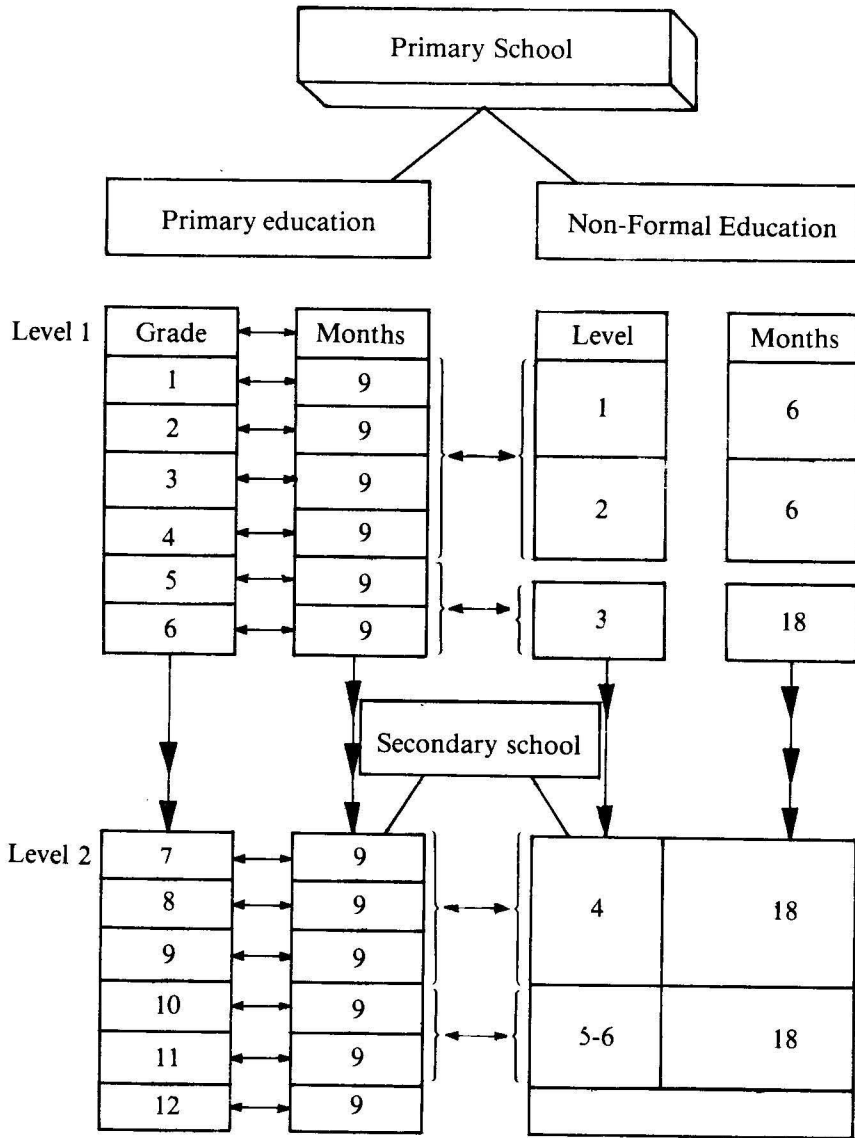
At the primary level: NFE work should collaborate with village primary schools by providing its budget for personnel to reside in the locality, the school Headmaster being responsible for distribution of materials and the conducting of extension courses. Likewise, the temple should be selected as the center for mass dissemination of education, the monks and novices are freely responsible for teaching.

At the secondary level: the secondary schools under the direction of the Department of Secondary Education, mostly situated at district level but drawing pupils from neighbouring rural areas, have adequate facilities and teachers with many years experiences in this field and a record of success in attracting adult learners. In fact, the secondary schools and temples being already long experienced in this work, it would be preferable and more economical for NFE to operate through these institutions than to spend resources in wasteful reduplication of their efforts.

Such technological instruments as radio and television may be of most value to responsible adult learners if e.g. documentary films on topics as vocational skill, health care and the various means by which people can benefit themselves and the ration are shown. A documentary film may encourage people to look for means of better education.

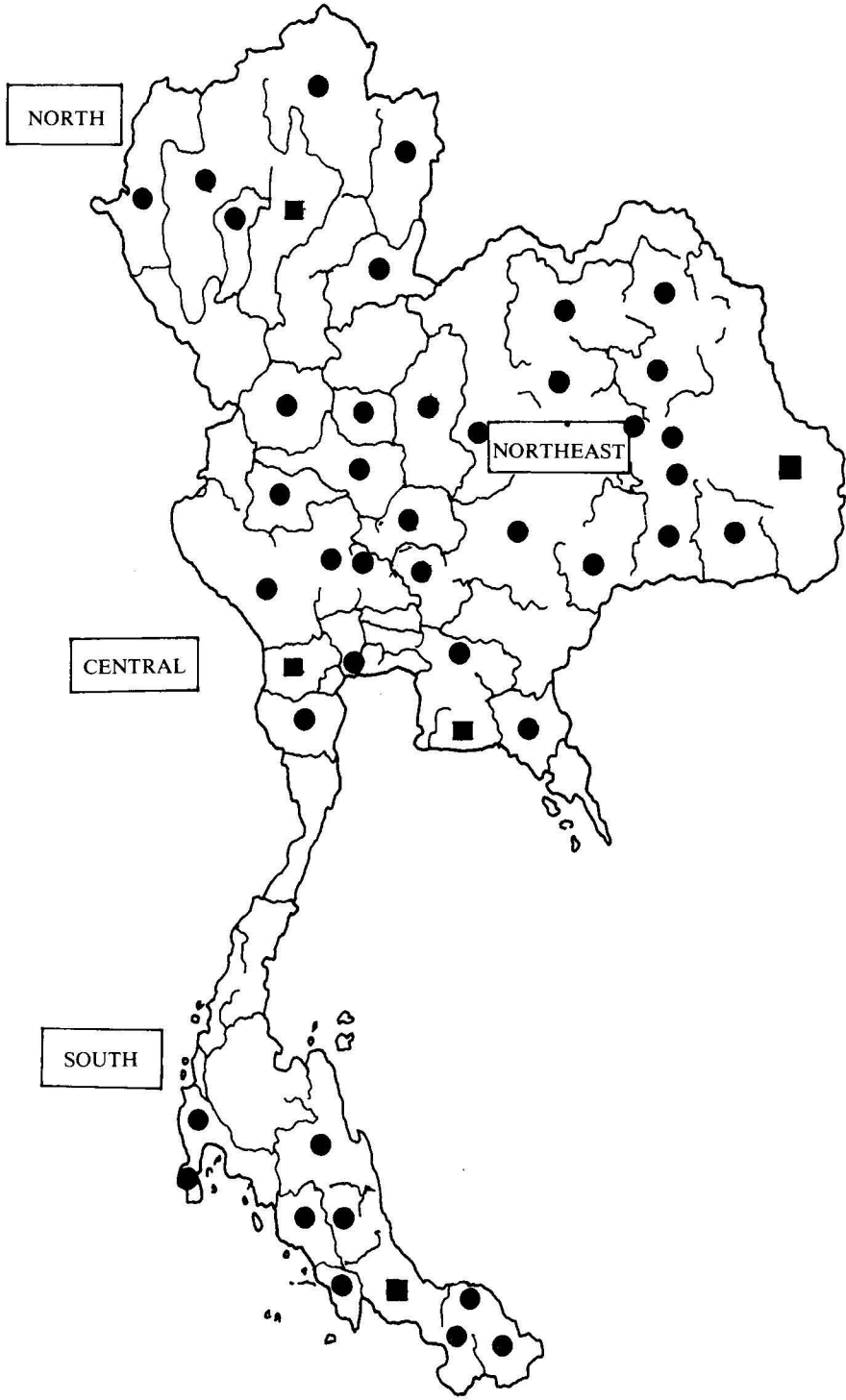
## BIBLIOGRAPHIES

1. Boonton, Dockthaisong. The Thai Political & Administrative Elements, since 1952-1975. Odean Store, Bangkok, 1971.
2. Report of Seminar. National Campaign for Illiteracy in Prime Ministers Building. Bangkok, 17 Aug., 1983.
3. Report from the Ministry of Education, Development of Non-Formal Education. NFE's Department, Bangkok, 1983.
4. Report from NFE. Nungjet press, Bangkok, 1962.
5. Report from the Board of National Socio-Economic Development Plan. Office of the Prime Minister Press, Bangkok, 1977.
6. Report from the Board of National Socio-Economic Development Plan. Office of the Prime Minister Press, Bangkok, 1983.
7. Report of the Foundation of Development, NFE. Thai Kasem Press, Bangkok, 1981.
8. Report of what you may want to know about NFE. United Production Press, Bangkok, 1983.
9. Report on the Vocational Education for Adult of NFE. Bangkok, 8 Sept., 1983.
10. Report, Statistical Number of NFE, 1983. Nungjet Press, Bangkok, 1983.
11. Report on the Situation of Non-Formal Education, Ministry of Education. NFE's Press, Bangkok, 1983.
12. Report on Budgeting Bulletin for IY BC 2527 or 1984. Research and Planning division, NFE., Bangkok, 1983.
13. Report on Guidance for NFE. Office of the Secretary Section, Bangkok, 1983.
14. Report on NFE's day, 8 September, 1983. United Production Press, Bangkok, 1983.
15. Report on the Approximated budgeting of 1987. NFE., Bangkok, 1984.
16. Report on the campaign target group of learners. NFE., Bangkok, 1984.
17. Report on the topic of NFE. Patana Press, Bangkok, 1980.
18. Report on Allocated Budgeting to the Province in 1983 to Center 1-11 and other unpublished paper concerning the NFE.
19. Interviewing the NFES Officers on the NFE's Project by Visiting the NFE's Department.



