วารสารวิศวกรรมศาสตร์และการวิจัยเชิงนวัตกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
Journal of Engineering and Innovative Research
Faculty of Engineering RMUTI KKC

ISSN : 2822-129X (Print)
ISSN : 2985-0207 (Online)
Vol. 2 No. 1
January-June 2024
ปีที่ 2 ฉบับที่ 1
มกราคม- มิถุนายน 2567

https : pho3.tci-thaijo/index.php/JEIRKKC

@eng.rmuti.kkc

RMUTI TGTK KKC
1964 - 2024
60 years of creating and developing specialized careers with innovation and technology

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และการวิจัยเชิงนวัตกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Journal of Engineering and Innovative Research

Faculty of Engineering RMUTI KKC

JEIR
Journal of Engineering and Innovative Research
Faculty of Engineering RMUTI KKC
THAI - GERMAN
คณะวิศวกรรมศาสตร์

วารสารวิจัยวิศวกรรมศาสตร์และการวิจัยเชิงนวัตกรรม
Journal of Engineering and Innovative Research ISSN : 2822-129X (Print)
ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 (มกราคม -มิถุนายน 2567) ISSN : 2985-0207 (Online)
Vol. 2 No. 1 (January-June 2024)

เจ้าของ

งานบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

วัตถุประสงค์

เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยวารสารรับพิจารณาตีพิมพ์บทความวิชาการและบทความวิจัยครอบคลุมอนุสาขาด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยี รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคิดค้นสิ่งประดิษฐ์หรือนวัตกรรมใหม่ที่มีกระบวนการทำวิจัย วิเคราะห์และอภิปรายผลการทดสอบอย่างเป็นระบบ

สาขาวิชาที่เปิดรับผลงาน

วารสารเน้นรับบทความทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในกลุ่มสาขาวิชาดังนี้ วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมเกษตรและแปรรูปอาหาร วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และซอฟแวร์ วิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ วิศวกรรมระบบราง ขนส่งและยานยนต์

ที่ปรึกษา

อาจารย์ปริญ นาชัยสิทธิ์ รองอธิการบดีประจำวิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หริส ประสารฉ่ำ ผู้ช่วยอธิการบดีประจำวิทยาเขตขอนแก่น
อาจารย์บุญกิจ อุ่นพิกุล ผู้ช่วยอธิการบดีประจำวิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์ คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดิเรก จันตะคุณ รองคณบดีฝ่ายบริหาร
รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร แสงอรุณ รองคณบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย
อาจารย์ ดร.ปฐมาภรณ์ ชัยกูล รองคณบดีฝ่ายแผนและประกันคุณภาพการศึกษา
อาจารย์ขุนแผน ปฏิมาประกร รองคณบดีฝ่ายพัฒนานักศึกษา
นางสาวรัชนิวัลย์ มูลสีละ หัวหน้าสำนักงานคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร. วิเชียร แสงอรุณ	มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.วิทยา เรืองพรวิสุทธิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ แสงสุระ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.นาวี กังวาลย์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดมรัตน์ ทิพวรรณ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย สะตะ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมกฤช ปิติฤกษ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวัตร นานันท์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ ทองเล็ก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ระวี ระวิกุล	มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ปณัสย์ชัย เชษฐโชติศักดิ์	มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ เหล็กโคกสูง	มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิติกานต์ สมบูรณ์	มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรียา เจียรศิริสมบูรณ์	มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

ผู้ประสานงาน

นางประวีณา เนื่องรินทร์	มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

การพิจารณาบทความ

ต้นฉบับบทความจะได้รับการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขาวิชานั้น ๆ ไม่น้อยกว่า 3 ท่าน โดยเป็นการประเมินแบบอำพรางสองฝ่าย (Double Blind) และส่งผลการพิจารณาแก่ผู้เขียน เพื่อปรับปรุงแก้ไขบทความ หรือพิมพ์ต้นฉบับใหม่แล้วแต่กรณี เมื่อบทความผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิและกองบรรณาธิการแล้ว ผู้เขียนจะได้รับการตอบรับตีพิมพ์บทความในวารสาร

กำหนดเผยแพร่

จัดพิมพ์เผยแพร่ ปีละ 2 ฉบับ (วารสารราย 6 เดือน)
ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม - มิถุนายน
ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม

ลิขสิทธิ์ งานบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
150 หมู่ 6 ถนนศรีจันทร์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000
อาคาร 50 ปี เทคนิค ไทย-เยอรมัน ขอนแก่น ชั้น 2 (ห้องแผนกงานวิชาการและวิจัย)
โทรศัพท์ 043-283700 กด 83120 โทรสาร 043-338870
E-mail : jeir.eng.rmuti@gmail.com
Website : https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JEIRKKC

พิมพ์ที่ โรงพิมพ์ ค้ำคูณดี-ไซน์ 123 หมู่ 8 ตำบลน้ำพอง อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น 40140
เบอร์โทร 081-1472506, 089-7136877

60 ปี แห่งการสร้างและพัฒนาอาชีพเฉพาะทาง
ด้วยนวัตกรรมและเทคโนโลยี

บทบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และการวิจัยเชิงนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ฉบับนี้เป็นฉบับประจำปีที่ 2 ฉบับที่ 1 ถือเป็นปีพิเศษและฉบับพิเศษเนื่องในโอกาสครบรอบ 60 ปี วันสถาปนาวิทยาเขตขอนแก่น ซึ่งวิทยาเขตได้กิจกรรมเฉลิมฉลองหลากหลายกิจกรรมตลอดทั้งปี ขอให้ผู้อ่านวารสารทุกท่านได้ร่วมเฉลิมฉลองโอกาสพิเศษนี้ไปกับเรา

ฉบับปัจจุบันนี้ เนื้อหาของบทความยังคงเนื้อหาสาระที่เกี่ยวกับการศึกษาวิจัยด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ นวัตกรรมและเทคโนโลยี รวมถึงงานวิจัยสหวิทยาการและสาขาอื่นที่เกี่ยวข้อง ทั้งในรูปแบบบทความวิชาการและบทความวิจัย ประกอบด้วยบทความวิจัยจำนวน 4 เรื่อง ประกอบด้วย 1. On a class of semisimple ordered semigroups 2. การประมาณค่าเชิงประจักษ์ของความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเลตในบรรยากาศ 3. ระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติควบคุมด้วยพีแอลซี 4. การสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนด้วยปฏิกิริยารีดักชันภายใต้สภาวะการฉายแสงยูวี

กองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์และการวิจัยเชิงนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะ เป็นประโยชน์สำหรับผู้อ่านทุกท่าน และขอขอบคุณที่ท่านผู้อ่านได้ให้ความสนใจติดตามวารสารวิศวกรรมศาสตร์และการวิจัยเชิงนวัตกรรม มาอย่างต่อเนื่อง พบกันใหม่ฉบับหน้า

หากผู้เขียนหรือผู้อ่านท่านใดมีข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อวารสาร สามารถส่งมาได้ที่เบอร์โทรศัพท์ 043283700 กด 83120 โทรสาร 043-338870 หรืออีเมล์ jeir.eng.rmuti@gmail.com ทางกองบรรณาธิการจะนำไปพิจารณาปรับปรุงวารสารให้มีคุณภาพยิ่งขึ้นต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร แสงอรุณ
บรรณาธิการวารสาร

สารบัญ

บทความ	หน้า
On a class of simisimple ordered semigroups Pisan Summaprab	1
การประมาณค่าเชิงประจักษ์ของความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเลตในบรรยากาศ สายันต์ โพธิ์เกตุ, อภิวัฒน์ บุญเขื่อง และ วุฒิไกร บุษยาพร	8
ระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติควบคุมด้วยพีแอลซี ธนวัฒน์ ฉลาดสกุล และ บุญศวร โนนศรี	16
การสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนด้วยปฏิกิริยารีดักชันภายใต้สภาวะการฉายแสงยูวี ยุวพร อุปปะ, ณัฐมน หนูพวก และ วิเชียร แสงอรุณ	25

On a class of semisimple ordered semigroups

Pisan Summaprab*

Division of Mathematics, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus, Khon Kaen, 40000 Thailand

*Corresponding Author: pisan.su@rmuti.ac.th

Received 22 April 2024; Received in revised form 28 May 2024; Accepted 28 May 2024

Abstract

If one examines a situation where globally idempotent ordered semigroups contain maximal one-sided ideals, numerous instances of semisimple ordered semigroups can be identified. In this paper, we find some sufficient conditions for a globally idempotent ordered semigroups to be semisimple ordered semigroups.

Keywords: ordered semigroup; semisimple; globally idempotent; regular; prime ideal.

1. Introduction

The study of semigroups whose ideals are representable as a product or an intersection of prime or maximal ideals has interested Dorofeeva, Grillet, Mennepalli, Petrich, Szssz and Satyanarayana. It is observed that semisimple semigroups can easily be characterized as those semigroups whose ideals are intersections of prime ideals. Among globally idempotent semigroups containing maximal one-sided ideals one, one can find many examples of semisimple semigroups. In [1], Satyanarayana finds some sufficient conditions for a globally idempotent semigroups to be semisimple semigroups. In this paper, the results are a generalization of Satyanarayana in [1].

2. Preliminaries

A semigroup $(S,\cdot)$ together with a partial order $\leq$ that is *compatible* with the semigroup operation, meaning that for any x,y,z in S, $x\leq y$ implies $zx\leq zy$ and $xz\leq yz$, is called a *partially ordered semigroup,* or simply an *ordered semigroup*. Under the trivial relation, $x\leq y$ if and only if $x=y$, it is observed that every semigroup is an ordered semigroup.

Let $(S,\cdot,\leq)$ be an ordered semigroup. For two nonempty subsets A,B of S, we write AB for the set of all elements xy in S where $x\in A$ and $y\in B$, and write $(A]$ for the set of all elements x in S such that $x\leq a$ for some a in A, i.e.,

$$(A]=\left\{x\in S\middle| x\leq a \quad \exists a\in A\right\}.$$

In particular, we write Ax for $A\{x\}$, and xA for $\{x\}A$. It was shown in [2] that the following hold:

(1) $A \subseteq (A]$ and $((A]] = (A]$;

(2) $A \subseteq B \Rightarrow (A] \subseteq (B]$;

(3) $((A](B]] = (A(B]] = ((A]B] = (AB]$;

(4) $(A](B] \subseteq (AB]$;

(5) $(A]B \subseteq (AB]$ and $A(B] \subseteq (AB]$;

(6) If $\{A_k\}_{k\in K}$ is a family of nonempty subsets of S, then $(\bigcup_{k\in K} A_k] = \bigcup_{k\in K} (A_k]$ and $(\bigcap_{k\in K} A_k] \subseteq \bigcap_{k\in K} (A_k]$.

Let $(S, \cdot, \leq)$ be an ordered semigroup. A non-empty subset A of S is called a *left (resp., right) ideal* of S if it satisfies the following conditions:

(i) $SA \subseteq A$ (resp., $AS \subseteq A$);

(ii) $(A] = A$, that is, for any x in A and y in S, $y \leq x$ implies $y \in A$.

If A is both a left and a right ideal of S, then A is called a *two-sided ideal*, or simply an *ideal* of S. It is known that the union or intersection of two ideals of S is an ideal of S.

An element a of an ordered semigroup $(S, \cdot, \leq)$, the *principal left(resp., right, two-sided) ideal* generated by a is of the form $L(a) = (a \cup Sa]$ (resp., $R(a) = (a \cup aS]$, $I(a) = (a \cup Sa \cup aS \cup SaS]$).

Let $(S, \cdot, \leq)$ be an ordered semigroup. A left ideal A of S is said to be *proper* if $A \subset S$. A proper right and two-sided ideals are defined similarly. S is said to be *left (resp., right) simple* if S does not contain proper left (resp., right) ideals. S is said to be *simple* if S does not contain proper ideals.

Let $(S, \cdot, \leq)$ be an ordered semigroup. A subsemigroup T of S is called *left simple(resp. right simple)* if T is the only left ideal(resp. right ideal) of T; it is called *simple* if it is the only ideal of T. A subsemigroup T of S is left simple if and only if $(Ta]_T = T$ for every $a \in T$. T is right simple if and only if $(aT]_T = T$ for every $a \in T$, T is simple if and only if $(TaT]_T = T$ for every $a \in T$.

Let $(S, \cdot, \leq)$ be an ordered semigroup. A proper left (resp., right) ideal A of S is said to be *maximal left(resp., maximal right)* if for any left (resp., right) ideal B of S, if $A \subset B \subseteq S$, then $B = S$. A proper ideal A of S is said to be *maximal* if for any ideal B of S, if $A \subset B \subseteq S$, then $B = S$.

Let $(S, \cdot, \leq)$ be an ordered semigroup. An ideal I of S is said to be *prime* if for any ideals A, B of S, $AB \subseteq I$ implies $A \subseteq I$ or $B \subseteq I$. An ideal I of S is said to be *completely prime* if for any $a, b \in S$, $ab \in I$ implies $a \in I$ or $b \in I$. An ideal I of S is said to be *semiprime* if for any ideal A of S, $A^2 \subseteq I$ implies $A \subseteq I$. An ideal I of S is said to be *completely semiprime* if for any $a \in S$, $a^n \in I$ for any positive integer n implies $a \in I$ (see [3]). An ordered semigroup $(S, \cdot, \leq)$ is called a *globally idempotent* if $S = (S^2]$.

Let $(S,\cdot,\leq)$ be an ordered semigroup. The intersection of all ideals of S, if it is nonempty, is called a *kernel* of S, and it will be denoted by $K(S)$. The intersection of all prime ideals of S will be denoted by Q^*. The intersection of all maximal left ideals of S will be denoted by L^*. And the intersection of all maximal right ideals of S will be denoted by R^*.

An ideal A of an ordered semigroup $(S,\cdot,\leq)$, the intersection of all prime ideals of S containing A, will be denoted by $Q^*(A)$.

An element a of an ordered semigroup $(S,\cdot,\leq)$ is called a *semisimple element* in S if $a\in(SaSaS]$. And S is said to be *semisimple* if every element of S is semisimple (see [3]).

An element a of an ordered semigroup $(S,\cdot,\leq)$ is said to be *left regular (resp., right regular, regular, intra-regular)* if there exists x,y in S such that $a\leq xa^2$ (resp., $a\leq a^2x$, $a\leq axa$, $a\leq xa^2y$) (see [3]). It is observed that left regular elements, right regular elements, regular elements, and intra-regular elements are all semisimple.

An element e of an ordered semigroup $(S,\cdot,\leq)$ is called an *identity element* of S if $ex=x=xe$ for any $x\in S$. The *zero element* of S, defined by Birkhoff, is an element 0 of S such that $0\leq x$ and $0x=0=x0$ for all $x\in S$. S is said to be 0*-simple* if $S^2\neq\{0\}$ and $\{0\}$ is the only proper ideal of S (see [4]).

Let $(S,\cdot,\leq_S)$ and $(T,*,\leq_T)$ be ordered semigroups, $f:S\longrightarrow T$ a mapping from S into T. The mapping f is called *isotone* if $x,y\in S,\ x\leq_S y$ implies $f(x)\leq_T f(y)$ and *reverse isotone* if $x,y\in S,\ f(x)\leq_T f(y)$ implies $x\leq_S y$. The mapping f is called a *homomorphism* if it is isotone and satisfies $f(xy)=f(x)*f(y)$ for all $x,y\in S$. The mapping f is called a *isomorphism* if it is reverse isotone onto homomorphism. The ordered semigroups S and T are called *isomorphic,* in symbols $S\cong T$ if there exists an isomorphism between them.