Source: Department of Non-Formal Education, Ministry of Education.

Diag. 1 Comparison time between study in Formal and Non-Formal Education



- Center of provincial Non-Formal Education
- Center of regional Non-Formal Education

**Fig. 1 Provincial Non-Formal Education centers**

ต้นฉบับเป็นหน้าว่าง

BLANK PAGE IN ORIGINAL

แหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณในประเทศไทยจากภาพถ่ายทางอากาศ

**THE INVENTORY OF ANCIENT SETTLEMENTS  
IN THAILAND  
ON AERIAL PHOTOGRAPHS**

ทิวา สุภจรรยา                      ผ่องศรี วนาสิน  
Thiva Supajanya                      Pongsri Vanasin

ฝ่ายวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
Research Division, Chulalongkorn University

**บทคัดย่อ**

การสำรวจลักษณะภูมิประเทศ ซึ่งเป็นร่องรอยที่มนุษย์ในอดีตสร้างขึ้น ที่มีลักษณะแตกต่างไปจากภูมิประเทศที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติโดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศ พบร่องรอยที่เห็นได้บนภาพถ่าย ได้แก่คูคันดินและสระน้ำ จากมาตราส่วนที่เหมาะสมและสามารถถ่ายทอดลงบนแผนที่ภูมิประเทศ ช่วยให้การกำหนดตำแหน่งที่ตั้งด้วยค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์เป็นไปอย่างแม่นยำ ตลอดจนสะดวกในการระบุชื่อสถานที่และเขตการปกครอง สามารถนำมาใช้จัดทำเป็นทะเบียนได้อย่างมีระบบ

ผลการสำรวจจากภาพถ่ายทางอากาศพบว่า แหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณในประเทศไทยในปัจจุบัน มีจำนวนไม่น้อยกว่า 1,200 แห่ง และได้นำมาจัดทำเป็นทะเบียนแสดงด้วยแผนที่และลักษณะที่ปรากฏบนภาพถ่าย เพื่อให้สะดวกต่อการนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ ทะเบียนแหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณที่ได้จัดทำขึ้นนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ทั้งในด้านการสำรวจข้อมูลรายละเอียด การวางแผนการศึกษาวิจัยประวัติศาสตร์โบราณคดีและการวางแผนอนุรักษ์และพัฒนา

## ABSTRACT

*Many archaeological objects have been discovered throughout Thailand, suggesting that those areas once had been inhabited by ancient human communities.*

*Aerial-photo interpretation is proved to be one of the effective techniques in searching for large-scale patterns which may not readily be seen if being observed on the ground. Characteristic patterns of ancient construction such as moat, rampart and pond had been described in reports by some archaeologists from site investigations. These construction remnants, although partly perished and destroyed by nature or human activities, show up in aerial photographs.*

*This project is now working on constructing an inventory of aerial photographs which contain some patterns of ancient settlements. A total number of more than 1,000 photographs are now under file. Ancient settlement sites are classified under their associated administration areal unit. Their exact locations are identified by the UTM grid system.*

*This inventory is expected to be an important stepping stone for complete collections of all types of informations concerning to each settlement site. After site identification, archaeological investigations either for academic or conservation purpose would be proceeded to encourage future research activities, preparation for an information center of ancient settlements, and education planning, archaeological and historical research, including conservation and developing planning.*

## คำนำ

การศึกษาข้อมูลด้วยวิธีโทรสัมผัส ช่วยให้ทราบข้อมูลและความสัมพันธ์ของข้อมูลในภูมิภาค เป็นวิธีการทางภูมิศาสตร์ที่มีผู้นำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน สามารถศึกษาข้อมูลและจัดทำเป็นแผนที่ได้อย่างรวดเร็วและประหยัด การศึกษาข้อมูลและนำมาจัดทำเป็น “ทะเบียนแหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณในประเทศไทยจากภาพถ่ายทางอากาศ” เริ่มต้นขึ้นจากการใช้ภาพถ่ายทางอากาศในการสอนและการวิจัยในส่วนต่าง ๆ ของประเทศไทย ได้พบลักษณะภูมิประเทศซึ่งเป็นร่องรอยของมนุษย์ในอดีตบนภาพถ่ายทางอากาศ มีลักษณะแตกต่างไปจากลักษณะภูมิประเทศซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และได้รวบรวมภาพถ่ายทางอากาศที่ปรากฏร่องรอยในอดีตเหล่านี้ไว้เรื่อยมาตั้งแต่ พ.ศ. 2507 ร่องรอยเหล่านี้เป็นหลักฐานแสดงให้เห็นว่าเป็นแหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณ ได้แก่ คูน้ำ คันดินล้อมรอบ และสระน้ำ ซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงว่ามีชุมชนอยู่ใกล้บริเวณนั้น การสำรวจแหล่งชุมชนโบราณจากภาพถ่ายทางอากาศเหล่านี้ได้

เผยแพร่ทางสื่อมวลชนทั้งทางหนังสือพิมพ์และโทรทัศน์เป็นครั้งคราว เนื่องจากข้อมูลที่ได้รวบรวมไว้ ถึงแม้จะมีการจัดเก็บไว้อย่างมีระบบแต่ก็เป็นเพียงเพื่อให้สะดวกต่อการตรวจสอบและการรวบรวมแหล่งชุมชนโบราณซึ่งมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นตลอดเวลา การนำไปใช้ประโยชน์จึงอยู่ในเพียงแวดวงจำกัด ความพยายามที่จะทำการสำรวจแหล่งชุมชนโบราณจากภาพถ่ายทางอากาศอย่างมีระบบ และจัดทำเป็นทะเบียน เพื่อให้สะดวก นำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง ได้เริ่มต้นมาตั้งแต่ พ.ศ. 2515 ด้วยการชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นที่ประเทศไทยควรทำการสำรวจและจัดทำเป็นทะเบียนแหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณจากภาพถ่ายทางอากาศ

การสำรวจแหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณจากภาพถ่ายทางอากาศได้เริ่มต้นดำเนินงานอย่างมีระบบทั้งในด้านการวางโครงการสำรวจทั้งประเทศไทยและการรวบรวมเป็นรูปทะเบียนขึ้นนี้ ได้เริ่มดำเนินงานและสำเร็จลงได้ในช่วงเวลา พ.ศ. 2524 ถึง 2527 การดำเนินงานตามโครงการ ได้ใช้ภาพถ่ายทางอากาศสำรวจหาแหล่งชุมชนโบราณทั่วประเทศและรวบรวมจัดทำเป็นทะเบียนไว้แล้ว มีจำนวน 1,200 แห่ง ทะเบียนที่จัดทำขึ้นได้มีผู้นำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง โดยได้มีการอบรมเสนอแนะวิธีการและแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ให้แก่หน่วยงานต่าง ๆ ทั่วประเทศ

### การใช้ภาพถ่ายทางอากาศในการสำรวจแหล่งชุมชนโบราณ

แหล่งชุมชนโบราณเป็นบริเวณที่มีคนเคยอยู่อาศัยมาในอดีต การที่จะทราบว่าบริเวณใดเป็นแหล่งชุมชนโบราณก็ต้องอาศัยการสำรวจหลักฐานอันเป็นร่องรอยความเป็นอยู่ซึ่งอาจเป็นโบราณสถานหรือโบราณวัตถุ หรือร่องรอยอื่น ๆ ที่ทำขึ้นเพื่อการดำรงชีพ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติหรือเพื่อป้องกันตัวเอง เช่น การขุดคูคันดินล้อมรอบที่อยู่อาศัย การขุดสระน้ำ คูคลอง เขื่อน ถนน เป็นต้น ร่องรอยของสิ่งเหล่านี้จะปรากฏในภูมิประเทศ มีลักษณะเป็นแบบที่คนทำขึ้น แตกต่างไปจากภูมิประเทศที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เมื่อกาลเวลาผ่านไปร่องรอยที่เป็นวัตถุและสิ่งปลูกสร้าง โดยเฉพาะที่เป็นไม้หรืออิฐ อาจผุพังไปอย่างรวดเร็วหรืออาจปกคลุมด้วยดินและวัชพืช จนไม่ปรากฏหลักฐานให้เห็นได้บนพื้นดินอีกต่อไป ส่วนร่องรอยที่เป็นลักษณะภูมิประเทศ ได้แก่ คูและคันดิน ก็จะเปลี่ยนแปลงไปเช่นกันโดยจะถูกทับถมให้คืนเงิน คันดินจะถูกชะล้างให้ต่ำลงตามธรรมชาติ ถึงแม้ว่าจะเปลี่ยนแปลงไปบ้างแต่ก็ยังคงปรากฏเป็นร่องรอยให้เห็นได้ โดยเฉพาะเมื่อศึกษาด้วยภาพถ่ายทางอากาศ

ภาพถ่ายทางอากาศนับเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพอย่างหนึ่งในการศึกษาภูมิประเทศที่เป็นร่องรอยที่มนุษย์ทำขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งร่องรอยของคูน้ำ คันดิน หรือสระน้ำที่มีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะปรากฏให้เห็นได้บนภาพถ่ายทางอากาศด้วยการมองด้วยตาเปล่า หรือการใช้กล้องดูภาพสามมิติ ลักษณะที่ปรากฏให้เห็นได้บนภาพอาจเป็นรูปร่างเนินดินที่สูงขึ้นมาหรือเป็นภูมิประเทศซึ่งเป็นร่องรอยลึกลงไป (รูปที่ 1) และถึงแม้ว่าความแตกต่างของภูมิประเทศจะเหลือให้เห็นได้ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งอาจเป็น