An ordered semigroup V is called an *ideal extension* (or just an *extension*) of an ordered semigroup S by an ordered semigroup Q, if Q has a zero 0, $S\cap(Q\setminus\{0\})=\varnothing$, and there exists an ideal K of V such that $K\cong S$ and $V/K\cong Q$ (see [5]).

Let $(S,\cdot,\leq)$ be an ordered semigroup and K an ideal of S. S/K is called the *Rees quotient ordered semigroup* of S, where 0 is an arbitrary element of K. It is observed that $K\cap[(S/K)\setminus\{0\}]=\varnothing$, $K\cong K$ and $S/K\cong S/K$ under the identity mapping and so S is an ideal extension of K by S/K.

3. Main results

We begin this section with the following lemma.

Lemma 3.1 [6] Let $(S,\cdot,\leq)$ be an ordered semigroup. The following statements are equivalent:

(1) S is semisimple;

(2) $(A^2]=A$ for any ideal A of S;

(3) $A\cap B=(AB]$ for any ideal A,B of S;

(4) $I(a)\cap I(b)=(I(a)I(b)]$ for any $a,b\in S$;

(5) $(I(a)^2]=I(a)$ for any $a\in S$.

Lemma 3.2 [6] Let $(S,\cdot,\leq)$ be an ordered semigroup. Then S is semisimple if and only if every ideal of S is semiprime.

Lemma 3.3 [6] Let $(S,\cdot,\leq)$ be an ordered semigroup and A an ideal of S. Then A is semiprime if and only if $Q^*(A)=A$.

Proposition 3.4 Let $(S,\cdot,\leq)$ be an ordered semigroup. The following statements are equivalent:

(1) Every proper ideal of S is an intersection of prime ideals of S;

(2) $(A^2]=A$ for any ideal A of S;

(3) $A\cap B=(AB]$ for any ideal A,B of S;

(4) $I(a)\cap I(b)=(I(a)I(b)]$ for any $a,b\in S$;

(5) $(I(a)^2]=I(a)$ for any $a\in S$;

(6) S is semisimple.

Proof. We have (2) to (6) are equivalent by Lemma 3.1.

$(1)\longrightarrow(2)$. Let A be an ideal of S. Then $(A^2]=\cap_i Q_i$, where each Q_i is prime ideal of S. We have $A^2\subseteq(A^2]=\cap_i Q_i$, for all i. This implies $A\subseteq Q_i$ for all i. Thus $A\subseteq\cap_i Q_i=(A^2]$ and so $(A^2]=A$.

$(6)\longrightarrow(1)$. Let A be proper ideal of S. Since S is semisimple, we have A is semiprime by Lemma 3.2. Thus $Q^*(A)=A$ by Lemma 3.3.

Proposition 3.5 Let $(S,\cdot,\leq)$ be an ordered semigroup. Then every right ideal of S is an intersection of prime ideals of S if and only if every right ideal of S is two-sided and for every $a\in S$, $a\in(aSaS]$.

Proof. Assume that every right ideal of S is an intersection of prime ideals of S. Let A be a right ideal of S. Then $A=\cap_i Q_i$, where each Q_i is prime ideal of S. We have $SA=S(\cap_i Q_i)\subseteq\cap_i Q_i=A$. Thus A is a two-sided ideal of S. Let $a\in S$. Then $a\in(SaSaS]\subseteq(aSaS]$ by Proposition 3.4. The converse is evident from Proposition 3.4.

It is easy to see the following proposition:

Proposition 3.6 Let $(S,\cdot,\leq)$ be an ordered semigroup. Then every right ideal of S is prime if and only if $(R(x)R(y)]=R(x)$ or $(R(x)R(y)]=R(y)$ for every $x,y\in S$.

Similarly, we prove the following:

Proposition 3.7 Let $(S,\cdot,\leq)$ be an ordered semigroup. Then every ideal of S is prime if and only if $(I(x)I(y)]=I(x)$ or $(I(x)I(y)]=I(y)$ for every $x,y\in S$.

Lemma 3.8 Let $(S,\cdot,\leq)$ be a left cancellative ordered semigroup. If S is a right simple, then S is regular.

Proof. Let $a\in S$. Since S is a right simple, $a\leq ax$ for some $x\in S$. We have $a^2\leq axa$. Since S is a left cancellative, $a\leq xa$. Since $x\in(aS]$, $x\leq ay$ for some $y\in S$. It follows that $a\leq xa\leq aya\in aSa$. Thus S is regular.

Theorem 3.9 Let $(S,\cdot,\leq)$ be an ordered semigroup in which every right ideal of S is intersection prime ideals of S. Then S is completely regular if S is a left cancellative and left simple.

Proof. Let $a\in S$. Then $a\in(aSaS]=(aS(aS]]\subseteq(a^2S]$ by Proposition 3.5. Thus S is right regular. We have $a\in(aSaS]\subseteq(aS]$ Then $a\leq ax$ for some $x\in S$. It follows that $a^2\leq axa$. Since S is a left cancellative, $a\leq xa$. Since S is left simple, $x\leq ya$ for some $y\in S$. Thus $a\leq xa\leq ya^2\in Sa^2$, that is, S is left regular. Now we claim that S is right simple. If S is not right simple. Then S has a unique maximal right ideal M, which is the union of all proper right ideals of S. Let $m\in M$ and $s\in S$. Then $m\leq mymz$ for some $y,z\in S$ by Proposition 3.5. We have $ms\leq mymzs$. Since S is a left cancellative, $s\leq ymzs\in SMS\subseteq M$. It follows that $S=M$ This is a contradiction. Thus S right simple. We have S is regular by Lemma 3.8. Thus S is completely regular.

Proposition 3.10 If $(S,\cdot,\leq)$ is an ordered semigroup with $S=(S^2]$, then every maximal ideal of S is prime.

Proof. Let M be a maximal ideal of S. Denote $S\setminus M=P$. We claim that $P\subseteq(P^2]$. Since M is a maximal, $S=M\cup P$. We have $S=(S^2]=((M\cup P)^2]\subseteq M\cup(P^2]$. Thus $P\subseteq(P^2]$. Let A,B be an ideal of S such that $AB\subseteq M$. If M is not prime. Since M is a maximal, $S=M\cup A$ and $S=M\cup B$. Then $P\subseteq A$ and $P\subseteq B$. It follows that $P\subseteq(P^2]\subseteq(AB]\subseteq M$. This is a contradiction. Thus M is prime.

Definition 3.11 An ordered semigroup $(S,\cdot,\leq)$ is called *intersective* if every proper ideal of S is an intersection of maximal ideals of S. A 0-simple ordered semigroup is a trivial example of an intersective ordered semigroup.

It is easy to see the following proposition:

Proposition 3.12 Let $(S,\cdot,\leq)$ be an intersective ordered semigroup. Then S is semisimple if and only if $S=(S^2]$.

Remark 3.13 Every semisimple ordered semigroups in which proper prime ideals are maximal, are intersective.

Proposition 3.14 If $(S,\cdot,\leq)$ is intersective semisimple ordered semigroup, then every proper prime ideal of S is maximal.

Proof. Let A be a proper prime ideal of S. Since S is intersective, $A=\bigcap_i M_i$, where each M_i is maximal ideal of S. Since S is semisimple, we have

$A = \bigcap_i M_i = (M_1 M_2 \cdots M_i]$. Since A is prime, $M_\alpha \subseteq A$ for some α. Thus $A = M_\alpha$.

Lemma 3.15 Let $(S, \cdot, \leq)$ be a globally idempotent ordered semigroup containing maximal right ideals. If $R^* = \varnothing$, then for any $a \in S$, $a \in (aSaS]$ or there exists a maximal right ideal M of S not containing a such that

(1) $(SM] = S$;

(2) $S = (M^n] \cup (aS]$ for every positive integer n and

(3) $S = M^\infty \cup (aS]$, where $M^\infty = \bigcap_{n=1}^{\infty} (M^n]$.

Proof. Let $a \in S$. Since $R^* = \varnothing$, there exists a maximal right ideal M not containing a. Then $S = M \cup (a \cup aS]$. We have

$$S = (S^2] = ((M \cup (a \cup aS])S] \subseteq M \cup (aS].$$

Thus $S = M \cup (aS]$. This implies $S = (SM] \cup (SaS]$. If $a \notin (SM]$, then $a \leq xay$ for some $x, y \in S$. Since $a \notin M$, we have $x \notin M$. It follows that $x \leq az$ for some $z \in S$. Thus $a \leq xay \leq azay \in aSaS$. If $a \in (SM]$, then $S = (SM]$. We have

$$S = (SM] = ((M \cup (aS])M] = (M^2] \cup (a(SM]] = (M^2] \cup (aS]$$

and

$$S = (M \cup (aS]) \cap ((M^2] \cup (aS]) \subseteq (M \cap (M^2]) \cup (aS].$$

Proceeding in the way we obtain $S = (M^n] \cup (aS]$ for every positive integer n and $S = M^\infty \cup (aS]$.

Theorem 3.16 Let $(S, \cdot, \leq)$ be a globally idempotent ordered semigroup containing maximal right ideals. If $R^* = \varnothing$, then S is semisimple if one of the following conditions is satisfied:

(1) $S \neq (SM]$ for every maximal right ideal M of S;

(2) $S \neq (M^n] \cup (aS]$ for every maximal right ideal M of S not containing a;

(3) $M^\infty = \varnothing$ for every maximal right ideal M of S.

Proof. If S satisfies the following conditions (1) and (2), then S is semisimple follow from Lemma 3.15. Let S satisfies the following condition (3) and $a \in S$. Then $a \in (aSaS]$ or there exists a maximal right ideal M of S not containing a such that $S = M^\infty \cup (aS]$ by Lemma 3.15. If $a \in (aSaS]$, then obviously S is semisimple. If there exists a maximal right ideal M not containing a such that $S = M^\infty \cup (aS]$. Then $S = (aS]$. We have

$$S = (aS] = (a^2 S] = (a^4 S] \subseteq (SaSaS].$$

Thus S is semisimple.

Theorem 3.17 Let $(S, \cdot, \leq)$ be a globally idempotent ordered semigroup containing maximal right ideals. If $R^* = \varnothing$, then S is regular if either one of the following conditions is satisfied:

(1) $L^* = \varnothing$ and S contains maximal left ideals;

(2) S is left simple.

Proof. Let $a \in S$. Since $R^* = \varnothing$, there exists a maximal right ideal M of S not containing a. Then $S = M \cup (a \cup aS]$. We have

$$S = (S^2] = ((M \cup (a \cup aS])S] \subseteq M \cup (aS].$$

Thus $S = M \cup (aS]$. Similarly, if $L^* = \varnothing$ and S contains maximal left ideals, then there exists a maximal left ideal N of S not containing a such that $S = N \cup (aS]$. It follows that $a \in (aS]$ and $a \in (Sa]$. This implies $(aS] = S = (Sa]$. Thus $a \in (aS] = (a(Sa]] = (aSa]$ and so S is regular. In the second case if S is left simple. Then $S = (Sa]$. Since $a \notin M$, $a \in (aS]$. This implies S is regular.

Theorem 3.17 Let $(S, \cdot, \leq)$ be a semisimple ordered semigroup containing maximal right and left ideals. If every prime ideal of S is a maximal right ideal as well as a maximal left ideal, then S is an ideal extension of a simple subsemigroup by a regular ordered semigroup.

Proof. Let $x \in L^* \cup R^*$.

If $x \notin K(S)$. Since S is semisimple, $K(S) = Q^*$. by Theorem 2.8 in [3]. Then there exists prime ideal of S not containing x. We have $x \notin L^* \cup R^*$ by the hypothesis. This is a contradiction. Thus $L^* \cup R^* \subseteq K(S)$. Let $x \in S / K(S)$. If $x \notin K(S)$, then $x \notin L^* \cap R^*$. Since S is semisimple, $S = (S^2]$. It follows that x is regular as above. We have $K(S)$ is a simple subsemigroup by Lemma 3.2 in [7]. Clearly S is an ideal extension of $K(S)$ by $S / K(S)$. This complete the proof.

4. Acknowledgement

The authors are deeply grateful to the referee for careful reading of the manuscript and helpful suggestions.

5. References

[1] Satyanarayana, M. (1975). On a class of semisimple semigroups, *Semigroup Forum*, vol. 10, pp. 129–138.

[2] Changphas, T., Luangchaisri P. and Mazurek R. (2018). On right chain ordered semigroups, *Semigroup Forum*, vol. 96(11), June 2018, pp. 523–535.

[3] Summaprab, P. and Changphas, T. (2018). Generalized kernels of ordered semigroups, *Quasigroups and Related Systems*, vol. 26, February 2018, pp. 309–316.

[4] Cao, Y. (2001). Quotient principal factors of an ordered semigroup, *Comm. Algebra*, vol. 29(5), August 2006, pp. 1993–2001.

[5] Kehayopulu, N. and Tsingelis M. (2009). Archimedean ordered semigroups as ideal extensions, *Semigroup Forum*, vol. 78, November 2008, pp. 343–348.

[6] Summaprab, P. (2023). On pramary ordered semigroups, *Quasigroups and Related Systems*, vol. 32, May 2024, pp. 129–140.

[7] Cao, Y. and Xinzhai, X. (2000). Nil-extensions of simple po-semigroups, *Comm. Algebra*, vol. 28(5), June 2007, pp. 2477–2496.

การประมาณค่าเชิงประจักษ์ของความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเลตในบรรยากาศ
Empirical estimation of ultraviolet radiation intensity in the atmosphere

สายันต์ โพธิ์เกตุ[1*] อภิวัฒน์ บุญเชื่อง[1] และ วุฒิไกร บุษยาพร[2]

[1]สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40000
[2]สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) อาคารสิรินธรวิชโรทัย 111 ถ.มหาวิทยาลัย
ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
*Corresponding Author: syphokate@hotmail.com, Telephone Number 082-8571112

Received 5 May 2024; Received in revised form 11 June 2024; Accepted 17 June 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัดในช่วงความยาวคลื่น 290-390 นาโนเมตร ร่วมกับข้อมูลความเข้มรังสีรวมและข้อมูลภูมิอากาศในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆจากสถานีอุตุนิยมวิทยา 4 สถานี ได้แก่ สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่ สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดอุบลราชธานี สถานีอุตุนิยมวิทยากรุงเทพมหานคร และสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดสงขลา ในช่วงปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2562 ในการสร้างแบบจำลองและใช้ข้อมูลอิสระในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆของปี พ.ศ. 2563 ในการทดสอบแบบจำลอง ผลการวิจัยพบว่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตมีความสัมพันธ์กับโคไซน์ของมุมเซนิทและอัตราส่วนของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกกับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก และพบว่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตมีความสัมพันธ์กับปริมาณไอน้ำในอากาศ ปริมาณโอโซนและข้อมูลทัศนวิสัยในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองพบว่าค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงและสอดคล้องกันโดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นทางบวกต่อกันมีการกระจายตัวในรอบปีสอดคล้องกันข้อมูลที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ: รังสีอัลตราไวโอเลต, รังสีดวงอาทิตย์, ปริมาณไอน้ำ, โอโซน, ข้อมูลทัศนวิสัย

Abstract

This research aims to estimate ultraviolet intensity values using mathematical models. Ultraviolet intensity data obtained at a wavelength of 290-390 nm, along with global solar radiation and climate data on cloudless days from four Thai monitoring stations, were analyzed. Among them are Chiang Mai, Ubon Ratchathani, Bangkok, and Songkhla. The models were created using data from 2017 to 2019. According to the collected data, the model was validated using 2020 data on a cloudless day. It was found that the intensity of ultraviolet radiation was related to the ratio of solar radiation intensity at the Earth's surface to extraterrestrial solar radiation intensity and the cosine of the zenith angle. In addition, the intensity of ultraviolet radiation is related to water vapor, ozone content, and visibility data. All

of which can show mathematical relationships. The validation results of the model mentioned above revealed reasonable agreement between the models with a positive correlation with one another. According to the results, all data are not significantly different at the 0.05 level.

Keywords: ultraviolet radiation, solar radiation, water vapor, ozone, visibility data

บทนำ

รังสีอัลตราไวโอเลต (ultraviolet radiation, UV) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นและมีพลังงานโฟตอนสูง ความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเลตสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงความยาวคลื่น ได้แก่ รังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA) มีความยาวคลื่น 315-400 nm รังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB) มีความยาวคลื่น 280-315 nm และรังสีอัลตราไวโอเลตซี (UVC) มีความยาวคลื่น 280-100 nm [1-2] โดยทั่วไปรังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ที่เข้ามายังพื้นโลกประกอบด้วยรังสี UVA 96% และ UVB 4% ส่วน UVC จะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลอากาศในชั้นบรรยากาศระดับสูงจนไม่สามารถผ่านมายังพื้นโลกได้ [3] รังสีอัลตราไวโอเลตที่มาจากดวงอาทิตย์ส่วนมากจะถูกดูดกลืนจากบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ซึ่งมีก๊าซโอโซนเป็นองค์ประกอบ ปัจจุบันโอโซนในบรรยากาศมีจำนวนลดลงเนื่องจากการใช้สารเคมีประเภทคลอโรฟูออโรคาร์บอน (chlorofluorocarbon) และกิจกรรมทางอุตสาหกรรมของมนุษย์ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลตที่แผ่ลงมายังพื้นผิวโลก แม้จะมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงของแสงสว่างแต่ก็ส่งผลสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมบนโลก กล่าวคือรังสี UV จากแสงอาทิตย์เป็นปัจจัยที่สำคัญในการทำให้เกิดความเครียดต่อระบบนิเวศของมนุษย์ ระบบนิเวศบนบกและในน้ำ รังสี UVB ความยาวคลื่นสั้นมีผลต่อการสังเคราะห์แสงและลดความสามารถในการเจริญเติบโตของไข่และระยะตัวอ่อนของสัตว์บกและสัตว์น้ำ [4] เป็นอันตรายต่อผิวหนัง สามารถทำให้เกิดรอยไหม้ (sunburn) การอักเสบเฉียบพลัน และความผิดปกติของสารพันธุกรรมที่ส่งเสริมการชราภาพของเซลล์และการก่อมะเร็งผิวหนัง (melanoma) [5-6] ซึ่งมะเร็งผิวหนังของบุคคลทั่วไปจะเพิ่มขึ้นในอัตรา 4-6% ต่อปี [7] การที่ได้รับรังสียูวีมากและเป็นเวลานานเป็นสาเหตุหลักทำให้คนตาบอดมากที่สุดในโลก โดย WHO (world health organization) ได้ประมาณการไว้ว่ามี 20% ของคนตาบอดที่เกิดจากโรคต้อกระจกอันเป็นผลมาจากได้รับรังสียูวี นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่ออันเกิดจากการเกิดอนุมูลอิสระเนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเลต [8] ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่งที่ต้องติดตามการเปลี่ยนแปลงและตรวจสอบอย่างเป็นระบบในช่วงความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเลตเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับสุขภาพอนามัยของมนุษย์รวมถึงระบบนิเวศ

รังสีอัลตราไวโอเลตมีความสัมพันธ์กับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั้งนี้เพราะรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นส่วนหนึ่งของรังสีดวงอาทิตย์ [9-10] เมื่อผ่านบรรยากาศลงมายังพื้นโลกบางส่วนถูกดูดกลืนโดยองค์ประกอบของบรรยากาศเช่นโอโซน โมเลกุลอากาศ ไอน้ำ และที่เหลือจะถูกดูดกลืนและกระเจิงโดยฝุ่นละอองในอากาศ โดย Phokate [11] พบว่าการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์มีความสัมพันธ์ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับข้อมูลปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้และข้อมูลทัศนวิสัย ดังนั้นความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเลตที่มาถึงพื้นโลกจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามองค์ประกอบของบรรยากาศและการเปลี่ยนแปลงทางอุตุนิยมวิทยาของบรรยากาศ ในการศึกษาความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเลตที่เข้ามายังพื้นโลกจำเป็นต้องใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลระยะยาวมาวิเคราะห์ให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงเพื่อสามารถประมาณค่าได้ รวมทั้งศึกษา

ความสัมพันธ์กับข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาต่าง ๆ มาประกอบในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณค่าให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องแม่นยำสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ เทคโนโลยีชีวภาพ งานด้านสุขภาพอนามัยและงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

วิธีดำเนินงาน

การประมาณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตใช้ข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดในช่วงความยาวคลื่น 290 nm ถึง 390 nm ความละเอียดในการวัด 0.01 mW/cm^2 ในช่วง 1 $\mu W/cm^2$ – 40 mW/cm^2 มีความไวแสงสัมพัทธ์ที่ความยาวคลื่น 365 nm คัดเลือกข้อมูลในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ (Cloudless sky) โดยพิจารณาจากข้อมูลปริมาณเมฆปกคลุม (Cloud cover) ในวันเดียวกันซึ่งเมฆในวันดังกล่าวจะต้องมีปริมาณน้อยกว่า 1 ส่วนจากท้องฟ้าทั้งหมด 10 ส่วน [12-13] ร่วมกับข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ และข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีอุตุนิยมวิทยา 4 สถานี คือ สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่ (18.78 °N, 98.98 °E) สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดอุบลราชธานี (15.25 °N, 104.86 °E) สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดสงขลา (7.2 °N, 100.6 °E) และสถานีอุตุนิยมวิทยากรุงเทพมหานคร (13.73 °N, 100.56 °E) ระหว่างปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2562 ในการสร้างแบบจำลองและใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2563 สำหรับทดสอบแบบจำลอง โดยรังสีอัลตราไวโอเลตมีความสัมพันธ์กับความเข้มรังสีรวมดวงอาทิตย์และมุมเซนิท (zenith angle) ของดวงอาทิตย์ ดังสมการ [14-15]

$$UV = a + b(\cos Z) + c(G/G_0) \quad (1)$$

เมื่อ UV เป็นความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต (mW/m^2)

G เป็นความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (W/m^2)

G_0 เป็นความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (W/m^2)

Z เป็นมุมเซนิทของดวงอาทิตย์

a, b และ c เป็นค่าคงที่

ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (G_0) และโคไซน์ของมุมเซนิท (cos Z) หาได้จากสมการ [9]

$$G_0 = \frac{24}{\pi} I_{SC} E_0 \cos\phi \cos\delta [\sin\omega_s - \frac{\pi}{180}\omega_s \cos\omega_s] \quad (2)$$

$$\cos Z = \sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos\omega \quad (3)$$

เมื่อ I_{SC} เป็นค่าคงที่สุริยะ (1,367 W/m^2)

ϕ เป็นละติจูด (องศา)

δ เป็นมุมเดคลิเนชั่น (องศา)

ω_s เป็นมุมชั่วโมงที่พระอาทิตย์ตก (องศา)

E_0 เป็นค่าแก้ความผิดพลาดของวงโคจร (-)

ปริมาณโอโซนในบรรยากาศโดยปกติจะรายงานเป็นความหนาของโอโซนรวมตามแนวดิ่งในบรรยากาศ โดยสมมติว่านำโอโซนตลอดทั้งคอลัมน์ของบรรยากาศมารวมกันที่พื้นผิวโลกที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานแล้ววัดความสูงของปริมาณโอโซนเป็นเซนติเมตร หรือวัดเป็นมิลลิ-บรรยากาศ-เซนติเมตร (milli atmosphere centimeter, m-atm-cm) หรือวัดในหน่วยดอบสัน (Dobson unit; DU) [16-17] ประเทศไทยใช้เครื่องด็อบสันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (dobson spectrophotometer) ที่สถานีอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานคร ละติจูด 13.73 °N และข้อมูลจากดาวเทียม Aura/OMI ของศูนย์โอโซนและรังสี กรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งผู้วิจัยได้นำข้อมูลเปรียบเทียบกับปริมาณโอโซนที่ได้จากข้อมูลภูมิอากาศของ Robinson [18] ที่ละติจูด 10 °N และ 20 °N พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบปีสอดคล้องกัน และปริมาณโอโซนมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและละติจูดค่อนข้างน้อย

ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศแสดงได้ในรูปของปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ (precipitable water

vapor) โดยสมมติว่าไอน้ำที่แทรกตัวอยู่ในคอลัมน์ของบรรยากาศกลั่นตัวกลายเป็นน้ำหมด [9,19] ปริมาณไอน้ำมีความสัมพันธ์กับข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศจากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนสำหรับประเทศไทยมีสถานีที่ทำการตรวจวัด 4 สถานี คือ สถานีเชียงใหม่ สถานีอุบลราชธานี สถานีสงขลา และสถานีอุตุนิยมวิทยากรุงเทพมหานคร สามารถคำนวณปริมาณไอน้ำในอากาศได้จากสมการ

$$w = -\frac{1}{\rho g}\int_{P_o}^{0}(M_P)dP \qquad (4)$$

เมื่อ w เป็นปริมาณน้ำกลั่นตัวได้ (cm)

M_p เป็นอัตราส่วนผสม (Mixing ratio) ที่ระดับความดัน P ใดๆ (-)

g เป็นความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (986.665 cm/s^2)

P_o เป็นความดันบรรยากาศที่พื้นผิวโลก (mbar)

ρ เป็นความหนาแน่นของน้ำ (g/cm^3)

ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ลดลงเป็นผลมาจากองค์ประกอบของบรรยากาศซึ่งถูกดูดกลืนโดยโอโซนและไอน้ำในอากาศ อีกทั้งถูกดูดกลืนและกระเจิงโดยฝุ่นละอองในอากาศซึ่งมีความสัมพันธ์กับข้อมูล ทัศนวิสัย ดังนั้นรังสีอัลตราไวโอเลตจึงมีความสัมพันธ์กับข้อมูลปริมาณโอโซน ข้อมูลทัศนวิสัยและปริมาณไอน้ำในอากาศ ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับนำไปประมาณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตในสถานที่ต่าง ๆ จากนั้นทดสอบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆของปี พ.ศ. 2563 ซึ่งไม่ได้ใช้ในการสร้างแบบจำลองมาทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองในรูปของความคลาดเคลื่อนรากที่สองกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error; RMSE) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดจริง ค่าที่เข้าใกล้ศูนย์แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ตามแบบจำลองมีความละเอียดถูกต้องและความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (mean bias error; MBE) เป็นค่าที่แสดงความเบี่ยงเบนเฉลี่ยระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการวัดจริง โดยค่าที่เข้าใกล้ศูนย์จะเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความถูกต้องสามารถนำไปใช้ได้

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

คัดเลือกข้อมูลในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆในช่วงปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2562 ได้จำนวน 177 ชุดข้อมูล วิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (multiple regression analysis) พบว่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก (G) กับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศ (G_0) และโคไซน์ของมุมเซนิท (cosZ) นั่นคือค่า G/G_0 มาก ความเข้มรังสี UV จะมีค่าน้อย และเมื่อมุมเซนิทมาก UV ก็จะมีค่ามาก (รูปที่ 1) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.873 ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error) เท่ากับ 1.505 เขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการ

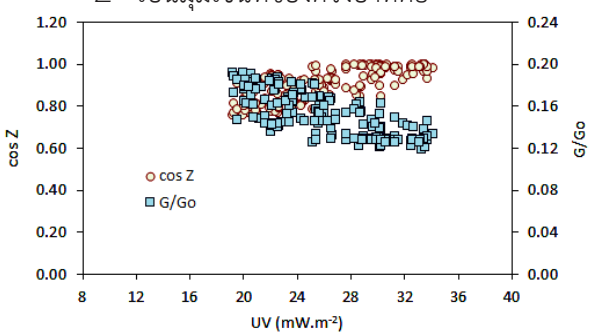
$$UV = 64.425 - 9.933(\cos Z) - 193.475(G/G_0) \qquad (5)$$

เมื่อ UV เป็นความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต (mW/m^2)

G เป็นความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (W/m^2)

G_0 เป็นความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (W/m^2)

Z เป็นมุมเซนิทของดวงอาทิตย์



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตกับอัตราส่วนความเข้มของรังสีดวง

อาทิตย์ที่พื้นโลกต่อความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกและโคไซน์ของมุมเซนิทในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ของปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2562

เมื่อใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัดมาหาความสัมพันธ์กับปริมาณโอโซน ปริมาณไอน้ำในอากาศและข้อมูลทัศนวิสัย ซึ่งเป็นข้อมูลภูมิอากาศในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ระหว่างปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2562 แสดงดังรูปที่ 2 โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่ทำหน้าที่พยากรณ์คือปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ ปริมาณโอโซนและข้อมูลทัศนวิสัยกับตัวแปรตามคือความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต พบว่ามีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงโดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.827 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 1.732 มีความสัมพันธ์ดังสมการ

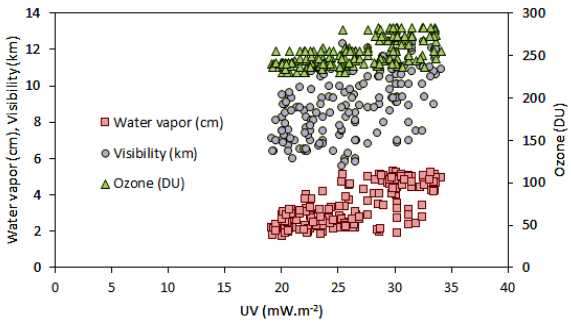
$$UV = -2.79032 + 1.511924(w) + 0.08722(Oz) + 0.208231(Vis) \quad (6)$$

เมื่อ UV เป็นความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต (mW/m^2)

w เป็นปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ (cm)

Vis เป็นข้อมูลทัศนวิสัย (km)

Oz เป็นปริมาณโอโซน (DU)



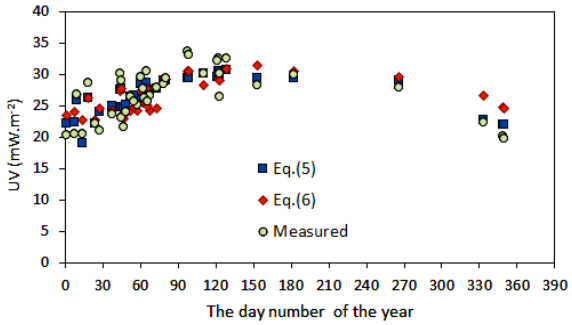
รูปที่ 2 แสดงปริมาณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตกับปริมาณไอน้ำในอากาศ ข้อมูลทัศนวิสัยและปริมาณโอโซน ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ของปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2562

ทดสอบแบบจำลอง (สมการที่ 5 และสมการที่ 6) โดยเปรียบเทียบความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากแบบจำลองกับความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัด ใช้ข้อมูลในวันเวลาและสถานที่เดียวกันที่ไม่ได้ใช้ในการสร้างแบบจำลองซึ่งเป็นข้อมูลในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆของปี พ.ศ. 2563 ทั้ง 4 สถานี จำนวน 39 ชุดข้อมูล