เพราะคันดินอาจถูกชะล้างให้ต่ำลง หรือบริเวณที่เป็นแอ่งถูกตะกอนทับถมให้ดินเงินขึ้นมากน้อยไปตามกาลเวลาก็ตาม ร่องรอยที่มนุษย์ทำขึ้นนี้ก็อาจเห็นได้จากภาพถ่ายทางอากาศ ด้วยการดูจากลักษณะแตกต่างของการใช้ที่ดิน ลักษณะของการเจริญเติบโตของพืชพันธุ์ ตลอดจนสังเกตเห็นได้จากสีหรือโทนภาพ ซึ่งแตกต่างกันอันเนื่องมาจากความชื้นในดินหรือพืชพันธุ์ที่ขึ้นแตกต่างกันในบริเวณซึ่งเป็นร่องรอยที่มนุษย์สร้างขึ้น หรือโดยการศึกษาลักษณะความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ที่แสดงให้เห็นร่องรอยแตกต่างจากสภาพภูมิประเทศที่เป็นธรรมชาติ เช่น เนินหรือทางน้ำ การใช้ความรู้พื้นฐานในทางธรณีสัณฐานเข้าช่วย จะทำให้การศึกษาร่องรอยของมนุษย์สามารถทำได้ง่ายขึ้น

ร่องรอยที่แสดงให้เห็นว่าเป็นแหล่งชุมชนโบราณบนภาพถ่ายทางอากาศนั้นอาจเป็นคูน้ำคันดิน ล้อมรอบ หรือสระน้ำ บริเวณที่มีคูน้ำ คันดินหรือกำแพงเมืองล้อมรอบนี้ผู้คนจะตั้งบ้านเรือนอยู่ภายในบริเวณที่มีคูน้ำ คันดิน หรือกำแพงล้อมรอบ หรืออาจอยู่กระจ่ายออกมาภายนอกบริเวณนั้น ๆ ก็ได้แต่สำหรับบริเวณที่เป็นสระน้ำ ชุมชนคงจะไม่ไกลไปจากบริเวณที่พบสระน้ำเหล่านี้

ร่องรอยที่เป็นแหล่งชุมชนโบราณซึ่งปรากฏบนภาพถ่ายทางอากาศนี้บางแห่งก็เห็นได้ชัดเจน การศึกษาข้อมูลรายละเอียดก็ทำได้มาก และในการวางแผนเพื่อศึกษาข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับภูมิประเทศเพิ่มเติมก็สามารถทำได้ง่ายและถูกต้องแม่นยำ ในกรณีที่มีร่องรอยปรากฏให้เห็นได้ไม่ชัดเจนบนภาพ จึงจำเป็นต้องตรวจสอบภูมิประเทศให้แน่ชัดเสียก่อนว่าเป็นคูน้ำ คันดิน หรือกำแพงรอบชุมชนโบราณหรือไม่เสียก่อน จากนั้นจึงศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมต่อไป ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดได้ทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย

ขั้นตอนในการสำรวจโบราณคดีทำได้หลายวิธี ทั้งโดยการสำรวจในภูมิประเทศและการขุดค้นวิธีการต่าง ๆ มีความต้องการและหวังผลจากข้อมูลต่างกัน การขุดสำรวจนั้นถึงแม้จะเป็นวิธีการที่ได้ข้อมูลในรายละเอียดแต่ก็เสียเวลา ค่าจ้างสูง และอาจมีผลทำให้โบราณสถานถูกทำลายได้มาก ผู้ที่เข้าใจในเรื่องนี้พอจะเลือกการศึกษาโดยการขุดสำรวจไว้เป็นขั้นตอนสุดท้าย แต่จะดำเนินการสำรวจและศึกษาข้อมูลด้วยวิธีอื่น ๆ ใว้อย่างละเอียดเสียก่อน แล้วจึงเลือกบริเวณที่จะทำการขุดสำรวจที่จะให้ได้ข้อมูลมากที่สุด หรือหลีกเลี่ยงการก่อให้เกิดผลกระทบต่อโบราณสถานน้อยที่สุด ในบางครั้งอาจใช้วิธีการทางธรณีฟิสิกส์เข้าช่วยกำหนดตำแหน่งที่จะขุดสำรวจเสียก่อน

การศึกษาโบราณคดีโดยวิธีใช้ภาพถ่ายทางอากาศ เป็นวิธีการที่ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายได้ดีที่สุด และไม่มีผลกระทบต่อการทำโบราณสถานถูกทำลาย หลักฐานที่ปรากฏให้เห็นก็สามารถนำมาแสดงและพิสูจน์ได้ ข้อมูลบางอย่างอาจเห็นและศึกษาได้ง่ายจากภาพถ่ายทางอากาศและข้อมูลที่ศึกษาได้นั้นก็สามารถนำไปสู่แนวทางการศึกษาด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น การกำหนดบริเวณที่จะทำการสำรวจในภูมิประเทศโดยรายละเอียด เป็นต้น การศึกษาข้อมูลทางโบราณคดีโดยอาศัยภาพถ่ายทางอากาศ จึงเป็นที่นิยมและใช้กันทั่วไปมานานแล้ว ข้อมูลที่ศึกษาได้จากภาพถ่ายทางอากาศอาจเพียงพอกับงานที่จะ

นำไปใช้ประโยชน์บางอย่าง แต่เมื่อต้องการข้อมูลในรายละเอียดเพิ่มมากขึ้น ก็จำเป็นต้องดำเนินการศึกษาด้วยวิธีการอื่น ๆ ต่อไป

### การศึกษาแหล่งชุมชนโบราณด้วยภาพถ่ายทางอากาศในประเทศไทย

จากข้อบันทึกของ Erik Seidenfaden<sup>o\*</sup> ทำให้ทราบว่ากองทัพอากาศไทยเคยถ่ายภาพเมืองโบราณหลายแห่งในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยไว้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2465 และในช่วงเวลาหลังสงครามโลกครั้งที่สอง Peter William-Hunt\*\* ได้รวบรวมภาพถ่ายทางอากาศที่ปรากฏร่องรอยเมืองโบราณไว้จำนวนมาก โดยเฉพาะในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยและได้เขียนบทความเกี่ยวกับการศึกษาเมืองโบราณจากภาพถ่ายทางอากาศ<sup>9,10</sup> ปัจจุบัน Elizabeth Moore<sup>7</sup> นักศึกษาปริญญาเอกมหาวิทยาลัยลอนดอนซึ่งสนใจศึกษาแหล่งชุมชนโบราณในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยขณะนี้กำลังสำรวจตำแหน่งชุมชนโบราณที่ปรากฏบนภาพถ่ายเหล่านี้ และได้ขอใช้ทะเบียนแหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณตามที่ได้จัดทำขึ้นตามโครงการนี้เพื่อเป็นแนวทางเปรียบเทียบ

การใช้ภาพถ่ายทางอากาศเพื่อศึกษาแหล่งชุมชนโบราณในประเทศไทย ได้ใช้กันอย่างกว้างขวางตลอดมา เช่น H.G. Quaritch Wales<sup>1</sup> ใช้ภาพถ่ายทางอากาศสำรวจพบเมืองบน ในจังหวัดนครสวรรค์ และเป็นที่น่าสนใจว่าภาพถ่ายทางอากาศที่ William-Hunt และ Quaritch Wales ใช้สำรวจเป็นภาพถ่ายที่ไม่มีอยู่ในประเทศไทยทั้งสิ้น นิจ วิทยีระนนท์<sup>๖</sup> เป็นอีกผู้หนึ่งที่นำภาพถ่ายทางอากาศมาศึกษาเมืองโบราณในด้านฝั่งเมือง และเสนอให้มีการอนุรักษ์ไว้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2507

### วิธีการสำรวจและจัดทำทะเบียน

ขั้นตอนการดำเนินงานในการจัดทำทะเบียน เริ่มต้นด้วยการสำรวจแหล่ง การตรวจสอบ การกำหนดตำแหน่ง และการจัดทำทะเบียน (แผนภูมิที่ 1) ดังนี้

1. การสำรวจ การสำรวจแหล่งชุมชนโบราณที่ปรากฏหลักฐานบนภาพถ่ายทางอากาศ ได้อาศัยแหล่งที่มาของข้อมูลเป็นจุดเริ่มต้นสองทาง คือข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายทางอากาศ และข้อมูลที่ได้จากเอกสาร

\* รัชการสำรวจแหล่งโบราณคดีในประเทศไทยในตำแหน่ง Assistant Inspector General of the Siamese Gendarmerie

\*\* ผู้แปลและตรวจสอบภาพถ่ายทางอากาศตามโครงการเพื่อทำแผนที่ประเทศไทยของสหรัฐอเมริกา ร่วมกับสหราชอาณาจักร