แบบจำลองสมการที่ 5 ซึ่งได้จากการนำความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัดมาหาความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกกับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศและโคไซน์ของมุมเซนิท พบว่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัดมีค่าใกล้เคียงและสอดคล้องกันกับค่าที่คำนวณ โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นทางบวกต่อกัน มีการกระจายตัวในรอบปีสอดคล้องกัน แบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่วัดได้ 5.55 % (รูปที่ 3 และรูปที่ 4) ซึ่งได้ค่า RMSE เท่ากับ 2.180 mW/m^2 ค่า MBE เท่ากับ -0.097 mW/m^2 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันเท่ากับ 0.921 สอดคล้องกับ Aron Habte et al., [20] ที่หาแบบจำลองในการประมาณค่ารังสีอัลตราไวโอเลตโดยใช้ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นราบร่วมกับมวลอากาศซึ่งมีความสัมพันธ์กับมุมเซนิท และเมื่อทดสอบแบบจำลองแสดงให้เห็นว่ารังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้อยู่ในข้อตกลงที่ดีกับค่าที่ได้จากการวัด และ Khogali & Al-Bar [21] ได้หาความสัมพันธ์ของรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นโลก รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศ มุมเซนิทและปริมาณโอโซนกับรังสีอัลตราไวโอเลตพบว่ามีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง

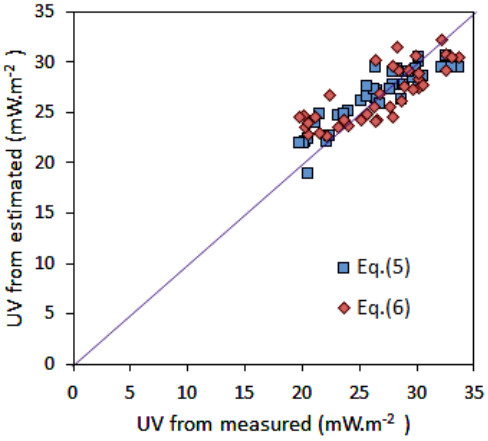
แบบจำลองสมการที่ 6 เป็นการนำความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตจากการวัดมาหาความสัมพันธ์กับปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ ปริมาณโอโซนและข้อมูลทัศนวิสัย พบว่ามีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง แบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่วัดได้ ร้อยละ 7.82 (รูปที่ 3 และรูปที่ 4) โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 2.749 mW/m^2 ค่า MBE เท่ากับ 0.293 mW/m^2 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน

เท่ากับ 0.853 สอดคล้องกับการวิจัยของ Aron Habte et al., [20] พบว่ารังสีอัลตราไวโอเลตมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของบรรยากาศ เช่น ฝุ่นละออง ปริมาณไอน้ำ ปริมาณโอโซน และลักษณะของพื้นผิวเฉพาะที่ โดย El-Hadidy *et al.*, [22] พบว่ารังสีอัลตราไวโอเลตจะมีความสัมพันธ์กับฝุ่นละอองซึ่งฝุ่นละอองในอากาศมีความสัมพันธ์กับข้อมูลทัศนวิสัย และสอดคล้องกับ Nunez *et al.*, [23] ที่พบว่ารังสีอัลตราไวโอเลตที่เข้ามายังพื้นโลกมีค่าลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์และยังมีค่าแตกต่างกันตามวัน เวลา ละติจูด ปริมาณเมฆและฝุ่นละออง



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงในรอบปีของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตจากการวัดและจากแบบจำลองภายใต้สภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ของปี พ.ศ. 2563

เมื่อทดสอบ t-test แบบ Dependent จากแบบจำลองทั้งสองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัด พบว่าข้อมูลจากแบบจำลองทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันกับข้อมูลที่ได้จากการวัดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P>0.05) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันมากกว่า 0.85 ทั้งสองสมการ ซึ่งมีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างสูงมีเปอร์เซนต์ความแตกต่างร้อยละ 1.39 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความละเอียดถูกต้องในเกณฑ์ที่ยอมรับได้



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเลตจากการวัดและความเข้มอัลตราไวโอเลตที่ได้จากแบบจำลอง (สมการที่ 5 และสมการที่ 6) ภายใต้สภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ของปี พ.ศ. 2563

สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตในช่วงความยาวคลื่น 290-390 nm ที่ได้จากการวัดในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ของสถานีวัด 4 สถานี ได้แก่ สถานีจังหวัดเชียงใหม่ สถานีจังหวัดอุบลราชธานี สถานีอุตุนิยมวิทยากรุงเทพมหานคร และสถานีจังหวัดสงขลา ระหว่างปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2562 จำนวน 177 ชุดข้อมูล หาความสัมพันธ์ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าเมื่อนำความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัดมาหาความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกกับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศและโคไซน์ของมุมเซนิท ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.873 และเมื่อนำความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตจากการวัดมาหาความสัมพันธ์กับปริมาณไอน้ำกลั่นตัวได้ ปริมาณโอโซนและข้อมูลทัศนวิสัยพบว่ามีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงโดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.827 เมื่อทดสอบแบบจำลองโดยเปรียบเทียบความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากแบบจำลองกับความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัด โดยใช้ข้อมูลวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆของปี 2563 จำนวน 39

ชุดข้อมูล ในวันเวลาและสถานที่เดียวกันที่ไม่ได้ใช้ในการสร้างแบบจำลอง พบว่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่คำนวณได้จากแบบจำลองทั้งสองมีค่าใกล้เคียงและสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัดโดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นทางบวกต่อกัน การกระจายตัวในรอบปีสอดคล้องกัน ข้อมูลจากแบบจำลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันมากกว่า 0.85 ซึ่งมีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างสูงแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ตามแบบจำลองมีความละเอียดถูกต้องในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย ขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลผิวพื้น ข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนและข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สำหรับการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Alexandra Amaro-Ortiz, Betty Yan and John A. D'Orazio. (2014). Ultraviolet radiation, aging and the skin: prevention of damage by topical cAMP manipulation, *Molecules*, vol.19(5), pp. 6202–6219.

[2] Hanneman, K.K., Cooper K.D., and Baron, E.D. (2006), Ultraviolet immune-suppression Consequences, *Dermatologic Clinics,* vol.24(1), pp. 19–25.

[3] Renata Chadyšiene and Aloyzas Girgždys. (2009). Assessment of ultraviolet (UV) radiation from technical Sources, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management,* vol.17(3), pp. 164–170.

[4] Häder, D.P., Helblin, E.W., Williamson C.E., and Worrest, R.C. (2011). Effects of UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with climate change, *Photochem Photobiol. Sci*., vol.10, pp. 242–260.

[5] Elwood, J.M., and Jopson, J. (1997). Melanoma and sun exposure: an overview of published Studies, *Journal international du cancer,* vol.73(2), pp. 198–203.

[6] Krutmann, J., Morita, A., and Chung, J.H. (2012). Sun exposure: what molecular photo dermatology tells us about its good and bad sides, *The Journal of investigative dermatology*, vol.132(3), pp. 976– 984.

[7] Godar, D.E. (2005). UV doses worldwide, *Photochem Photobiol,* vol.81(4), pp. 736-49.

[8] Yin, B., and Jiang, X. (2013). Telomere shortening in cultured human dermal fibroblasts is associated with acute photodamage induced by UVA irradiation, *Postepy dermatologii alergologii,* vol.30(1), pp. 13–18.

[9] Iqbal, M. (1983). An Introduction to Solar Radiation, Academic Press, New York.

[10] Pinazo, J.M., Canada, J., and Bosca, V. (1995). A new method to determine Angstrom's turbidity coefficient: Its application for Valencia, *Solar Energy,* vol.54(4), pp. 219-226.

[11] Phokate, S. (2020). Estimation of Extinction Coefficient of Solar Radiation under Cloudless Sky in the Atmosphere of Thailand, *Burapha Science Journal*, vol.25(3), pp. 1083-1093.

[12] Boland, J., McArthur, L.C., and Luther, M. (2001). Modelling the diffuse fraction of global solar radiation on a

horizontal surface, *Environmetrics,* vol.12, pp. 103-116.

[13] Ineichen, P. (2006). Comperison of eight clear sky broadband models against 16 independent data banks, *Solar Energy*, vol.80(4), pp. 468-478.

[14] Khogali, A., and Al-Bar, O.F. (1992). A study of solar ultraviolet radiation at Makkah solar Station, *Solar Energy,* vol.48(2), pp. 79-87.

[15] Barbero, F.J., Lopez, G., and Batlles, F.J. (2006). Determination of daily solar ultraviolet radiation using statistical models and artificial neural networks, *Ann. Geophys*., vol.24, pp. 2105-2114.

[16] Bojkov, R.D. (2002). Global Ozone change and possible climate implication, *NATO ASI Series*, vol.152, pp. 303-322.

[17] Dobson, R. (2005). Ozone depletion will bring big rise in number of cataracts, *BMJ*, Vol.331(7528), pp. 1292–1295.

[18] Robinson, N. (1966). Solar radiation, Elsevier Publishing Company, New York.

[19] Garrison, J.D. (1992). Estimation of precipitable water over Australia for application to the division of solar radiation into its direct and diffuse components, *Solar Energy,* vol.48(2), pp. 89-96.

[20] Aron Habte, Manajit Sengupta, Gueymard,C.A., Ranganath Narasappa , Olivier Rosseler and David, M.B. (2019). Estimating Ultraviolet Radiation from Global Horizontal Irradiance, *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol.9(1), pp. 139-146.

[21] Khogali, A. and Al-Bar, o.F. (1992). A study of solar radiation at Makkah Solar Station, *Solar Energy*, vol.48(2), pp. 79-87.

[22] El-Hadidy, M.A., Abdel-Nabe, D.Y., and Kross, P.D. (1990). Ultraviolet solar radiation at Dhahram, Saudi Arabia. *Solar Energy*, vol.44(6), pp. 315-319.

[23] Nunez, M., Forgan, B., and Roy, C. (1994). Estimating ultraviolet radiation at the earth's Surface, *International Journal of Biometeorology*, vol.38, pp. 5-17.

ระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติควบคุมด้วยพีแอลซี

Automatic package delivery system controlled by PLC

ธนวัฒน์ ฉลาดสกุล [1*] และ บุญศวร โนนศรี [2]

[1] สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

[2] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุดรธานี 41000

*Corresponding Author: tanawat.ca@rmuti.ac.th, 097-3062942

Received 26 February 2024; Received in revised form 30 May 2024; Accepted 25 June 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์โดยนำบาร์โค้ดหรือรหัสแท่งมาประยุกต์ในการใช้งานร่วมกับระบบควบคุม ตัวเครื่องมีชั้นวางพัสดุขนาด 300 x 900 x 900 มิลลิเมตร และมีช่องเก็บพัสดุทั้งหมดจำนวน 12 ช่อง ระบบขับเคลื่อนจะใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์จำนวน 5 ตัว ในการขับเคลื่อนสายพานในแต่ละแกนสำหรับขนส่งพัสดุที่จะจัดเก็บไว้บนชั้นวางแต่ละชั้น มอเตอร์ไฟฟ้าเกียร์ใช้ขับเคลื่อนสายพานลำเลียงของระบบลำเลียง ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24 โวลต์ เป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า สายพานสามารถรองรับน้ำหนักพัสดุได้ไม่เกิน 400 กรัม เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนย้ายไปรับและส่งพัสดุจะอยู่ในช่วงเวลาที่กำหนด การทดลองเวลา จากจุดเริ่มต้นไปยังช่องเก็บแต่ละช่อง มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 0.25 นาที การทดลองจุดเริ่มต้นไปยังช่องเก็บพัสดุเพื่อนำพัสดุออกแต่ละช่อง มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 0.20 นาที และเวลาเฉลี่ยกระบวนการในระบบ พบว่าในแต่ละช่อง มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 0.28 นาที ตามลำดับ งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาใช้งานจริงและเป็นชุดสาธิตในการเรียนการสอนได้ เครื่องต้นแบบนี้มีต้นทุนการผลิตต่อเครื่อง 38,500 บาท และใช้พลังงานไฟฟ้า 0.4 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อเครื่อง

คำสำคัญ : ตัวควบคุมลอจิกที่ตั้งโปรแกรมได้ บาร์โค้ด สเต็ปเปอร์มอเตอร์ สายพานลำเลียง ระบบอัตโนมัติ

Abstract

This research aims to design and create a prototype of an automatic parcel delivery and collection system controlled by a programmable logic controller (PLC), utilizing barcodes for integration with the control system. The machine features a parcel shelf measuring 300 x 900 x 900 millimeters with a total of 12 storage slots. The drive system uses five stepper motors to operate the belts on each axis for transporting parcels to be stored on each shelf level. A gear electric motor drives the conveyor belts. The power supply consists of a 220-volt AC and a 24-volt DC source to power the electric motors. The belt can support parcel weights of up to 400 grams. The average time to move, pick up, and deliver parcels falls within the specified timeframe. The experimental time from the starting point to each storage slot has a standard deviation of no more than 0.25 minutes. The experimental time from the starting point to each slot for parcel retrieval has a standard deviation of no more than 0.20 minutes. The average

process time in the system shows that each slot has a standard deviation of no more than 0.28 minutes, respectively. This research can serve as a prototype for practical development and as a demonstration set for teaching and learning. The production cost of each prototype machine is 38,500 baht, and it consumes 0.4 kilowatts of electricity per hour per machine.

Keywords: Programmable logic controller, barcode, stepper motor, conveyor belt, automation system

บทนำ

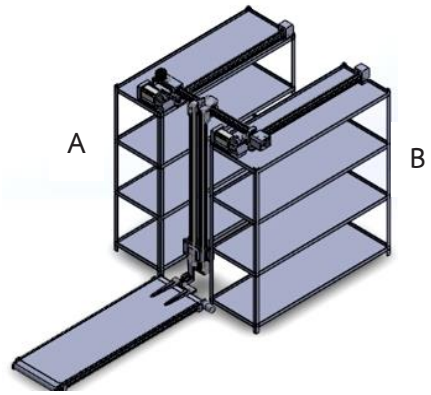
ปัจจุบัน ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตของประเทศไทยมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ โดยผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อน สาขาการผลิตอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นคิดเป็น 16.8 % ของโครงสร้างเศรษฐกิจในไตรมาศที่ 2 ของปี 2564 [1] จากแนวโน้ม การขยายตัวอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว ส่งผลให้หลายองค์กรต้องผลักดันการพัฒนาองค์กรอยู่ตลอด ในทุกด้าน โดยเฉพาะการบริหารจัดการระบบในโรงงานควรยกระดับด้วยการนำ เทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ทันสมัย ปัจจุบันการบริหารจัดการคลังสินค้ามีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อกิจกรรมการบริหารและการจัดการคลังสินค้าส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนโลจิสติกส์และประสิทธิภาพในการตอบสนองความต้องการลูกค้าทั้งในมิติของต้นทุน มิติเวลา และมิติความน่าเชื่อถือในการดำเนินธุรกิจ [2] คลังสินค้าจึงเป็นจุดเชื่อมต่อทางกลยุทธ์ระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภค การจัดการคลังสินค้าที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สามารถเพิ่มโอกาสในการแข่งขันในตลาด [3] เพื่อเพิ่มศักยภาพในทางแข่งขันกับคู่แข่ง ทางธุรกิจปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการบริหารจัดการคลังสินค้าไม่ว่าจะเป็นโปรแกรมการจัดการบริหารคลังสินค้าหรือแม้แต่ระบบคลังสินค้าอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกระบวนการและกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในคลังสินค้า [4] ภายในองค์กรและการให้บริการ ระบบที่ใช้ในการจัดเก็บสินค้าซึ่งจะอำนวยความสะดวกในการจัดเก็บสินค้าให้แก่คลังสินค้านั้นๆ และประการสำคัญคือช่วยลดต้นทุน และมีความปลอดภัยในตัวสินค้า [5] การแยกประเภทสินค้าการจัดทำป้ายของประเภทสินค้าและขีดเส้นแบ่งพื้นที่ในการจัดวางสินค้าและทฤษฎีบริหารความปลอดภัย 5ส. เพื่อใช้ในการจัดระเบียบห้องคลังสินค้า [6] ข้อมูลสินค้าจะถูกบันทึกในฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์และแสดงข้อมูลสินค้าผ่านแผนผังควบคุมเสมือนจริง [7] ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการจัดเก็บและเรียกใช้ของอุปกรณ์จะพิจารณาจากลักษณะโครงสร้างของชั้นที่ใช้จัดเก็บ ความเร็วในการเคลื่อนของอุปกรณ์ ทั้งในแนวดิ่งและแนวราบ [8] จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับระบบอัตโนมัติในการจัดเก็บสินค้า รวมทั้งเอกสารและตำราที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีการจัดเก็บพัสดุเป็นหนึ่งในระบบการจัดเก็บสินค้าที่หน่วยงานต่างๆ เช่น ไปรษณีย์ บริษัท โรงงาน สถานประกอบการ ที่มีความจำเป็นที่ต้องใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วย เพื่อให้การจัดเก็บเกิดประสิทธิภาพ แม่นยำ ประหยัดเวลา ลดความผิดพลาด ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาร่วมในการทำงาน จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ผู้วิจัย มีแนวคิดในการทำชุดสาธิตระบบระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติ ซึ่งมีราคาไม่สูง เป็นการบูรณาการอุปกรณ์ พีแอลซี และไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานร่วมกัน เพื่อออกแบบแผงควบคุมระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ ใช้ในการเรียนการสอน ให้นักศึกษาได้มองเห็นการทำงานจริงของระบบอัตโนมัติ เพื่อให้การเรียนการสอนเกิดประสิทธิผลมากสุด โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบ (prototype) ของระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยพีแอลซี โดยนำบาร์โค้ดหรือรหัสแท่งมาประยุกต์ในการใช้งานร่วมกับระบบ และไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำเป็นชุดคำสั่งควบคุมระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติ โดยประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ คือ ชั้นวางสินค้าซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 12 ช่อง ชุดกล่องควบคุมและชุด

แขนกลหรือชุดขนส่ง โดยเพื่อให้ทราบถึงหลักการทำงานของชุดระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติ โดยการจับชิ้นงานหรือพัสดุจากจุดหลักหรือจุดรับพัสดุ เพื่อวางที่ชั้นวางพัสดุแบบอัตโนมัติ และขณะเดียวกันก็ทำงานโดยการจับชิ้นงานหรือพัสดุจากชั้นวางพัสดุเพื่อวางที่จุดรับพัสดุ โดยการทำงานทั้งสองอย่างนี้ด้วยการสแกนบาร์โค้ดโดยใช้พีแอลซีควบคุมระบบรวมไปถึงอุปกรณ์หลัก คือ มอเตอร์ เพื่อวางในช่องพัสดุหรือสินค้าที่ผู้ใช้งานต้องการ

วิธีดำเนินงาน

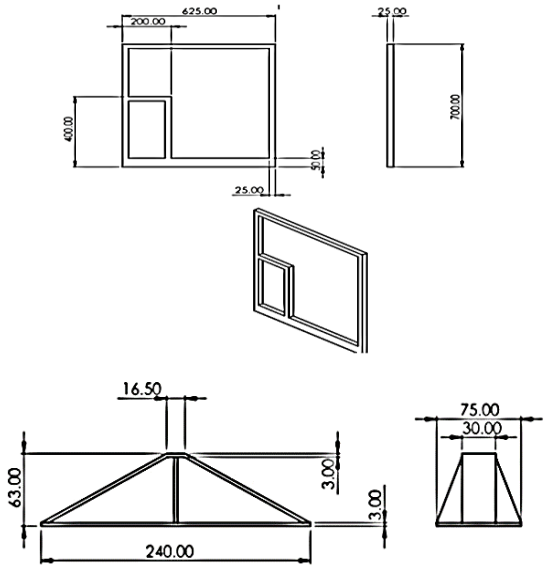
1. การออกแบบโครงสร้าง

โครงงาน ซึ่งประกอบไปด้วย ชั้นวางพัสดุที่เป็นสองฝั่ง มีชุดรับส่งและ Conveyor ออกแบบโครงสร้าง โดยมีขนาด 625 x 400 x 25 มิลลิเมตร ใช้เหล็กฉากความหนา 25 x 25 มิลลิเมตร



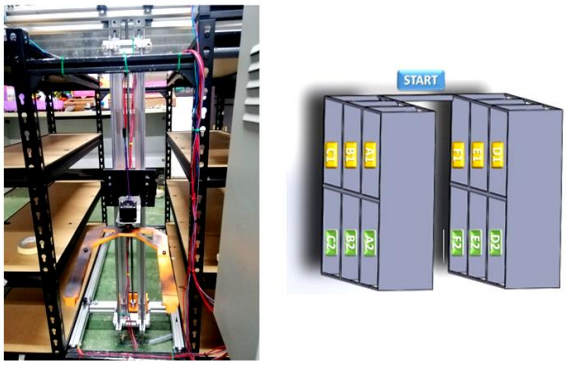
รูปที่ 1 ภาพโครงสร้างระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติ

รูปที่ 1 เป็นโครงสร้างประกอบไปด้วยชั้นวางพัสดุที่เป็นสองฝั่ง คือ ฝั่ง A และ ฝั่ง B มีชุดรับส่ง และ Conveyor ในระบบการรับส่งพัสดุ โดย Gripper ในจะใช้เป็นการรองรับพาเลทและรองรับสิ่งของเพื่อใช้ในการขนย้ายสินค้า พัสดุ ไปในตำแหน่งที่ต้องการ



รูปที่ 2 การออกแบบเครื่องรับส่งพัสดุ

รูปที่ 2 การออกแบบขาค้ำสายพานหน้า โดยมีขนาด 50 x 100 x 582.75 มิลลิเมตร โดยใช้ เหล็กรูปตัวซีขนาด 579.75 x 49 x 98 มิลลิเมตร และเหล็กแผ่นหนา 3 มิลลิเมตร ขนาด 49 x 98 มิลลิเมตร ในการออกแบบ



รูปที่ 3 สร้างโครงสร้างระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติ

รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งของช่องพัสดุ เพื่ออ้างอิงในการทดสอบเพื่อเทียบกับเวลาในการจัดเก็บพัสดุ

2. การสแกนบาร์โค้ด

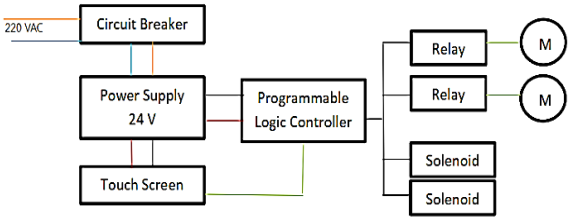
การใช้รหัสแท่งในการสแกนบาร์โค้ด ในงานวิจัยนี้เลือกใช้รหัสแท่งในการอ่านรหัสข้อมูล ซึ่งทำงานได้รวดเร็วและช่วยลดความผิดพลาดในการคีย์ข้อมูลได้มากโดยไม่ต้องกดปุ่มที่แป้นพิมพ์ และบาร์โค้ดยังสามารถใช้เป็นข้อมูลในโปรแกรมอ่านค่าบาร์โค้ดในคอมพิวเตอร์เพื่อสั่งงานให้ระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติทำงาน ทำการจัดเก็บข้อมูลสารสนเทศ แสดงผลตรวจสอบ และประมวลผลในด้านอื่นๆ คิวอาร์โค้ด (QR Code) สามารถรองรับการจัดเก็บลักษณะไฟล์ได้หลากหลาย เช่น เจเพ็ก (JPEG) พีดีเอฟ (Portable Document Format) อินโฟกราฟิก (Infographic) หรือจัดทำเป็นโปสเตอร์ จัดเก็บไว้ใน QR Code เพื่อให้ผู้ใช้สามารถรับข้อมูลได้รวดเร็วและนำข้อมูลบันทึกลงสมาร์ทโฟน (Smart Phone) [9] สำหรับชนิดรหัสแท่งที่เลือกใช้คือชนิด EAN 1 เป็นรหัสแท่งแบบ EAN ที่เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กที่ได้รับการยอมรับ

รูปที่ 4 แสดงรหัสแท่งในการสแกนบาร์โค้ด

รูปที่ 4 แบบรหัสแท่งที่ได้จะแสดงตัวเลขสุดท้ายของรหัสแท่งแต่ละชุดไม่เหมือนกัน ทั้งนี้เนื่องจากในรหัสแท่งแต่ละชุดนั้นจะมีการตรวจสอบความถูกต้องจากเลขหลักสุดท้ายโดยสามารถคำนวณได้จากหลักการตรวจสอบของหน่วยงาน ISBN (International Standard Book Number) นำมาใช้ในการอธิบายวิธีการคำนวณการตรวจสอบเลข 13 หลักเรียกการตรวจสอบนี้ว่า ISBN-13 check digit โดยใช้เลขคณิตศาสตร์ modular arithmetic

3. การออกแบบระบบไฟฟ้า

การออกแบบวงจรไฟฟ้าของระบบใช้ไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ ต่อผ่านสะพานไฟ (Circuit Breaker) เข้าไปที่สวิตช์ชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย 24 โวลต์ เพื่อนำไปใช้ในหน้าจอทัชสกรีนและโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC) หน้าจอทัชสกรีนจะสั่งไปที่โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC) จะสั่งงานไปยังรีเลย์ (Relay) เพื่อเปิดใช้งานมอเตอร์ขับสายพานลำเลียงและโปรแกรมเมเบิลลอจิก-คอนโทรลเลอร์ (PLC) สามารถสั่งงานโซลินอยด์วาลว์เพื่อทำให้กระบอกลมเลื่อนเข้าหรือออก



รูปที่ 5 แผนภาพการเดินสายไฟ (Diagram Wiring)

ในการออกแบบโครงสร้างระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติ ควบคุมด้วยพีแอลซี ผู้วิจัยได้ศึกษาลักษณะของระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมจากเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการออกแบบลักษณะตัวเครื่อง ซึ่งใช้โปรแกรม Solid Work ในการออกแบบเครื่องและส่วนประกอบต่าง ๆ ของโครงงาน เช่น อุปกรณ์ตัวยึดมอเตอร์ อุปกรณ์ที่เป็นตัวยึดระหว่างชุดรับส่งกับตัวชั้น อุปกรณ์ตัวยึดอลูมิเนียมโปรไฟล์ และอุปกรณ์มือยกในส่วนของตัวรับส่งและออกแบบจอทัชสกรีนเขียนโปรแกรมโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC) หน้าจอทัชสกรีนสั่งไปที่โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC) จะสั่งงานไปยังรีเลย์ (Relay) เพื่อเปิดใช้งานมอเตอร์ขับสายพานลำเลียง การเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นแผงควบคุมในส่วนของแขนกลจะแบ่งตามแนวแกนซึ่งมีทั้งหมด 3 แกน คือ แกน X แกน Y และแกน Z [10]

4. การเขียนโปรแกรมการควบคุมระบบขนส่งพัสดุอัตโนมัติ

โปรแกรมควบคุมในระบบ เป็นการภาษาซีในโปรแกรม Arduino และใช้เป็น Arduino Nano เพื่อขับ Stepper Motor ข้อดีของมอเตอร์ประเภทนี้คือสามารถกำหนดตำแหน่งของการหมุนได้อย่างแม่นยำด้วยองศาหรือระยะทาง [11] การเขียนโปรแกรม Arduino และใช้เป็น Arduino Nano เพื่อขับ Stepper Motor ซึ่งข้อดีของมอเตอร์ประเภทนี้คือสามารถกำหนดตำแหน่งของการหมุนได้อย่างแม่นยำด้วยองศาหรือระยะทาง โดยการใช้งาน Stepper Motor นั้น ไม่สามารถใช้งานหรือทำงานได้เอง ต้องมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการขับเคลื่อนมอเตอร์นั้นคือ Stepper Motor Drive และตัว Controller ซึ่งโปรแกรมการใช้งาน แสดงดังรูปที่ 6

```
#include "DriveStepMotor.h"

#define PUL_Signal_x 3
#define Dri_Signal_x 2
#define PUL_Signal_y 5
#define Dri_Signal_y 4
#define PUL_Signal_z 6
#define Dri_Signal_z 7
#define PUL_Signal_s 9
#define Dri_Signal_s A0
#define ENA_Signal 8
#define Cov 13
#define Cov_Dir 10
```

การประกาศค่าตัวแปรของแต่ละแนวแกน

รูปที่ 6 แสดงโค้ดคำสั่งประกาศค่าตัวแปร

จากรูปที่ 6 แสดงการประกาศค่าตัวแปรของแต่ละแนวแกน โค้ดคำสั่งการควบคุม Drive motor แต่ละแนวแกน โดยมีแนวแกนซ้าย ขวาและแนวดิ่ง พร้อมกับมีค่าสัญญาณต่างๆ เพื่อการปรับทดลองมอเตอร์ให้เป็นตามขอบเขต ข้อมูลที่แสดงประกอบด้วยข้อมูลรหัสแท่งหรือบาร์โค้ด วันเดือนปีและเวลาในการจัดเก็บหรือนำออก โดยเก็บเป็นไฟล์ข้อมูลต่อวัน หรือถ้าหากมีการบันทึกข้อมูลในวันถัดไป ข้อมูลจะถูกเก็บแบ่งไฟล์ของวันนั้นๆ ทำให้สะดวกในการค้นหาข้อมูลย้อนหลัง ภาษาซีมีความใกล้ชิดกับฮาร์ดแวร์มากกว่าภาษาระดับสูงอื่น ๆ โดยสามารถติดต่อกับรีจิสเตอร์และหน่วยความจำโดยตรง เช่นเดียวกับภาษาแอสแซมบลี [12]

```
  digitalWrite(Cov_Dir,LOW);
  bx++;  Serial.println(bx); delay(100);
  if(bx==1){ digitalWrite(Cov,HIGH);delay(20);}
  if(bx==30){ digitalWrite(Cov,LOW);delay(20); stat = 0xFF;}
  if((bx>=40)&&stat){
  Enable.ENABLE('H'); //(xขั้น 400)
//1
  Drirect_x.Direction('H');;
  for (int i = 0; i < 3000; i++) //1000 ระยะในการในการหมุน
  {
    Pull_x.PUL(700);
  }delay(5000);
//2
  Drirect_x.Direction('L');//(วกลอย 1000)
  for (int i = 0; i <3000; i++) //1000 ระยะในการในการหมุน
  {
    Pull_x.PUL(700);
  }delay(5000);
   stat = 0x00;
  }
}
```