การสำรวจข้อมูลจากภาพถ่ายทางอากาศ ได้ใช้ภาพถ่ายทางอากาศโครงการ WWS มาตรฐาน ประมาณ 1 : 50,000 ถ่ายทำเมื่อ พ.ศ. 2493-2495 และภาพถ่าย VAP 61 มาตรฐานประมาณ 1 : 60,000 ถ่ายทำเมื่อ พ.ศ. 2510 จากภาพถ่ายทางอากาศทั้ง 2 โครงการ ช่วยให้การสำรวจคลุมได้ทั่วประเทศ การตรวจสอบเริ่มต้นด้วยการแปลภาพโดยไม่ใช้กล้องคุณภาพสามมิติ เลือกบริเวณที่มีร่องรอยให้เห็นชุมชนโบราณก่อน แล้วจึงแปลภาพด้วยวิธีสามมิติ จากนั้นจึงกำหนดตำแหน่งแหล่งชุมชนโบราณลงบนแผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1 : 50,000 ในการแปลภาพจากเอกสารโดยเฉพาะเอกสารด้านประวัติศาสตร์ โบราณคดีซึ่งได้กล่าวถึงแหล่งต่าง ๆ ไว้ แหล่งที่พบจากเอกสารจะนำมาตรวจสอบบนแผนที่ และตรวจสอบกับภาพถ่ายทางอากาศ เมื่อพบร่องรอยบนภาพถ่ายทางอากาศจึงจะกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนลงบนแผนที่ภูมิศาสตร์ มาตรฐาน 1 : 50,000 เช่นเดียวกับการสำรวจพบแหล่งชุมชนโบราณด้วยการใช้ภาพถ่ายทางอากาศ

2. การตรวจสอบ ตำแหน่งชุมชนโบราณที่ศึกษาได้ จะนำไปตรวจสอบด้วยภาพถ่ายทางอากาศ มาตรฐาน 1 : 15,000 โครงการ นส.3 ซึ่งเป็นภาพมาตรฐานใหญ่กว่า และแสดงข้อมูลได้ละเอียดแม่นยำ ร่องรอยที่ปรากฏเด่นชัดบนภาพถ่ายทางอากาศในมาตรฐานนี้ไม่พบว่ามีความผิดพลาดในการกำหนดตำแหน่งชุมชนโบราณเลย แหล่งที่ตรวจสอบได้แน่ชัดบนภาพถ่ายทางอากาศโครงการ นส.3 แล้วนี้ได้นำไปรวบรวมเพื่อจัดทำทะเบียนต่อไป การที่ไม่ใช้ภาพถ่าย นส.3 สำรวจแหล่งชุมชนโบราณตั้งแต่ต้น ก็เพื่อต้องการประหยัดเวลาและงบประมาณ แต่อย่างไรก็ตามคาดว่าร่องรอยแหล่งชุมชนโบราณที่มีขนาดเล็กอาจยังคงหลงเหลือจากการสำรวจอยู่อีก อย่างไรก็ตามเมื่อได้มีการศึกษาต่อไปในรายละเอียดก็อาจสำรวจแหล่งชุมชนโบราณขนาดเล็กเพิ่มมากขึ้นได้

3. การกำหนดตำแหน่งและบันทึกข้อมูล ตำแหน่งที่ใช้ในการบันทึกแหล่งชุมชนโบราณ กำหนดไว้เป็น 2 ลักษณะ คือการบันทึกค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ และชื่อแหล่งที่ตั้งตามเขตการปกครอง ได้แก่ ชื่อสถานที่ บ้าน ตำบล อำเภอ และจังหวัด ข้อมูลดังกล่าวได้อาศัยแผนที่มาตรฐาน 1 : 50,000 และข้อมูลจากสำนักงานสถิติแห่งชาติเป็นหลักในการพิจารณา ระบบการบันทึกข้อมูลทำขึ้นเพื่อให้สะดวกและควบคุมการจัดเก็บไม่ให้มีการซ้ำซ้อนระหว่างการปฏิบัติงาน ดังมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การกำหนดตำแหน่ง ได้ใช้ตำแหน่งศูนย์กลางโดยประมาณของบริเวณที่เป็นร่องรอยแหล่งชุมชนโบราณที่เห็นในภาพ ได้แก่จุดศูนย์กลางบริเวณที่มีคูน้ำ คันดินล้อมรอบสำหรับบริเวณที่เป็นแหล่งน้ำก็จะใช้จุดศูนย์กลางของสระ เป็นตำแหน่งที่จะนำมากำหนดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ โดยกำหนดค่ารั้งและแวง อ่านรายละเอียดถึงฟิลิปดา และกำหนดค่าพิกัดยูทีเอ็ม อ่านรายละเอียดถึง 100 ม. พร้อมกับการบันทึกข้อมูลของแผนที่และภาพถ่ายเพื่อสะดวกในการตรวจสอบและค้นหา

3.2 การกำหนดชื่อสถานที่และเขตการปกครอง แหล่งชุมชนโบราณที่สำรวจพบอาจเป็นแหล่งที่ตั้งชุมชนในปัจจุบัน ซึ่งมีชื่อสถานที่หรือชื่อบ้านปรากฏบนแผนที่ภูมิประเทศ การกำหนดเขตการปกครอง ซึ่งได้แก่ ชื่อตำบล อำเภอ และจังหวัด ได้อาศัยขอบเขตที่ปรากฏตามแผนที่มาตรฐาน 1 :

50,000 และตามข้อมูลของสำนักงานสถิติแห่งชาติเป็นแนวทางในการบันทึกข้อมูล อย่างไรก็ตาม แหล่งชุมชนโบราณจำนวนมากไม่ได้เป็นแหล่งที่ตั้งของชุมชนในปัจจุบัน อาจตั้งอยู่ใกล้เคียงหรือห่างออกไป การกำหนดชื่อจึงอาศัยชื่อบ้านหรือสถานที่ใกล้เคียง ที่อาจเป็นเส้นทางที่จะนำไปสู่แหล่งชุมชนโบราณนั้น ๆ ได้ สำหรับแหล่งชุมชนโบราณที่อยู่ห่างไกลออกไป และการกำหนดชื่อบ้านหรือสถานที่ไม่สามารถทำได้ ก็จะเว้นว่างไว้

3.3 รหัสตำแหน่งชุมชนโบราณ เนื่องจากระบบการจัดเก็บข้อมูลเพื่อการตรวจสอบ ค้นหาในระยะแรกได้ใช้บัตรดัชนีควบคุมการจัดเก็บตำแหน่งชุมชนโบราณ ไม่สามารถจัดเก็บให้เป็นระบบ ทั้งในด้านการใช้ชื่อบ้านหรือสถานที่ซึ่งซ้ำซ้อน และการใช้ชื่อเดิมของเมืองโบราณซึ่งบางแห่งมีหลายชื่อ และส่วนใหญ่ก็ไม่ทราบชื่อแน่นอนหรือไม่ทราบชื่อเลย ระบบการจัดเก็บข้อมูลในระยะแรกจึงจำเป็นต้องใช้เลขค่าพิกัดยูทีเอ็มมาเป็นแนวทางในการกำหนดรหัสตำแหน่งชุมชน และเนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่บนโซน 47 และโซน 48 ซึ่งทำให้มีค่าเลขพิกัดยูทีเอ็มของตำแหน่งชุมชนโบราณทั่วประเทศซ้ำซ้อนกัน ในการใช้รหัสยูทีเอ็มเป็นรหัสตำแหน่งชุมชนโบราณจึงได้ใช้อักษรย่อจังหวัด 2 ตัวนำหน้าค่าพิกัดยูทีเอ็ม ซึ่งอ่านรายละเอียดถึง 100 ม. จำนวน 9 ตัว โดยตัวเลข 4 ตัวแรกเป็นค่าพิกัดระยะทางตามแนวตะวันออก และตัวเลข 5 ตัวหลังเป็นค่าพิกัดระยะทางตามแนวตะวันตก การใช้รหัสโดยวิธีดังกล่าวช่วยให้เกิดความสะดวกในการทำบัตรดัชนีควบคุม และตรวจสอบในระหว่างการทำงาน ตลอดจนการกำหนดตำแหน่งบนแผนที่ซึ่งมีค่าพิกัดยูทีเอ็มกำกับไว้แล้ว ซึ่งช่วยให้การทำงานดำเนินไปได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องดีกว่า การใช้ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ อย่างไรก็ตาม เมื่อได้เปลี่ยนแปลงระบบการจัดเก็บข้อมูลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์แล้วรหัสแหล่งชุมชนโบราณก็มีความสำคัญต่อการจัดเก็บข้อมูลน้อยลง

3.4 เลขรหัสบนแผนที่ ในการจัดระบบแหล่งชุมชนโบราณ ได้รวบรวมข้อมูลและจัดทำแผนที่แสดงแหล่งที่ตั้งเป็นรายจังหวัด และเพื่อประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานได้สะดวกในระหว่างที่มีการปฏิบัติงาน การแสดงตำแหน่งบนแผนที่เนื่องจากมีพื้นที่จำกัด จึงได้ใช้ตัวเลขรหัสจังหวัด ซึ่งกำหนดขึ้นเพื่อการทำงานนี้ (รูปที่ 2) และตามด้วยเลขที่ประจำแหล่งชุมชนโบราณตามลำดับของการบันทึกข้อมูล ซึ่งมีรายละเอียดแสดงไว้ในทะเบียนแหล่งชุมชนโบราณ (ดูตัวอย่างทะเบียน)