รูปที่ 7 แสดงโค้ดที่รับค่าตามฟังก์ชันที่กำหนด

จากรูปที่ 7 เป็นโค้ดที่รับค่าตามฟังก์ชั่นที่กำหนด การทำงานของโปรแกรม จะรอรับค่าจาก Serial Monitor ถ้าป้อนค่า 1 โปรแกรมจะไปเรียกฟังก์ชัน Clockwise เพื่อให้ Stepping motor หมุนตามเข็มนาฬิกา ถ้าป้อนค่า 2 โปรแกรมจะทำการไปเรียกฟังก์ชัน Counter-clockwise เพื่อให้ Stepping motor หมุนทวนเข็มนาฬิกา ถ้าป้อนค่า 0 จะทำให้ Stepping motor หยุดหมุน

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของต้นแบบ

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบแกนการรับส่ง ทำการทดสอบ ดังนี้

การทดสอบความแม่นยำของคอนเวเยอร์

เป็นการทดลองหาความผิดพลาดของคอนเวเยอร์ก่อนนำไปใช้ในการเก็บพัสดุโดยวางวัสดุประเภทเหล็กติดต่อกันจำนวน 20 ชิ้น เพื่อทดสอบความแม่นยำของตำแหน่งว่ามีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด

รูปที่ 8 การทดสอบความแม่นยำของคอนเวเยอร์

จากการทดสอบเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนมุมองศาจาก 0 องศา ไปยัง 45 องศา โดยทำการทดลองไปทั้งหมด 20 ครั้ง เพื่อหาค่าเวลาในการเปลี่ยนองศาและความยาวโดยมีการทดลองทั้งหมด 4 จุด ซึ่งเวลาของแต่ละจุดค่อนข้างเร็วพอสมควรโดยที่กล่องที่ 1 มีความเร็ว 0 วินาที เพราะเป็นค่าเริ่มต้นและไม่ได้มีการเคลื่อนที่ของตัวเครื่องและกระบอกลม กล่องที่ 2 มีความเร็วเฉลี่ยคือ 3.54 วินาที กล่องที่ 3 มีความเร็วเฉลี่ยคือ 3.6 วินาที และกล่องที่ 4 มีความเร็วเฉลี่ยคือ 4.1 วินาที

จากการทดสอบพบว่า ค่าความผิดพลาดมีค่าน้อย เนื่องจากความเร็วเฉลี่ยคงที่ น้ำหนักมีค่าพอดีและสายพานลำเลียงทำด้วยยาง จึงทำให้วัสดุไม่ตกจากสายพานลำเลียง ทำให้ค่าความแม่นยำของการลำเลียงไม่มีข้อผิดพลาดและเวลาเฉลี่ย 8.66 วินาที

การทดสอบการทำงาน

การทดลองทำงานการเคลื่อนที่ของตัวรับส่งเข้าและนำพัสดุออกจากช่องจัดเก็บพัสดุให้เป็นไปตามขอบเขตได้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบการทำงานโดยนำพัสดุเข้าและออกจากช่องจัดเก็บพัสดุ

ลำดับ	Coordinate	คำสั่งจัดเก็บ	ลำดับ	Coordinate	คำสั่งจัดเก็บ
1	A1	✓	7	D1	✓
2	A2	✓	8	D2	✓
3	B1	✓	9	E1	✓
4	B2	✓	10	E2	✓
5	C1	✓	11	F1	✓
6	C2	✓	12	F2	✓

จากการทดลองระบบ ทำงานได้ตามเงื่อนไขทั้งหมด 12 ช่อง จากช่อง A1 จนถึงช่อง F2

การทดสอบเวลาการทำงานในกระบวนการเคลื่อนที่ของชุดรับส่งอัตโนมัติ

ทำการทดสอบเวลาในการทำงานของเครื่องโดยทำการทดสอบทั้งหมด 5 ครั้ง แสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 บันทึกเวลาการทดลองตัวรับพัสดุจากจุดเริ่มต้นไปยังช่องเก็บพัสดุ

จำนวนครั้ง	เวลาของตัวรับพัสดุจากจุดเริ่มต้นไปยังช่องเก็บพัสดุ (นาที)											
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2
1	3.42	3.59	2.50	3.06	2.10	2.21	3.42	4.03	2.47	3.10	2.12	2.22
2	3.41	4.02	2.45	3.08	2.05	2.19	3.35	4.00	2.51	3.12	2.11	2.23
3	3.39	4.02	2.45	3.14	2.09	2.25	3.43	3.97	2.52	3.13	2.10	2.27
4	3.37	4.00	2.48	3.13	2.05	2.26	3.36	3.98	2.52	3.17	2.10	2.23
5	3.41	3.54	2.45	3.09	2.11	2.19	3.44	4.02	2.48	3.10	2.07	2.30
เฉลี่ย	3.40	3.59	2.47	3.10	2.08	2.22	3.40	4.00	2.50	3.12	2.10	2.25
SD	0.02	0.25	0.02	0.03	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03

ลำดับตำแหน่งที่ 1 (A1) คือ ลำดับที่มีตำแหน่งใกล้กับตำแหน่งจุดเริ่มต้นมากกว่าตำแหน่ง 2 (B1) และ 3 (C1) ตามลำดับ โดยผลการทดสอบมีค่าเบี่ยงเบียนมาตรฐาน (SD) ไม่เกิน 0.25 นาที

ตารางที่ 3 บันทึกเวลาการทดลองจุดเริ่มต้นไปยังช่องเก็บพัสดุเพื่อนำพัสดุออก

จำนวนครั้ง	เวลาของตัวรับพัสดุจากจุดเริ่มต้นไปยังช่องเก็บพัสดุเพื่อนำพัสดุออก (นาที)											
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2
1	3.01	3.36	2.30	2.47	1.45	2.05	3.01	3.33	2.29	2.56	1.55	2.03
2	3.02	3.30	2.34	2.53	1.48	2.01	3.03	3.26	2.29	2.54	2.00	2.10
3	3.01	3.22	2.35	2.51	1.51	2.02	3.02	3.31	2.32	2.54	1.58	2.08
4	2.99	3.21	2.36	2.48	1.51	2.02	3.03	3.25	2.30	2.50	1.56	2.12
5	2.97	3.23	2.30	2.51	1.55	2.10	3.01	3.31	2.30	2.51	1.56	2.07
เฉลี่ย	3.00	3.30	2.33	2.50	1.50	2.05	3.02	3.29	2.30	2.53	1.57	2.08
SD	0.02	0.06	0.03	0.02	0.04	0.04	0.01	0.03	0.01	0.02	0.20	0.03

ตารางที่ 3 เป็นการบันทึกเวลาจากจุดเริ่มต้นไปยังช่องเก็บพัสดุ 12 ช่อง ทำการทดสอบช่องละ 5 ครั้ง ผลการทดสอบมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ไม่เกิน 0.02 นาที

ตารางที่ 4 สรุปเวลาเฉลี่ยกระบวนการในระบบ

คำสั่ง	ขั้นตอน	เวลาเฉลี่ย
จัดเก็บสินค้า	อยู่ในตำแหน่งเริ่มต้น หยิบพัสดุจากสถานีสแกนพัสดุไปวางยังสถานีถ่ายโอนพัสดุและกลับมายังตำแหน่งเริ่มต้น	2.46 นาที
ค้นคืนสินค้า	อยู่ในตำแหน่งเริ่มต้น หยิบพัสดุจากไปวางยังสถานีสแกนพัสดุและกลับมายังตำแหน่งเริ่มต้น	2.85 นาที
SD	0.28	

จากตารางที่ 4 คำนวณเวลาเฉลี่ยจัดเก็บสินค้าได้ 2.46 นาที ค้นคืนสินค้าได้ 2.85 นาที มีค่าเบี่ยงเบียนมาตรฐาน (SD) ไม่เกิน 0.28 นาที

ตารางที่ 5 แสดงเวลาที่ทดสอบเฉพาะเวลาจัดเก็บและค้นคืน

จำนวนทดสอบ(ครั้ง)	เวลาเฉลี่ย (นาที)	
5	จัดเก็บ	ค้นคืน
	0.244	0.246
SD	0.0014	

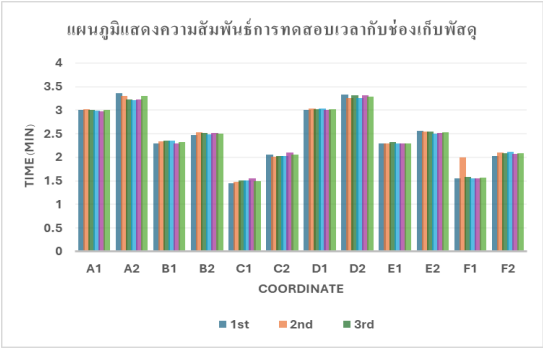
การทดสอบจากตารางที่ 5 จะได้เวลาการทำงานในกระบวนการเคลื่อนที่ของตัวรับส่งพัสดุในการจัดเก็บพัสดุที่เวลาเฉลี่ย 0.244 นาที และนำออกอยู่ที่เวลาเฉลี่ย 0.246 นาที มีค่าเบี่ยงเบียนมาตรฐาน (SD) ไม่เกิน 0.0014 นาที

จากการทดลองเวลาการทำงานในกระบวนการเคลื่อนที่ของตัวรับส่งอัตโนมัติสามารถรับส่งตามคำสั่งในขอบเขตของเวลาที่กำหนดได้ โดยเวลาเฉลี่ยในการจัดเก็บมากที่สุดอยู่ที่ 4 นาที และน้อยที่สุดอยู่ที่ 2.08 นาที เนื่องจากเป็นตำแหน่งใกล้และไกลจากจุดเริ่มต้นมากที่สุด

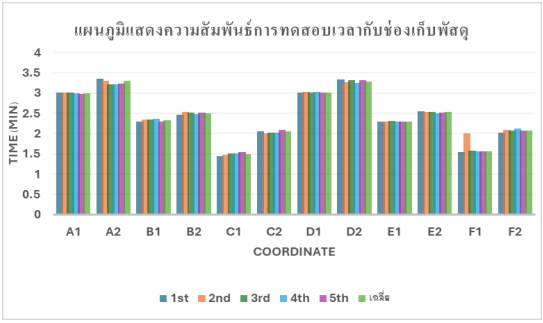
ผลการบันทึกข้อมูล สแกนพัสดุในฐานข้อมูล

ในระบบมีการติดตามพัสดุด้วยสารสนเทศ เพื่อการตรวจสอบพัสดุรับเข้า และนำออกจ่ายจากชั้นจัดเก็บ ทำให้สะดวกรวดเร็วไม่เกิดการสับสนหรือผิดพลาดในการตรวจสอบข้อมูลปัจจุบันหรือย้อนหลัง โดยทำการบันทึกด้วยโปรแกรมสั่งงานจาก Visual Studio ลงข้อมูลในโปรแกรม Microsoft Office Excel ทุกครั้งที่มีการสแกน ซึ่งในข้อมูลที่แสดงประกอบด้วยข้อมูลรหัสแท่งหรือบาร์โค้ด วันเดือนปี และเวลาในการจัดเก็บหรือนำออก โดยเก็บเป็นไฟล์ข้อมูลต่อวัน หรือถ้าหากมีการบันทึกข้อมูลในวันถัดไป ข้อมูลจะถูกเก็บแบ่งไฟล์ของวันนั้นๆ ทำให้สะดวกในการค้นหาข้อมูลย้อนหลัง

จากรูปที่ 9 และ 10 ค่าเวลาเฉลี่ย จัดเก็บสินค้าได้ 2.46 นาที ค้นคืนสินค้าได้ 2.85 นาที โดยทำการทดสอบจำนวน 5 ครั้ง จะได้เวลาการทำงานในกระบวนการเคลื่อนที่ของตัวรับส่งพัสดุในการจัดเก็บพัสดุที่เวลาเฉลี่ย 14.64 วินาที และนำออกอยู่ที่เวลาเฉลี่ย 14.76 วินาที



รูปที่ 9 แสดงแผนภูมิแท่งบันทึกเวลาการทดลองตัวรับพัสดุจากจุดเริ่มต้นไปยังช่องเก็บพัสดุ



รูปที่ 10 แสดงกราฟบันทึกเวลาการทดลองจุดเริ่มต้นไปยังช่องเก็บพัสดุเพื่อนำพัสดุออก

ตารางที่ 6 แสดงฐานข้อมูลที่จัดเก็บในคอมพิวเตอร์

NUM	COORDINATE	STATUS	TIME	DATE
1	E1	Import	10:01:43	6/3/2022
2	E2	Import	10:04:49	6/3/2022
3	D1	Import	10:07:03	6/3/2022
4	C1	Import	10:11:13	6/3/2022
5	D2	Import	10:15:18	6/3/2022
6	B1	Import	10:19:26	6/3/2022
7	F2	Import	10:22:32	6/3/2022
8	F1	Import	10:27:37	6/3/2022
9	C2	Import	10:30:42	6/3/2022
10	B2	Import	10:32:47	6/3/2022
11	A2	Import	10:36:51	6/3/2022
12	F1	Retrieve	10:41:10	6/3/2022
13	C2	Retrieve	10:45:17	6/3/2022
14	D1	Retrieve	10:49:20	6/3/2022
15	A1	Retrieve	10:55:24	6/3/2022
16	D2	Retrieve	10:58:28	6/3/2022
17	B1	Retrieve	11:00:34	6/3/2022
18	B2	Retrieve	11:04:38	6/3/2022
19	A2	Retrieve	11:07:43	6/3/2022
20	C1	Retrieve	11:14:48	6/3/2022

ตารางที่ 6 แสดงตัวอย่างฐานข้อมูลที่ได้จัดเก็บเป็นไฟล์ (Excel) ในคอมพิวเตอร์ ฐานข้อมูลที่จัดเก็บจะเป็นตำแหน่งที่เก็บพัสดุ วันที่ และเวลา ในการจัดเก็บ เพื่อความสะดวกในการสืบค้นข้อมูล

ต้นทุนการผลิตต่อเครื่อง

การคำนวณต้นทุนเป็นส่วนหนึ่งในการวางแผนและควบคุมการจัดทำงบประมาณในการซื้ออุปกรณ์เพื่อใช้ในการพิจารณาหาทางลดต้นทุนของอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นมา

- ต้นทุนของเครื่องต้นแบบ ประกอบด้วย
  1) สเต็ปเปอร์มอเตอร์ 5 ตัว
  2) มอเตอร์เกียร์ AC 1 ตัว
  3) ชุดควบควบสเต็ปมอเตอร์ 5 ตัว
  4) ชุดสายพานลำเลียง 1 ชุด
  5) บอร์ด PCB 1 ชุด
  6) ตู้อุปกรณ์ควบคุมพร้อมอุปกรณ์และสายไฟ 1 ชุด
  7) พาเลทและรางเลื่อน 1 ชุด
  8) พีแอลซี 1 ตัว
  9) อื่นๆ

  ราคารวม 38,500 บาท/เครื่อง
- การใช้ไฟฟ้าของเครื่องรับส่งพัสดุอัตโนมัติ

การใช้ไฟฟ้าของระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติ ใช้ไฟฟ้า 220 โวลต์ อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าสำหรับสร้างเครื่องระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติประกอบด้วย

1) สเต็ปมอเตอร์ ใช้ไฟฟ้า 220 โวลต์ ซึ่งจะใช้ไฟฟ้าอยู่ทั้งหมดที่ 350 วัตต์ หรือ 0.35 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง
2) มอเตอร์เกียร์ AC ใช้ไฟฟ้าอยู่ทั้งหมดที่ 50 วัตต์ หรือ 0.05 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง

ดังนั้น การใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของเครื่องเท่ากับ 400 วัตต์ หรือ 0.4 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อเครื่อง

สรุป

จากการดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติควบคุมด้วยพีแอลซี ระบบทำงานได้ตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการ ใช้การควบคุมด้วยจอทัชสกรีนได้โดยผ่านโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถนำมาสรุปผลได้ดังนี้

การหาประสิทธิภาพของระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติ ควบคุมด้วยพีแอลซีทำการทดสอบ 3 ลักษณะ โดยสรุปการทดสอบโครงงานได้ดังนี้

- การทำงานในกระบวนการเคลื่อนที่ของตัวรับส่งอัตโนมัติ โดยมีการเลื่อนแกนทางซ้าย การเลื่อนแกนทางขวา การเลื่อนของแกนในแนวดิ่ง และแกนชุดรับส่ง ที่ขับเคลื่อนด้วยสเต็ปมอเตอร์ มีการเลื่อนในแต่ละระนาบได้ตามคำสั่งโปรแกรมสามารถทำงานได้ 90 เปอร์เซ็นต์ เนื่องมาจากโปรแกรมมีการประมวลเป็นไปอย่างราบเรียบ
- จากการนำระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติ ควบคุมด้วยพีแอลซีได้ทำการทดสอบเวลาการทำงานในกระบวนการเคลื่อนที่ของชุดรับส่งอัตโนมัติ โดยแบ่งการทดสอบเวลาได้ 3 แบบ แบบแรก คือทดสอบเวลาการนำพัสดุเข้าในชั้น แบบที่สอง คือการทดสอบเวลาการนำออกหรือค้นคืนพัสดุออกจากชั้น และแบบที่สาม คือการทดสอบเวลาการทำงานของชุดรับส่งตั้งแต่จุดเริ่มต้น สามารถนำเข้านำออกตามเวลาขอบเขตที่กำหนด ไม่เกิดความสับสนหรือผิดพลาด โดยการทดลองเวลาตัวรับพัสดุทั้งหมด 12 ช่อง จากจุดเริ่มต้นไปยังช่องเก็บ (ตารางที่ 2) พบว่าในแต่ละช่อง มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 0.25 นาที การทดลองจุดเริ่มต้นไปยังช่องเก็บพัสดุเพื่อนำพัสดุออก (ตารางที่ 3) พบว่าในแต่ละช่อง มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 0.20 นาที และเวลาเฉลี่ยกระบวนการในระบบ (ตารางที่ 4) พบว่าในแต่ละช่องมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 0.28 นาที ตามลำดับ
- จากการนำระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติ ควบคุมด้วยพีแอลซี ได้ทำการเก็บผลข้อมูลการสแกนพัสดุในฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์ ซึ่งสรุปได้ข้อมูลหลักดังนี้ ข้อมูลวันที่ และเวลา ข้อมูลบาร์โค้ดของกล่องพัสดุ ซึ่งถูกเก็บไว้เป็นไฟล์เพื่อใช้ในการดูข้อมูลย้อนหลัง หรือค้นหาข้อมูลย้อนหลังได้สะดวกรวดเร็ว
- ข้อจำกัดการทำงานของต้นแบบคือ จำนวนช่องในการเก็บพัสดุ มี 12 ช่องเท่านั้น เนื่องจากเป็นการพัฒนาเป็นต้นแบบ และน้ำหนักพัสดุที่ใช้ทดสอบ ไม่ควรเกิน 400 กรัม เนื่องจากถ้าน้ำหนักพัสดุน้ำหนัก

มากเกินจะทำให้การเลื่อนของสายพานและเวลาในการรับและส่งพัสดุจะใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น โดยเครื่องต้นแบบเป็นการตรวจสอบโดยการสแกนบาร์โค้ดเท่านั้น ไม่สามารถใช้กับบาร์โค้ด 2 มิติ ประเภท Stack ประเภท Matrix หรือเรียกว่า คิวอาร์โค้ด (QR Code) ได้ ทำให้ไม่สามารถเข้าไปถึงแหล่งข้อมูลที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลหรือตรวจสอบแหล่งข้อมูลโดยใช้ Smart Phone, iPad, iPhone, Tablet ได้

ข้อเสนอแนะ

- ในการพัฒนาครั้งต่อไป โครงสร้างระบบรับส่งพัสดุอัตโนมัติที่ใช้ในการเลื่อนแต่ละแนวแกนควรเป็นลิเนียร์แบบเหลี่ยมแทนหลีดสกรูในแนวดิ่ง เพื่อประสิทธิภาพในการเคลื่อนชุดรับส่งพัสดุให้มีความเสถียรมากขึ้น

- การออกแบบบอร์ดควบคุมในตู้ควบคุมควรออกแบบให้ใช้บอร์ด Arduino Mega ได้ด้วย เนื่องจากบอร์ดดังกล่าวมีการจุความจำได้มากกว่าบอร์ด Arduino Nano

- ควรปรับเปลี่ยนมอเตอร์ตำแหน่ง Fork (มือยก) จากสเต็ปมอเตอร์ (Stepper motor) เป็นเซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor) เพื่อระบุตำแหน่งได้แม่นยำมากกว่า

- ควรพัฒนาการสแกนข้อมูลเป็นแบบ Matrix หรือ เรียกว่า คิวอาร์โค้ด (QR Code) จะทำให้การเก็บข้อมูลได้มากและรวดเร็วขึ้น สามารถประยุกต์กับ Smart Phone, iPad, iPhone, Tablet เพื่อเข้าถึงแหล่งข้อมูลที่เก็บไว้ได้สะดวก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนการศึกษา จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2564. เศรษฐกิจไทยไตรมาสที่สองของปี 2564 และแนวโน้มปี 2564. เข้าถึงจาก https://www.nesdc.go.th/ewt_dl_link.php?nid=11736

[2] ธนาคารแห่งประเทศไทย.2561. รายงานภาวะเศรษฐกิจไทย 2561.

[3] โอฬาร กิตติธีรพรชัย, นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี 2013. ระบบการจัดการคลังสินค้า. เข้าถึงจาก http://www.ej.eng.chula.ac.th/thai/index.php/ej/article/view/260/122. (8 มีนาคม 2564).

[4] R. L. Harmon, Reinventing the Warehouse, Word-Class Distribution Logistics. New York, NY: The Free Press, 2001.

[5] ไพรฑูรย์ พูลสุขโข. 2447. การจัดเก็บคลังสินค้าอัตโนมัติ. (ม.ป.ท.).

[6] นพพร ดีทุม. 2550. การศึกษากระบวนการในการจัดการคลังสินค้า. (ม.ป.ท.)

[7] ปริญวัฒน์ บุญสิงห์. 2559. การออกแบบและสร้างต้นแบบระบบจัดเก็บและค้นคืนอัตโนมัติ นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[8] ทิวากร แก้วศรี. 2556. ระบบจัดเก็บและเรียกคืนวัสดุอัตโนมัติ. เข้าถึงได้จาก: http://thiwakorn29.blogspot.com/2013/03/blog-post_8684.html (6 มกราคม 2564).

[9] จิณห์นิภา แสงสุข 2565. เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ดกับการประยุกต์ใช้ในชีวิตวิถีใหม่. วารสารบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรามคำแหง.ปีที่ 6 ฉบับที่ 2.

[10] นิกร ศรีสุนทร และ รัชพลปิ่นน้อย. 2553. การออกแบบจำลองคลังสินค้าแบบกึ่งอัตโนมัติ กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[11] ประภาส สุวรรณเพชร, เรียนรู้และลองเล่น Arduino. พิมพ์ครั้งที่ 1. ชัยภูมิ : วิทยาลัยเทคนิคชัยภูมิ, 2559.

[12] กิตติชัย ชีวาสุขถาวร. 2550. ภาษาซี ทีละก้าว. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: เคทีพี คอม แอนด์ คอลซัล.

การสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนด้วยปฏิกิริยารีดักชันภายใต้สภาวะการฉายแสงยูวี
SYNTHESIS OF GOLD NANOPARTICLES BY REDUCTION UNDER UV IRRADIATION

ยุวพร อุปปะ[1*], ณัฐมน หนูพวก[1] และ วิเชียร แสงอรุณ[1]

[1] สาขาวิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

*Corresponding Author: Yuwaporn.up@rmuti.ac.th, 091-419-9653

Received 29 April 2024; Received in revised form 17 June 2024; Accepted 28 June 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนโดยใช้โซเดียมซิเตรท ($Na_3C_6H_5O_7$) เป็นตัวรีดิวซ์ในการเกิดรีดักชันของกรดคลอโรออริก ($HAuCl_4$) ภายใต้สภาวะการฉายแสงยูวี (UV irradiation) ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณของตัวรีดิวซ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์มีผลต่อการเกิดและขนาดของอนุภาคทองคำระดับนาโน โดยความเข้มข้นของโซเดียมซิเตรทที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงยูวีที่กำลังไฟ 10 วัตต์ คือ 38.8 มิลลิโมลาร์ ที่ปริมาตร 0.3 และ 0.6 มิลลิลิตร อย่างไรก็ตาม สภาวะดังกล่าวนี้ไม่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงธรรมชาติ

คำสำคัญ: อนุภาคทองคำระดับนาโน โซเดียมซิเตรท การฉายแสงยูวี

Abstract

This research presents a synthesis of gold nanoparticles by using sodium citrate ($Na_3C_6H_5O_7$) as a reducing agent for the reduction of chloroauric acid ($HAuCl_4$) under UV irradiation. The results showed that the content of sodium citrate in the synthesis had an effect on the formation and size of gold nanoparticles. The optimal concentration of sodium citrate for the synthesis of gold nanoparticles under UV irradiation at 10 W in this work was 38.8 mM with volumes of 0.3 and 0.6 mL. However, such conditions were not suitable for the synthesis of gold nanoparticles under natural light.

Keywords: gold nanoparticles, sodium citrate, UV irradiation

บทนำ

ทองคำขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตร พบว่าจะมีสีที่แตกต่างจากทองคำโดยทั่วไปที่มีสีเหลืองทอง เนื่องมาจากการดูดกลืนแสงในช่วงสีน้ำเงิน แต่ทองคำอนุภาคระดับนาโนเมตรซึ่งมีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก ขนาดของความยาวคลื่นแสงที่มาตกกระทบจึงทำให้เกิดเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า เซอร์เฟสพลาสมอน เรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance, SPR) ซึ่งทำให้ทองคำที่มีอนุภาคระดับนาโนเมตรดูดกลืนแสงในช่วงสีเขียว (มีค่าการดูดกลืนแสงประมาณ 520 นาโนเมตร) ส่งผลทำให้อนุภาคทองคำระดับนาโนเมตรมีสีแดงจนถึงม่วงและสีฟ้า ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคโดยอนุภาคทองคำที่มีขนาดเล็กที่สุดจะมีสีแดง และจะเรียงลำดับขึ้นมาเรื่อยๆ จนถึงสีม่วง สีฟ้า และเป็นสีเหลืองทอง [1-2]

อนุภาคทองคำระดับนาโน gold nanoparticles, AuNPs) เป็นผลผลิตหนึ่งที่ได้จากนวัตกรรมทางนาโนเทคโนโลยีที่เข้ามามีบทบาทในงานด้านเคมีวิเคราะห์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ ทองคำในขนาดที่เป็นอนุภาคนาโน จะทำให้คุณสมบัติมีความโดดเด่น ได้แก่ คุณสมบัติเชิงแสงและอิเล็กทรอนิกส์ จากสมบัติเหล่านี้จะทำมองเห็นสีที่แตกต่างกันออกไป เมื่อขนาดของอนุภาคนาโนทองคำมีขนาดแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน โดยคุณสมบัตินี้มักจะนำไปประยุกต์ใช้เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้การเปลี่ยนสี ที่มีประสิทธิภาพและความว่องไวสูง [3-4]

จากปรากฏการณ์ดังกล่าวได้มีนักวิจัยนำอนุภาคทองระดับนาโนนี้ไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันของทองคำอนุภาคในระดับนาโนเมตร ส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอนุภาคทองคำในระดับนาโนเมตรมีความแตกต่างกันตามไปด้วย จึงทำให้การประยุกต์ใช้งานมีความหลากหลายเป็นอย่างมาก ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานอนุภาคทองคำระดับนาโนเมตร เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) [5], ชีววิทยาและการแพทย์ (Biology and Medicine) [6] และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic) [7] กระบวนการสังเคราะห์อนุภาคทองคำในระดับนาโนเมตร มีวิธีการสังเคราะห์ 3 วิธีหลักๆ คือ วิธีการสังเคราะห์ทางกายภาพ [1, 5], วิธีการทางชีวภาพ [1, 8] และวิธีการสังเคราะห์ทางเคมี [1, 9] ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโดยส่วนใหญ่นิยมใช้โซเดียมซิเตรทเป็นตัวรีดิวส์ เนื่องจากเป็นสารเคมีพื้นฐาน หาง่าย ราคาไม่แพง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีที่ง่ายในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโน โดยอาศัยการเกิดรีดักชันภายใต้การกระตุ้นด้วยแสงยูวี โดยการเกิดอนุภาคทองคำระดับนาโนจะพิจารณาจากสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสีของสารละลาย ศึกษาอิทธิผลของตัวรีดิวซ์ที่มีต่อการเกิดอนุภาค เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนนี้ นอกจากนี้ยังได้นำสภาวะที่ได้นี้มาใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงธรรมชาติ โดยอนุภาคทองคำระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดหาสารปนเปื้อนในอาหาร และสิ่งแวดล้อมในลำดับต่อไป

วิธีดำเนินงาน

1. การเตรียมสารละลาย

1.1 สารละลายกรดคลอโรออริก ($HAuCl_4$; (Sigma-Aldrich, USA)) ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ชั่งกรดคลอโรออริก 0.0339 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 100 มิลลิลิตร

1.2 สารละลายโซเดียมซิเตรท ($Na_3C_6H_5O_7$; (Sigma-Aldrich, USA)) ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ชั่งโซเดียมซิเตรท 1.0013 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. หาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำในระดับนาโน

2.1 สภาวะการสังเคราะห์ภายใต้แสงยูวี เติมสารละลายโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมซิเตรท ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.3 – 1.5 มิลลิลิตร และทำการปั่นกวนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาด้วยเครื่องกวนสารแบบแท่งแม่เหล็กภายใต้แสงยูวี จากนั้นสังเกตการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 30 นาที โดยเบื้องต้นทำการสังเกตสีของสารละลายที่สังเคราะห์ได้ สุดท้ายถ้าพบว่าสีของสารละลายที่ได้มีสีออกแดง จะนำสารละลายนั้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสงต่อไป

ตารางที่ 1 สภาวะในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโน

การสังเคราะห์	$HAuCl_4$ 1 mM (mL)	Sodium citrate 38.8 mM (mL)	สภาวะการสังเคราะห์
1	5	1.5	ใต้แสง UV
2	5	0.6	ใต้แสง UV
3	5	0.3	ใต้แสง UV
4	5	0.6	ใต้แสงธรรมชาติ