4. การจัดทำทะเบียน ในการจัดทำทะเบียนแหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณนี้ได้จัดทำเป็นรูปทะเบียนและแผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งเป็นรายจังหวัด แหล่งชุมชนโบราณแต่ละแห่งได้แสดงตำแหน่งบนแผนที่มาตราส่วน 1 : 50,000 และแสดงลักษณะแหล่งที่ตั้งไว้ด้วยภาพถ่ายทางอากาศ แสดงมาตราส่วน ตลอดจนรายละเอียดทั้งอักษรไทยและอักษรโรมัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานได้กว้างขวาง ข้อมูลที่จัดทำขึ้นนี้ได้ทำเป็นต้นฉบับขนาดกระดาษ เอ 4 เพื่อให้สะดวกต่อการจัดทำสำเนาได้ในลักษณะต่าง ๆ สะดวกต่อการนำไปใช้งานในรูปแบบของการศึกษาในรายละเอียดของแต่ละแหล่งและในลักษณะของข้อมูลที่เป็นโครงการ ตลอดจนความสะดวกที่จะใช้ในการจัดระบบข้อมูลเพื่อการอ้างอิง ทั้งในรูปแบบของที่เป็นรายงานด้วยตัวอักษรและการรายงานด้วยภาพ นอกจากนี้ยังได้จัดทำบัตรข้อมูลทั้งบัตรดัชนีที่ใช้อยู่ทั่วไปและบัตรดัชนีเจาะรูซึ่งมีข้อมูลที่เกี่ยวกับแผนที่และภาพถ่ายทางอากาศ ตลอดจนข้อมูลที่เกี่ยวกับลักษณะของ

ชุมชนโบราณแต่ละแหล่ง บัตรข้อมูลทั้งสองรูปแบบได้ใช้เป็นบัตรดัชนีในระหว่างที่ปฏิบัติงาน และเมื่อได้เปลี่ยนการจัดเก็บข้อมูลมาใช้ระบบคอมพิวเตอร์บัตรข้อมูลจะรู้ได้นำมาใช้ควบคู่กับข้อมูลคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## แนวทางการใช้ประโยชน์

ทะเบียนแหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณในประเทศไทยจากภาพถ่ายทางอากาศที่จัดทำขึ้นนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง เป็นประโยชน์ในด้านการศึกษาวิจัยประวัติศาสตร์ โบราณคดี ตลอดจนงานด้านการอนุรักษ์และพัฒนา เพื่อส่งเสริมงานด้านทะนุบำรุงศิลปวัฒนธรรมของชาติได้อีกทางหนึ่ง ลักษณะของทะเบียนได้ทำไว้เป็นค้นฉบับ แสดงแผนที่และภาพถ่ายทางอากาศของชุมชนโบราณแต่ละแหล่ง สะดวกต่อการนำไปใช้งานศึกษาข้อมูลในรายละเอียดหรือทำเป็นรูปโครงการได้สะดวกประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย แผนภูมิที่ 2 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของการนำไปใช้ประโยชน์และหน่วยงานที่อาจใช้ประโยชน์จากข้อมูลทะเบียนนี้ ตัวอย่างแนวทางการใช้ประโยชน์ได้แก่

1. การจัดเก็บข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่บันทึกไว้ในทะเบียนเป็นลักษณะข้อมูลตามระบบ Geographical Information System คณะผู้จัดทำได้นำมาจัดเก็บด้วยระบบคอมพิวเตอร์ โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ 16 บิต ความจุ 10–20 เมกกะไบต์ จัดระบบการเก็บข้อมูลด้วยอักษรไทยและอักษรโรมัน พบว่ามีประสิทธิภาพเพียงพอในการทำงานจัดเก็บข้อมูลพื้นฐาน และสนับสนุนงานวิจัยข้อมูล โดยเฉพาะข้อมูลที่ได้จากการศึกษาภาพถ่ายทางอากาศ ข้อมูลจากจารึกและเอกสารรายงานต่าง ๆ เป็นต้น

2. โครงการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นในภาคสนาม ในการจัดทำทะเบียนได้พบหลักฐานแสดงถึงแหล่งชุมชนโบราณอยู่เป็นจำนวนมาก ดังตัวอย่างในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้พบหลักฐานที่ปรากฏเด่นชัดบนภาพถ่ายทางอากาศถึง 713 แห่ง ชุมชนโบราณเหล่านี้ส่วนใหญ่ยังไม่ปรากฏรายงานที่พิมพ์เผยแพร่ และบางแหล่งคนในท้องถิ่นเองก็อาจจะยังไม่ทราบมาก่อน การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นในภาคสนามจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ดร.สรเชษฐ์ วรคามวิชัย แห่งภาควิชาประวัติศาสตร์ วิทยาลัยครูบุรีรัมย์ ได้นำทะเบียนแหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณจังหวัดบุรีรัมย์จำนวน 126 แห่ง ไปใช้ประโยชน์ในการเรียนการสอน โดยแนะนำให้ครูประจำการซึ่งสอนอยู่ในท้องถิ่นที่ได้สำรวจพบแหล่งชุมชนโบราณ ทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งชุมชนโบราณเหล่านั้น เพียงชั่วระยะเวลา 2 ภาคการศึกษา สามารถสำรวจและทำเป็นรายงานเบื้องต้นได้สำเร็จ และจากการดำเนินงานนี้ทำให้ทราบข้อมูล เช่น วัตถุโบราณที่มีผู้พบในบริเวณชุมชนโบราณเหล่านี้ นอกเหนือจากข้อมูลที่ได้รับแล้วในด้านการศึกษายังได้พบว่าผู้เรียนได้ให้ความสนใจมากขึ้นกว่าการเรียนการสอนจากตำราแต่เพียงอย่างเดียว และยังทำให้ทราบถึงเรื่องราวด้านประวัติศาสตร์และหลักฐานทางโบราณคดี ชาวบ้านเกิดความภูมิใจและหวงแหนต่อโบราณสถานและโบราณวัตถุในท้องถิ่นของตน ข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากการศึกษาในภาคสนามนี้ นอกจากจะมีประโยชน์ต่อท้องถิ่น

แล้วยังมีประโยชน์ใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ และเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่ผู้รู้ทั้งหลายจะใช้ประโยชน์ในการเลือกแหล่งเพื่อการศึกษาในรายละเอียดได้อย่างกว้างขวาง นับเป็นความก้าวหน้าที่สำคัญอีกครั้งหนึ่งสำหรับการสำรวจข้อมูลด้านประวัติศาสตร์และโบราณคดี โดยเปลี่ยนจากการศึกษาซึ่งจำกัดอยู่แต่เพียงผู้รู้ผู้ชำนาญมาเป็นการศึกษาและรับผิดชอบร่วมกันของคนทั่วไป โดยเฉพาะผู้ที่อยู่ในท้องถิ่นที่มีแหล่งโบราณสถานตั้งอยู่ ปัจจุบันทะเบียนแหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณที่ได้จัดทำขึ้นนี้ วิทยาลัยครูในท้องถิ่นทั่วประเทศได้นำไปใช้ประโยชน์แล้วอย่างกว้างขวาง

3. การศึกษาวิจัยด้านประวัติศาสตร์โบราณคดี ทะเบียนตำแหน่งที่ตั้งชุมชนโบราณนี้เปิดโอกาสให้มีการศึกษาเกี่ยวกับประวัติศาสตร์โบราณคดีออกไปอย่างกว้างขวางทั้งในด้านการสำรวจค้นพบข้อมูลใหม่ และการศึกษาร่วมกันกับเอกสารที่มีอยู่แล้ว<sup>3</sup> เช่นการศึกษาแหล่งกระจายตัวของชุมชนโบราณร่วมสมัย วิวัฒนาการของแหล่งชุมชน ความสัมพันธ์ของแหล่งชุมชนทางภูมิศาสตร์ การศึกษากำหนดอายุและการศึกษาในเรื่องรูปแบบคูน้ำคันดินรอบชุมชนโบราณ ตลอดจนร่องรอยที่แสดงให้เห็นถึงสภาพการดำรงชีพในสมัยนั้น เช่น เขื่อน คูคลอง สระ บาราย ล้วนเป็นหลักฐานที่แสดงให้เห็นถึงวิวัฒนาการความสามารถของคนในสมัยนั้น ในด้านการกักเก็บน้ำ และการชลประทานเพื่อการดำรงชีพได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างโครงการที่มีผู้ศึกษาแล้วและกำลังศึกษาอยู่ เช่น ท่อปู้พระยาวังชลประทานสมัยสุโขทัย<sup>4</sup> ชุมชนโบราณบริเวณรอบปราสาทพนมรุ้ง ชุมชนโบราณในบริเวณรอบปราสาทหินพิมาย รูปแบบคูคันดินรอบชุมชนโบราณในประเทศไทย (รูปที่ 3)<sup>5</sup> การศึกษาชุมชนโบราณในเขตลานนา สภาพแวดล้อมแหล่งชุมชนโบราณในเขตลุ่มน้ำมูล-ชี (รูปที่ 4)<sup>6</sup> สภาพแวดล้อมแห่งชุมชนโบราณบริเวณรอบหนองหาน กุมภวาปี และหนองหาน สกลนคร เป็นต้น

4. ด้านการอนุรักษ์และการวางแผน ตำแหน่งที่ตั้ง ความสำคัญทางประวัติศาสตร์และโบราณคดี ตลอดจนสภาพปัจจุบันของชุมชนโบราณ นับเป็นข้อมูลขั้นต้นที่สำคัญสำหรับงานด้านวางแผนและการอนุรักษ์ โครงการศึกษาเพื่อให้เกิดประโยชน์สำหรับงานด้านนี้ มีแนวทางที่จะทำได้หลายทาง เช่น การศึกษารายละเอียดของคูน้ำ คันดิน บาราย และสระน้ำ ซึ่งจัดเป็นโบราณสถานอย่างหนึ่ง การทำแผนที่ในรายละเอียดจึงมีความจำเป็น และเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมศิลปากรเพื่อกำหนดเขตโบราณสถาน กรมธนารักษ์ ซึ่งมีหน้าที่กำหนดขอบเขตโบราณสถานให้เป็นที่ดินของรัฐ ในด้านการวางแผนเพื่ออนุรักษ์และพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่อท้องถิ่น เช่น พัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยว สถานที่พักผ่อนหรือสถานที่สวนรักษาพันธุ์พืชและสัตว์ เช่น บริเวณที่เป็นคูน้ำ บาราย ก็อาจนำมาพัฒนาให้เป็นแหล่งน้ำให้เกิดประโยชน์ทั้งในด้านสาธารณสุขโลก การเกษตรกรรม แหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ หรือเป็นแหล่งอนุรักษ์พันธุ์สัตว์ เช่น นกเป็ดน้ำ และสัตว์น้ำตามธรรมชาติ เป็นต้น แหล่งชุมชนโบราณที่มีบริเวณกว้างขวางและปลูกพืชยืนต้นได้ ก็อาจจัดเป็นแหล่งเพาะพันธุ์พืช สวนป่า สวนรุกขชาติและรวมไปถึงแหล่งอนุรักษ์สัตว์ เนื่องจากแหล่งชุมชนโบราณมีอยู่เป็นจำนวนมาก และมีความเหมาะสมในการอนุรักษ์และพัฒนาที่แตกต่างกัน ทะเบียนแหล่งชุมชนโบราณจึงเป็นประโยชน์สำหรับการเลือกศึกษา และ

วางแผนตัดสินใจให้สามารถดำเนินงานได้เป็นขั้นตอน เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด สอดคล้องตามความจำเป็นกับงบประมาณของประเทศซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ แนวทางการศึกษาด้านนี้ในสัตถภูมิสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้ใช้ภาพถ่ายทางอากาศศึกษาแนวทางเบื้องต้นทางภูมิสถาปัตยกรรมแหล่งชุมชนโบราณตามที่ปรากฏในทะเบียน เพื่อกำหนดแผนอนุรักษ์และพัฒนาให้เป็นจุดสังเกตและสถานที่พักผ่อน จำนวน 57 แห่ง

## สรุป

การสำรวจแหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณในประเทศไทยโดยอาศัยภาพถ่ายทางอากาศ พบแหล่งชุมชนโบราณที่มีลักษณะเป็นบริเวณที่มีคูคันดินล้อมรอบ หรือมีสระน้ำ ซึ่งมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะเห็นได้บนภาพถ่ายทางอากาศจำนวน 1,200 แห่งกระจายอยู่ทั่วประเทศ และได้นำมาจัดทำเป็น “ทะเบียนแหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณในประเทศไทยจากภาพถ่ายทางอากาศ” ตามระบบข้อมูลภูมิศาสตร์ โดยกำหนดแหล่งที่ตั้งด้วยพิกัด แสดงรายละเอียดของแหล่งโบราณสถานด้วยแผนที่และภาพถ่ายทางอากาศ และรวบรวมข้อมูลเป็นรายจังหวัด ทะเบียนที่จัดทำขึ้นตามระบบข้อมูลภูมิศาสตร์สามารถนำไปจัดเก็บด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ใช้ทั้งอักษรไทยและโรมันร่วมกัน ช่วยให้สะดวกในการนำมาใช้ประโยชน์ทั้งในด้านการศึกษาค้นคว้าข้อมูลในรายละเอียดและการศึกษาในรูปของโครงการ ประหยัดได้ทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย ปัจจุบันทะเบียนแหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณนี้ได้มีผู้นำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางทั้งหน่วยราชการที่เกี่ยวข้องและสถาบันการศึกษา เกิดประโยชน์ทั้งในด้านการศึกษาวิจัยประวัติศาสตร์โบราณคดี และการอนุรักษ์พัฒนาแหล่งชุมชนโบราณ

## คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมูลนิธิโตโยต้า ประเทศญี่ปุ่น ที่สนับสนุนการจัดทำทะเบียนแหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณในประเทศไทยจากภาพถ่ายทางอากาศ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

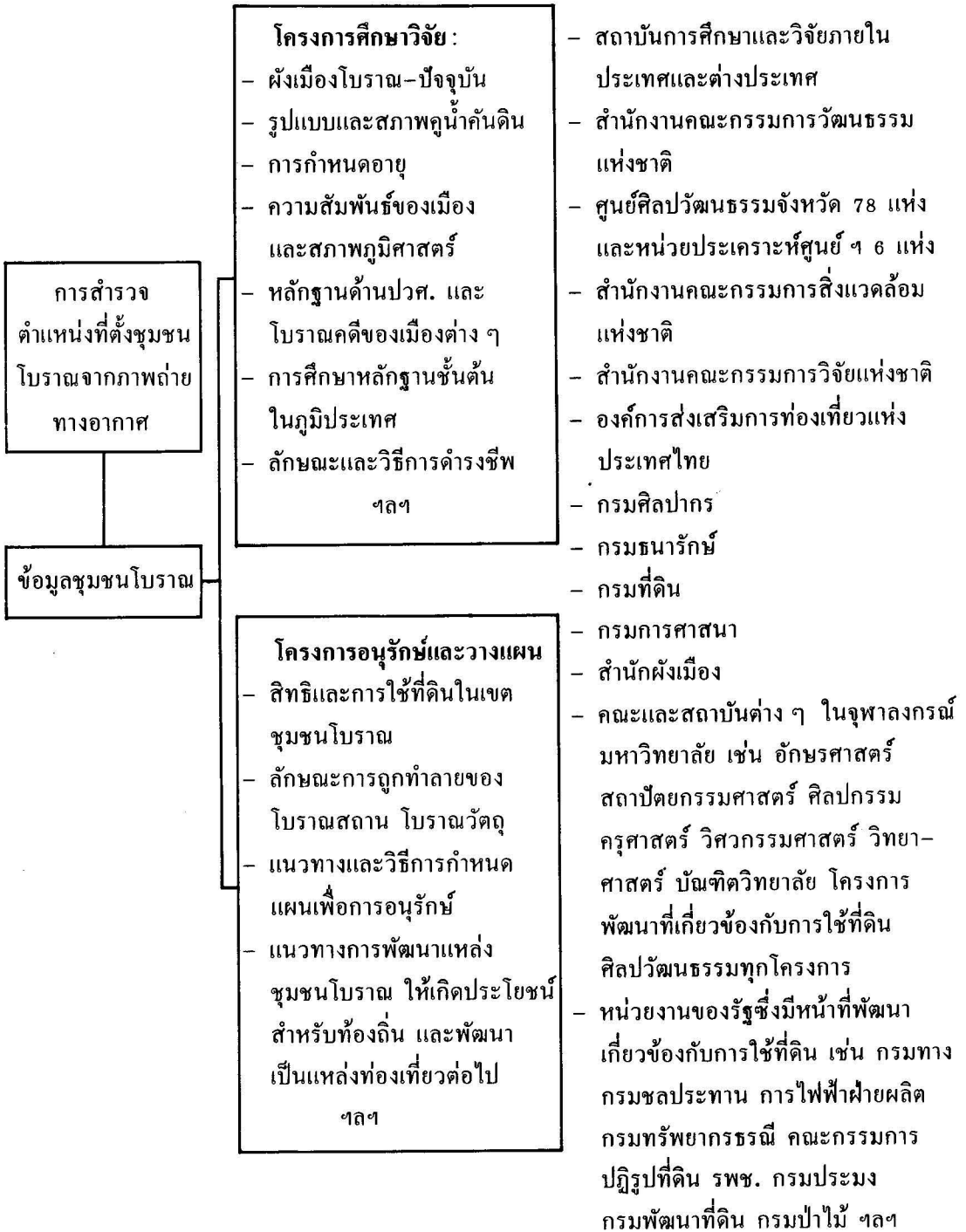
## เอกสารอ้างอิง

1. กรมศิลปากร. โบราณวัตถุสถานสมัยทวารวดีแห่งใหม่. *ช่อฟ้า*, ก.ค., 2509, 55-63.
2. หิญาธิระนันท์, นิจ. สวนสาธารณะตามชานกำแพงและคูเมือง. *ว.สำนักผังเมือง*, กระทรวงมหาดไทย, 2507, 3.
3. ศุภจรรยา, ทิวา และวนาสิน, ฟ่องศรี. การใช้ภาพถ่ายสามมิติในการศึกษาข้อมูลประวัติศาสตร์และโบราณคดี. *เสนอในการประชุมสัมมนาสมาคมประวัติศาสตร์แห่งประเทศไทย*, กรุงเทพฯ, 2525, 3. (อัดสำเนา)
4. ศุภจรรยา, ทิวาและคณะ. ท่อปู่พระยาร่วงชลประทานสมัยสุโขทัย. *เสนอในการประชุมสัมมนาวิชาการประวัติศาสตร์เมืองกำแพงเพชร, วิทยาลัยครูกำแพงเพชร, 7-9 ก.พ., 2527.* (อัดสำเนา)
5. ศุภจรรยา, ทิวา. รูปแบบคันดินรอบชุมชนโบราณในประเทศไทย. 2528. (กำลังจัดทำรายงานเผยแพร่)
6. ศุภจรรยา, ทิวาและคณะ. สภาพแวดล้อมแหล่งชุมชนโบราณในเขตลุ่มน้ำมูล-ชี. *เสนอในการสัมมนาวิจิตร-โมทเซนซิง รูปแบบโปรสเตอร์, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ, ส.ค., 2528.*
7. Moore, E. William-Hunt Collection. 1983. (Personal communication)
8. Seidenfaden, E. Note to Major William-Hunt's article. *Antiquity*, 1950, **24**(93), 35-36.
9. William-Hunt, P.D.R. An Introduction to the Study of Archaeology from the Air. *J. Siam Soc.*, 1949, **35**(2) part 2, 86-110.
10. William-Hunt, P.D.R. Irregular Earthworks in Eastern Siam : and air survey. *Antiquity*, 1950, **24** (93), 30-36.