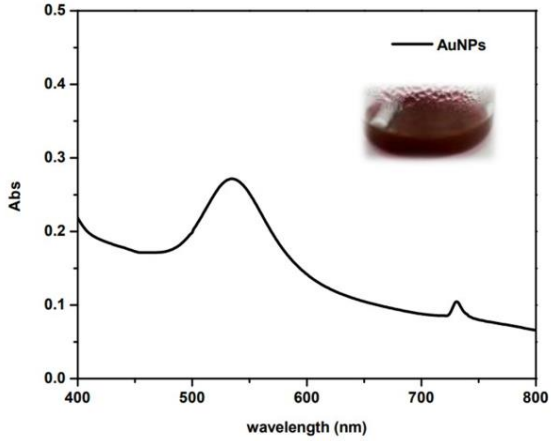
2.2 สภาวะการสังเคราะห์ภายใต้แสงธรรมชาติ เติมสารละลายกรดคลอโรออริก ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร และทำการปั่นกวนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาด้วยเครื่องกวนสารแบบแท่งแม่เหล็กภายใต้แสงธรรมชาติ จากนั้นสังเกตการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 30 นาที โดยทำการสังเกตสีของสารละลายที่สังเคราะห์ได้ จากนั้นก็นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยเบื้องต้นทำการสังเกตสีของสารละลายที่สังเคราะห์ได้ สุดท้ายถ้าพบว่าสีของสารละลายที่ได้มีสีออกแดง จะนำสารละลายนั้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสงต่อไป

รูปที่ 1 ขั้นตอนการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโน

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

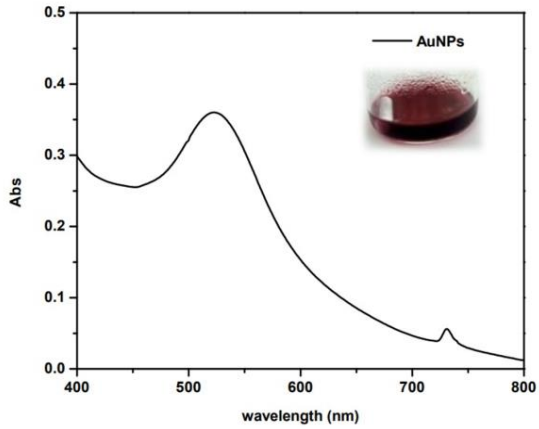
การสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโน โดยใช้โซเดียมซิเตรทเป็นตัวรีดิวซ์ เพื่อเปลี่ยนไอออนของทองคำ (Au^{3+}) เป็นอะตอมของทองคำ (Au) จากนั้นอะตอมทองคำรวมตัวหลายๆ อะตอมจนกลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดทองคำระดับนาโนซึ่งจะเป็นสารละลายสีแดงเข้ม

1. สภาวะการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงยูวี ด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรท ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร สารละลายเริ่มต้นมีสีเหลืองอ่อน สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีทุกๆ 30 นาที พบว่าผ่านไป 30 นาที เปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนๆ เป็นสีม่วง ผ่านไป 60 นาที เปลี่ยนเป็นสีแดงอมม่วง ผ่านไป 90 นาที เปลี่ยนเป็นสีแดงเข้ม ที่เวลา 210 นาที เปลี่ยนเป็นสีแดงเข้มขุ่นเล็กน้อย และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอีกจนครบเวลา 240 นาที ปรากฏสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 540 นาโนเมตร (รูปที่ 2) ซึ่งไม่ใช่อนุภาคทองคำระดับนาโนในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 520 นาโมเมตร ตามที่ต้องการ



รูปที่ 2 สีของสารละลายและสเปคตรัมการดูดกลืนแสงของการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงยูวี ด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรท ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาการสังเคราะห์ 240 นาที

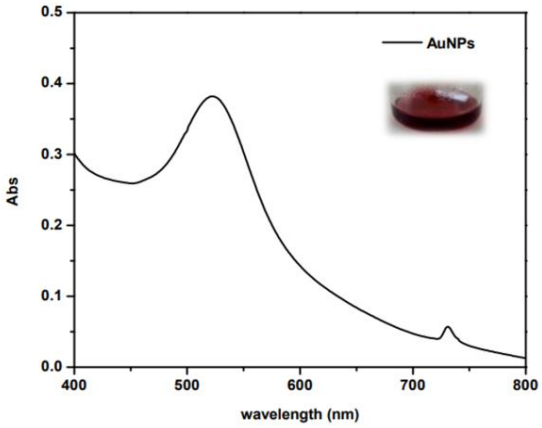
2. สภาวะการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงยูวี ด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรท ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร สารละลายเริ่มต้นมีสีเหลืองอ่อน สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีทุกๆ 30 นาที พบว่าเวลาผ่านไป 150 นาที สารละลายเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้ม และสุดท้ายที่เวลา 180 นาที สีของสารละลายไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติม ปรากฏสเปกตรัมการดูดกลืนแสงดังรูปที่ 3 ที่ความยาวคลื่นประมาณ 520 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นของอนุภาคทองคำระดับนาโน



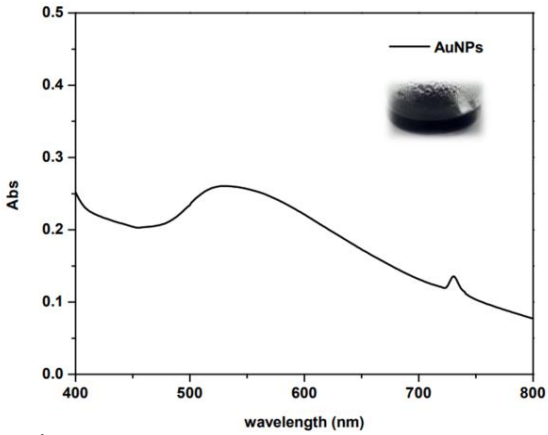
รูปที่ 3 สีของสารละลายและสเปคตรัมการดูดกลืนแสงของการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงยูวี ด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรท ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาการสังเคราะห์ 180 นาที

3. สภาวะการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงยูวี ด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรท ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร สารละลายเริ่มต้นมีสีเหลืองอ่อน สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีทุกๆ 30 นาที พบว่าเวลาผ่านไป 30 นาที สีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้ม และสุดท้ายจนเวลาผ่านไป 120 นาที สีของอนุภาคทองคำในระดับนาโนไม่มีการเปลี่ยนแปลง ปรากฏสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 520 นาโนเมตร (รูปที่ 4) ซึ่งเป็นความยาวคลื่นของอนุภาคทองคำระดับนาโน

4. สภาวะการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงธรรมชาติ ด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรท ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร (เปรียบเทียบกับสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงยูวี การเลือกทดสอบใช้ปริมาตรของสารละลายโซเดียมซิเตรท 0.6 มิลลิลิตร เนื่องจากการสันนิษฐานการทดลองว่าภายใต้แสงธรรมชาติที่ไม่มีแสงยูวีในการสังเคราะห์ อาจจะยังมีแนวโน้มทำให้เกิดอนุภาคทองคำระดับนาโนได้มากกว่าใช้ 0.3 มิลลิลิตร) สารละลายเริ่มต้นมีสีเหลืองอ่อน สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีทุกๆ 30 นาที พบว่าเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนๆ เป็นสีน้ำเงิน เวลาผ่านไป 60 นาที เปลี่ยนจากสีน้ำเงินใสเป็นสีน้ำเงินขุ่น ผ่านไป 90 นาที เวลา 150 นาที เปลี่ยนเป็นสีม่วงเข้ม และสุดท้ายจนเวลาผ่านไป 270 นาที สีของสารละลายไม่มีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4 สีของสารละลายและสเปคตรัมการดูดกลืนแสงของการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงยูวี ด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรท ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาการสังเคราะห์ 120 นาที



รูปที่ 5 สีของสารละลายและสเปคตรัมการดูดกลืนแสงของการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงธรรมชาติ ด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรท ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาการสังเคราะห์ 270 นาที

สรุปผลการทดลอง

จากผลการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโน พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมซิเตรท ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ต่างกัน ทำให้เกิดอนุภาคทองคำขนาดที่แตกต่างกันโดยสังเกตสีของสารละลาย และการวัดค่าการดูดกลืนแสง เมื่อสังเคราะห์ภายใต้แสงที่แตกต่างกันก็ยังส่งผลทำให้การสังเคราะห์แตกต่างกันด้วย จากสภาวะการทดลองในงานนี้การสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนภายใต้แสงยูวี ด้วยสภาวะที่ใช้โซเดียมซิเตรท ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.3 และ 0.6 มิลลิลิตร จะได้อนุภาคทองคำระดับนาโนตรงตามสมบัติที่ต้องการ คือ สารละลายมีสีแดงเข้ม มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 520 นาโนเมตร แต่ในสภาวะการสังเคราะห์ดังกล่าวไม่เหมาะในการทำภายใต้แสงธรรมชาติ อาจเป็นไปได้ว่าที่สภาวะการใช้โซเดียมซิเตรท ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร มีความเข้มข้นสูงเกินไป จนมีผลทำให้อนุภาคทองคำระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเปลี่ยนหรือรูปร่างเปลี่ยนจึงทำให้ไม่ได้สมบัติเชิงแสงตามต้องการ ข้อดีของงานวิจัยนี้คือสามารถใช้เวลาในการสังเคราะห์สั้นเพียงระยะเวลาแค่ 30 นาที เป็นวิธีการสังเคราะห์ที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก มีการประหยัดพลังงานความร้อน เนื่องจากโดยปกติการสังเคราะห์อนุภาคทองคำระดับนาโนด้วยการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซิเตรทต้องให้ความร้อนสูงกับสารละลายในขณะสังเคราะห์ และอนุภาคทองคำระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดหาสารปนเปื้อนในอาหาร และสิ่งแวดล้อมในลำดับต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่ได้อนุมัติทุนสนับสนุนการวิจัยงบประมาณรายได้ปี 2563 และขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับโครงการนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] พิมพ์ทอง ทองนพคุณ และคณะ (2558). การป้องกันการหมองของเครื่องประดับเงินด้วยอนุภาคทองคำระดับนาโนเมตร, DSpace Repository, *Research Report 2015*.

[2] Ludovico, C. and Geoffrey, A.O. (2009). Concepts of Nanochemistry, Weinheim, *Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA*.

[3] Rojanathanes, R. and Sereemaspun, A. (2009). Gold nanoparticle: a novel tool for DNA and protein detection, *Chulalongkorn Medical Journal*, vol. 53, pp. 465-475.

[4] Lulu, T., Yimeng, Z., Hong, Q., Yonghui, L., Jingyan, S., Liangyu, H. and Zhengbo, C. (2016). A sensitive Hg(II) colorimetric sensor based on synergistic catalytic effect of gold nanoparticles and Hg, *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol.229, pp.686-691.

[5] Fars, K.A., Awwad, A.R. and Ibrahim, A.A. (2010). Biopharmaceutical applications of nanogold, *Saudi Pharmaceutical Journal*, vol.18, pp. 179-183.

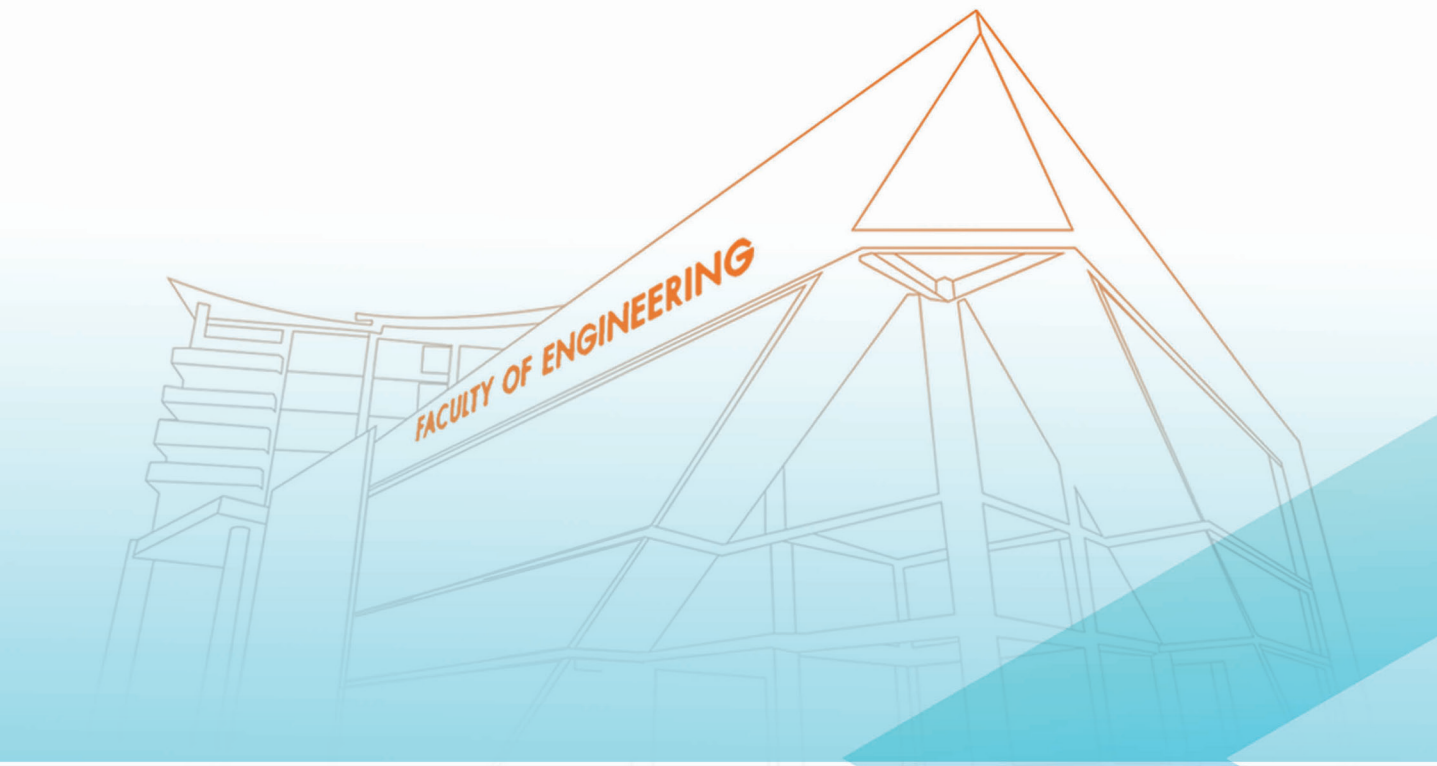
[6] Sajanlal, P.R., Subramaniam, C., Sasanpour, P., Rashidian, B. and Pradeep, T. (2010). Electric field enhancement and concomitant Raman spectral effects at the edges of a nanometre-thin gold mesotriangle, *Journal of Materials Chemistry*. vol.20, pp. 2108-2113.

[7] Jessica, W. (2007). Gold Nanaparticle Biosenser. University of Wisconsin Materials

Research Science and Engineering Center. pp. 1-5.

[8] Javad, K.A., Hojjatollah, K., Sasan, M. and Afsaneh S. (2011). Biosynthesis Of Gold Nanoparticles Using Dried Flowers Extract of Achillea Wilhelmsii Plant, *Journal of Nanomaterials and Biostructures*, vol. 6, pp. 1011-1017.

[9] Tapan, K.S., Anjali, P., N.R. Jana, Z.L. Wang and Tarasankar P. (2001). Size controlled synthesis of nanoparticles using photochemically prepared seed particles. *Journal of Nanoparticles Research*, vol.3, pp. 257-261.



งานบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
โทรศัพท์ 043-283700 กด 83120 โทรสาร 043-338870
อีเมล์ gs.eng.kkc@rmuti.ac.th, gs.eng.rmuti.kkc@gmail.com
Website : www.eng.rmuti.ac.th