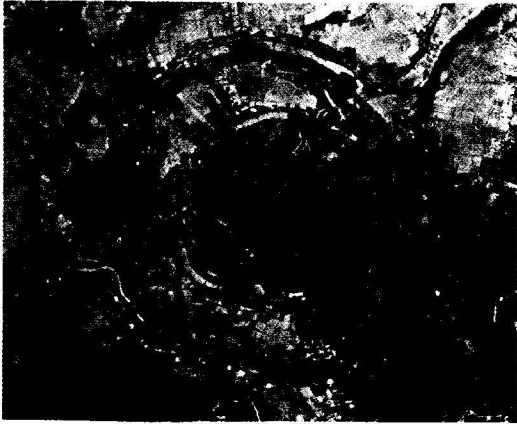


**ลักษณะโครงการ**

**หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง**



แผนภูมิที่ 2. แนวทางการใช้ประโยชน์ทะเบียนตำแหน่งที่ตั้งชุมชนโบราณจากภาพถ่ายทางอากาศ



500 ม.

ชข.816117402

บ.บ้านเขว้า อ.บ้านเขว้า



250 ม.

รธ.355017227

บ.กู่กาสิงห์ อ.เกษตรวิสัย



500 ม.

กข.526515517

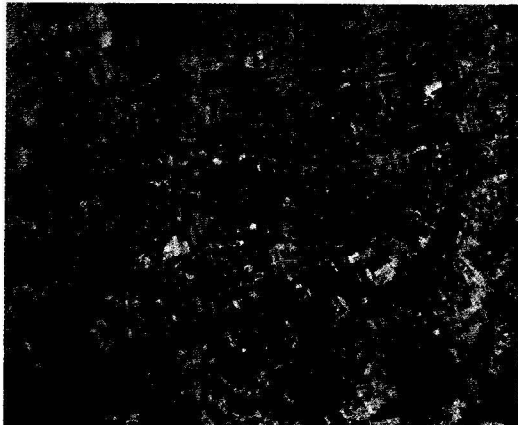
บ.หนองปรือ(2) อ.ไทรโยค



500 ม.

นม.223516318

บ.ถนนหัก อ.โชคชัย (บาราย)



1000 ม.

รป.590714907

บ.คูบัว อ.เมืองราชบุรี



500 ม.

ชร.553421224

บ.สันมะนะ อ.เวียงป่าเป้า


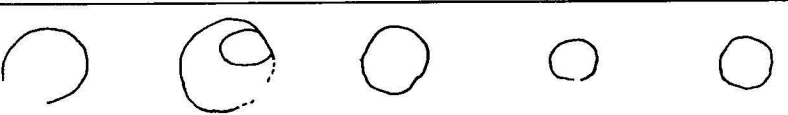


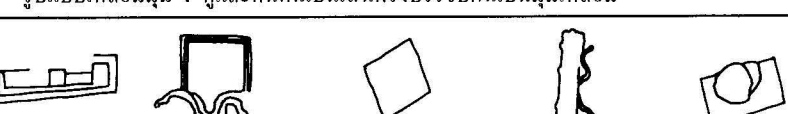

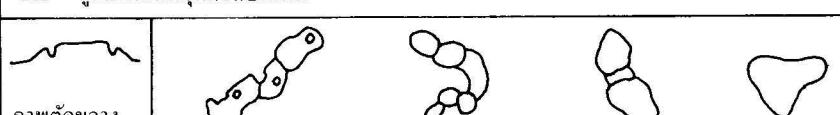

รูปที่ 1. ร่องรอยแหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณที่เห็นได้บนภาพถ่ายทางอากาศ



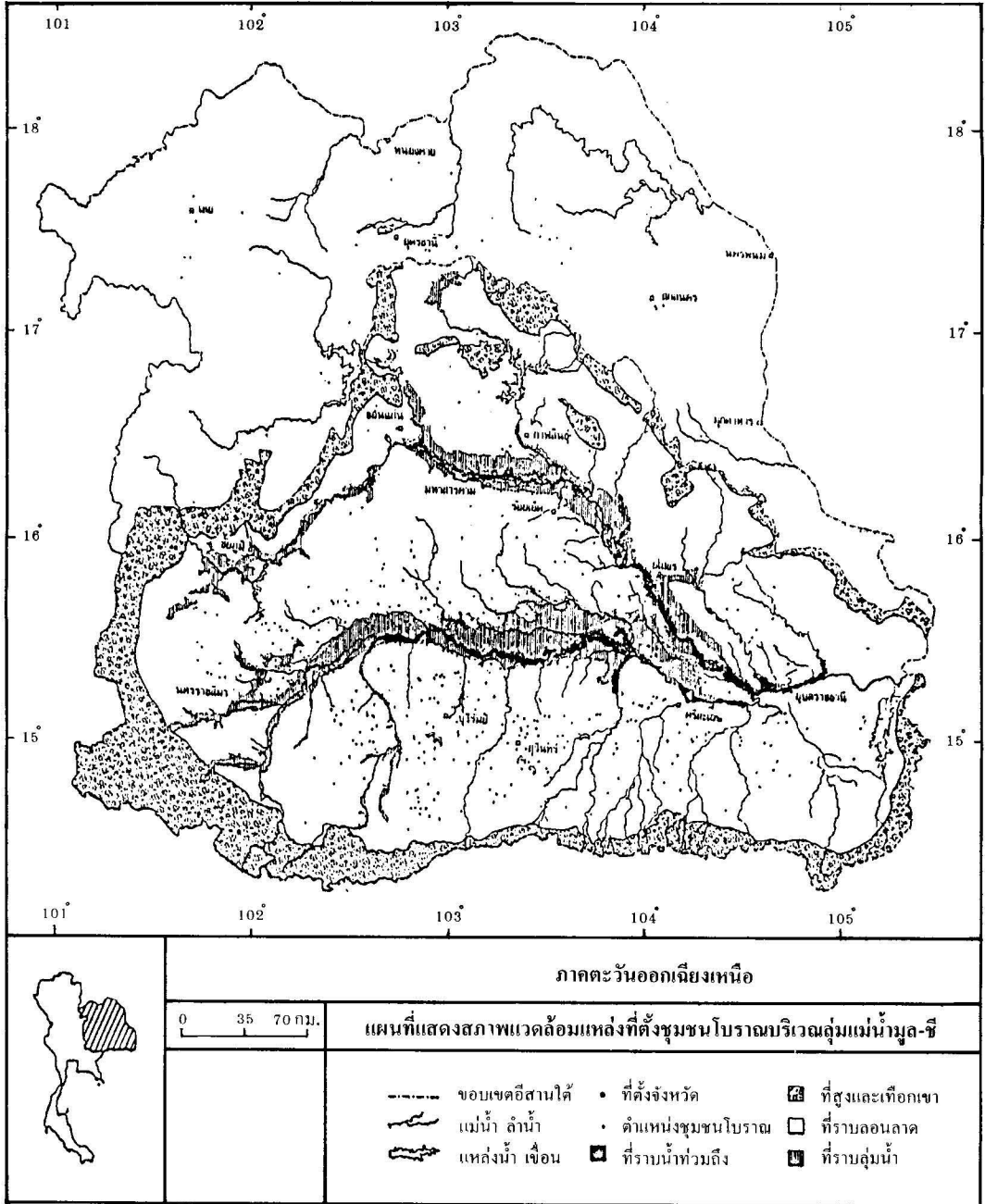
เลขที่ Map No.	รหัส Locality Code	รุ้ง (Lat.) - น. แวง (Long.) - อ.	บ้าน(สถานที่) Ban	ตำบล Tambol	อำเภอ Amphoe
45-41	รอ.363017480	15 48 30 103 43 13	เมืองสรวง Muang Suang	หนองผือ Nong Phu	เมืองสรวง Muang Suang
45-42	รอ.337417215	15 34 03 103 29 00	หนองอ่าง Nong Ang	กำแพง Kamphaeng	เกษตรวิสัย Kaset Wisai
45-43	รอ.384517207	15 33 46 103 55 22	หนองมะเหียะ Nong Mahia	บ่อพันขัน Bo Phan Khan	สุวรรณภูมิ Suwannaphum
45-44	รอ.373817199	15 33 18 103 49 23	คู Ku	สระคู Sa Khu	สุวรรณภูมิ Suwannaphum
45-45	รอ.367417154	15 30 50 103 45 50	สระสี่เหลี่ยม Sa Si Liam	สระคู Sa Khu	สุวรรณภูมิ Suwannaphum
45-46	รอ.390217634	15 56 55 103 58 25	ขวาว Khwao	ขวาว Khwao	เสลภูมิ Selaphum
45-47	รอ.355017227	15 34 45 103 38 52	คูกาสิงห์ Ku Ka Sing	คูกาสิงห์ Ku Ka Sing	เกษตรวิสัย Kaset Wisai
45-48	รอ.382417203	15 33 31 103 54 10	ไม่มีชื่อ Not Identified	บ่อพันขัน Bo Phan Khan	สุวรรณภูมิ Suwannaphum
45-49	รอ.391017712	16 01 10 103 58 51	เมืองไพร Muang Phrai	เมืองไพร Muang Phrai	เสลภูมิ Selaphum
45-50	รอ.364017580	15 53 55 103 43 45	คู Du	บ้านคู Ban Du	อาจสามารถ At Samat

โครงการวิจัยชุมชนโบราณจากภาพถ่ายทางอากาศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2525

ตัวอย่างทะเบียนตำแหน่งที่ตั้งชุมชนโบราณ จังหวัดร้อยเอ็ด

1. รูปแบบที่ไม่ขึ้นกับลักษณะภูมิประเทศ	
1.1	รูปแบบอิสระ : คูและคันดินเป็นแนวโค้งงอบรรจบกันเป็นรูปแบบอิสระ
	
1.2	รูปแบบวงกลม : คูและคันดินมีแนวเรียบและเป็นเส้นโค้งบรรจบกันเป็นรูปคล้ายวงกลม
	
1.3	รูปแบบวงรี : คูและคันดินมีแนวเรียบและเป็นเส้นโค้งบรรจบกันเป็นรูปคล้ายวงรี
	
1.4	รูปแบบเหลี่ยมมน : คูและคันดินมีแนวเป็นเส้นตรงหรือใกล้เคียงเส้นตรงบรรจบกันเป็นมุมมน
	
1.5	รูปแบบเหลี่ยมมุม : คูและคันดินเป็นเส้นตรงบรรจบกันเป็นมุมเหลี่ยม
	
2. รูปแบบที่ขึ้นกับลักษณะภูมิประเทศ	
2.1	คูและคันดินขุดล้อมชนิดขอบเนิน
ภาพตัดขวาง	
2.2	คูและคันดินขุดล้อมบนเนิน
ภาพตัดขวาง	
2.3	คูและคันดินขุดล้อมทั้งบนเนินและที่ราบ
ภาพตัดขวาง	

รูปที่ 3. รูปแบบคูและคันดินรอบชุมชนโบราณในประเทศไทย



รูปที่ 4. แผนที่แสดงสภาพแวดล้อมแหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณบริเวณลุ่มแม่น้ำมูล-ชี

# วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

## วัตถุประสงค์

เพื่อส่งเสริมวิชาการ เผยแพร่ผลงานวิจัยและงานสำรวจต่าง ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ ที่จัดทำขึ้นในประเทศไทย ในขณะเดียวกันก็เพื่อให้เป็นสื่อการแลกเปลี่ยนความรู้ทางด้านวิจัยกับต่างประเทศ

## หลักเกณฑ์การส่งรายงานวิจัยลงวารสาร

1. รายงานวิจัยจะต้องทำในประเทศไทยและไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารใดวารสารหนึ่งมาก่อน
2. ต้นฉบับเป็นตัวพิมพ์ดีดหรือลายมือที่อ่านง่าย ภาษาอังกฤษหรือภาษาไทย หรือภาษาไทยปนคำศัพท์ภาษาอังกฤษ (ในกรณีที่คำศัพท์ภาษาอังกฤษเป็นคำเฉพาะที่แปลไม่ได้หรือแปลแล้วได้ความหมายไม่ชัดเจน)
3. การวางรูปแบบต้นฉบับ ประกอบด้วย
  - 3.1 ชื่อเรื่อง ชื่อและนามสกุลผู้เขียน สถาบันที่สังกัด และที่อยู่สำหรับการติดต่อ ทั้งภาษาไทยและอังกฤษ
  - 3.2 บทคัดย่อ (Abstract) สรุปเนื้อหา และรายละเอียดที่จำเป็นของเรื่อง ทั้งภาษาไทยและอังกฤษ
  - 3.3 คำนำ (Introduction)
  - 3.4 อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and methods)
  - 3.5 ผล (Results)
  - 3.6 อภิปรายและวิจารณ์ (Discussion)
  - 3.7 สรุป (Conclusion)
  - 3.8 คำขอบคุณ (Acknowledgements)
  - 3.9 เอกสารอ้างอิง (References) เรียงตามลำดับอักษรชื่อสกุลขึ้นก่อนตามด้วยชื่อบทความ ชื่อหนังสือหรือวารสาร ปีพิมพ์ เล่มที่ หน้า (ถ้าเป็นหนังสือต้องมีสำนักพิมพ์ และเมืองพิมพ์ด้วย)
  - 3.10 ตาราง (Table)
  - 3.11 ภาพ (Figure) ภาพลายเส้นควรเขียนด้วยหมึกดำบนกระดาษอาร์ต ถ้าเป็นภาพถ่ายขาว-ดำควร

ใช้ขนาดโปสการ์ด และควรเลือกภาพที่ชัดเจนที่สุด

4. ความยาวของรายงานวิจัยประมาณ 15-30 หน้า

ใช้ขนาดโปสการ์ด และควรเลือกภาพที่ชัดเจนที่สุด

4. ความยาวของรายงานวิจัยประมาณ 15-30 หน้า

## ระยะเวลาการส่งต้นฉบับ

- ภายในเดือนกันยายน สำหรับวารสารเล่มที่ 1
- ภายในเดือนมีนาคม สำหรับวารสารเล่มที่ 2

## การส่งต้นฉบับ

ส่งมาที่: ผู้อำนวยการกองแปลและวิเทศสัมพันธ์  
กองแปลและวิเทศสัมพันธ์  
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ  
บางเขน กรุงเทพฯ 10900  
โทรศัพท์ 5792285

## หมายเหตุ

1. รายงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์จะต้องผ่านการพิจารณาให้ความเห็นชอบและตรวจแก้ไขจากผู้แทนสาขา ประจำกองบรรณาธิการวารสารทุกครั้ง
2. ผู้เขียนจะได้รับวารสาร 1 เล่ม และ reprint 75 เล่ม



# สารบัญ

วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปีที่ ๑๘ เล่มที่ ๒ ก.ค. - ธ.ค. ๒๕๒๕

## วิทยาศาสตร์

ขอบเขตบน พี-แอดิกสำหรับสัมประสิทธิ์ของอนุกรมกำลัง ที่เคลื่อนตามสมการเชิงอนุพันธ์พีชคณิต..... 1	.....วิเชียร เลาหโกศล
ผลของฟอสฟอรัสและการคลุกเชื้อไรโซเบียมต่อการเจริญเติบโต และการตรึงไนโตรเจนของถั่วเซนโตรซีมา	..... 17
.....วิโรจ อิมพิทักย์ และวรรณกรณ์ รุ่งรัตนกลิน	
การแยกเชื้อแบคทีเรียจากลำคอผู้ป่วยที่มีอาการเจ็บคอ..... 29	.....สุภาภรณ์ พัวเพิ่มพูนศิริ และคณะ
ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของช่อดอกสัก กับชนิดของแมลงบนช่อดอก..... 45	.....สุรัชย์ ขลดำรงค์กุล และฉวีวรรณ หุตะเจริญ
ปฏิกิริยาการทำถ่านไม้ยูคาลิปตัสที่อุณหภูมิคงที่..... 53	.....หรรศนีย์ กิติรัตน์ตระการ และปรีชา เกียรติกระจ่าย

## สังคมศาสตร์

การบริหารงานการศึกษาออกโรงเรียนในประเทศไทย..... 1	.....บุญทัน ดอกไธสง
แหล่งที่ตั้งชุมชนโบราณในประเทศไทยจากภาพถ่ายทางอากาศ..... 21	.....ทิวา ศุภจรรยา และผ่องศรี วนาสิน

เรื่องต่าง ๆ ที่ปรากฏในวารสารนี้จะนำไปตีพิมพ์ ณ ที่อื่นได้ต่อเมื่ออ้างอิงถึงสำนักงาน  
คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติไว้เป็นหลักฐาน ข้อคิดเห็นในบทความนี้เป็นของผู้เขียนโดยเฉพาะ  
ซึ่งสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติไม่จำเป็นต้องเห็นพ้องด้วยเสมอไป



## C O N T E N T S

Journal of the National Research Council Vol. 18, No. 2, Jul.-Dec. 1986

### Natural Science

A p-Adic Upper Bound for the Coefficients of a Power Series Satisfying an Algebraic Differential Equation.....	1
..... <i>Vichian Laohakosol</i>	
Effect of Phosphorus and Inoculation on Growth and Nitrogen Fixation of <i>Centrosema pubescens</i> Benth. ....	17
..... <i>Viroch Impithuksa and Vanakorn Rungratanakasin</i>	
Throat Swab Culture for Pathogenic Bacteria from Patients with Sore Throat.....	29
..... <i>Supaporn Puapermpoonsiri et al.</i>	
The Relationship between the Flower Development of Teak and Its Associated Insects.....	45
..... <i>Surachai Choldumrongkul and Chaweewan Hutacharern</i>	
Isothermal Carbonization of <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Denhn. ....	53
..... <i>Thusnee Kitirattrakarn and Preecha Kiatgrajai</i>	

### Social Science

Administration of Non - Formal Education in Thailand.....	1
..... <i>Boonton Dockthaisong</i>	
The Inventory of Ancient Settlements in Thailand on Aerial Photographs.....	21
..... <i>Thiva Supajanya and Pongsri Vanasin</i>	

Articles and other material published in this Journal may be reproduced, provided due acknowledgement is made. Signed articles express the views of the author and not necessarily those of the National Research Council