ต้นแบบถังบำบัดน้ำปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตรด้วยเทคนิคการสลายตัวด้วยแสงยูวีซี

PROTOTYPE OF WATER TREATMENT TANK CONTAMINATED WITH AGRICULTURAL CHEMISTRY BY UVC DEGRADATION TECHNIQUE

พัฒนพงศ์ มาทอง

โสภณ ทิวากรธิติกุล

อาทิตยา นามแสง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นแบบถังบำบัดน้ำปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตรด้วยเทคนิคการสลายตัวด้วยแสงยูวีซี

PROTOTYPE OF WATER TREATMENT TANK CONTAMINATED WITH AGRICULTURAL CHEMISTRY BY UVC DEGRADATION TECHNIQUE

พัฒนพงศ์ มาทอง

โสภณ ทิวากรธิติกุล

อาทิตยา นามแสง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROTOTYPE OF WATER TREATMENT TANK CONTAMINATED WITH AGRICULTURAL CHEMISTRY BY UVC DEGRADATION TECHNIQUE

PATTANAPONG MATHONG
SOPON THIWAKORNTHITIKUL
ARTITAYA NAMSAENG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR PF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2562
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ต้นแบบถังบำบัดน้ำปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตรด้วยเทคนิคการสลายตัวด้วยแสงยูวีซี
PROTOTYPE OF WATER TREATMENT TANK CONTAMINATED WITH AGRICULTURAL CHEMISTRY BY UVC DEGRADATION TECHNIQUE

ผู้จัดทำ

1. นายพัฒนพงศ์ มาทอง	รหัสนักศึกษา 59010941
2. นายโสภณ ทิวากรธิติกุล	รหัสนักศึกษา 59011470
3. นางสาวอาทิตยา นามแสง	รหัสนักศึกษา 59011561

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.ณัฐวุฒิ เรืองตระกูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นแบบถังบำบัดน้ำปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตรด้วยเทคนิคการสลายตัวด้วยแสงยูวีซี

นายพัฒนพงศ์ มาทอง 59010941
นายโสภณ ทิวากรธิติกุล 59011470
นางสาวอาทิตยา นามแสง 59011561
ดร.ณัฐวุฒิ เรืองตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาการออกแบบชุดทดลองต้นแบบถังบำบัดน้ำปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตรด้วยเทคนิคการสลายตัวด้วยแสงยูวีซี สารที่เลือกใช้ในการศึกษาเบื้องต้น คือ สารอะทราซีน ซึ่งเป็นสารกำจัดวัชพืชที่ส่งผลอันตรายต่อแหล่งน้ำตามธรรมชาติ รวมถึงน้ำที่ใช้อุปโภคบริโภค ดังนั้นการที่มีสารอะทราซีนสะสมอยู่มากในแหล่งน้ำจึงส่งผลมากมาย ด้วยเหตุนี้จึงได้จัดทำงานวิจัยนี้ขึ้นเพื่อลดความเข้มข้นของสารเคมีในทางเกษตรกรรมก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ได้ทำการออกแบบเครื่องเป็นถังสแตนเลสทรงสี่เหลี่ยมที่มีขนาด 300x550x700 มิลลิเมตร มีหลอดยูวีซีติดภายในถังที่บริเวณด้านล่างของฝาปิดที่สามารถปรับความสูงได้ แบบฟลูออเรสเซนต์ขนาด 25 วัตต์ ยาว 44 มิลลิเมตร ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ออกแบบการติดตั้งปั๊มน้ำ โซลินอยด์วาล์ว รีเลย์ และควบคุมการทำงานด้วยอาดูโน เก็บผลการทดลองด้วยการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายแบ่งการทดลองเป็น 3 กรณี จากการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของสารละลายมีแนวโน้มลดลงจาก 33 ppm กรณีที่ 1 ที่ระดับความสูงของสารละลาย 5 เซนติเมตรมีความเข้มข้น 38.009, 32.770, 29.288 และ 27.621 ppm กรณีที่ 2 ที่ระดับความสูงของสารละลาย 10 เซนติเมตรมีค่าความเข้มข้น 38.795, 37.530, 36.542 และ 29.842 ppm และ กรณีที่ 3 ที่ระดับความสูงของสารละลาย 15 เซนติเมตรมีค่าความเข้มข้น 38.766, 36.820, 33.990 และ 31.926 ppm ที่เวลาที่ 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ ชุดทดลองนี้เป็นชุดทดลองต้นแบบที่สามารถนำไปพัฒนาต่อได้ และหวังอย่างยิ่งว่าจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่กำลังศึกษา หรือมีความสนใจเกี่ยวกับการบำบัดน้ำปนเปื้อนสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROTOTYPE OF WATER TREATMENT TANK CONTAMINATED WITH AGRICULTURAL CHEMISTRYBY UVC DEGRADATION TECHNIQUE

Pattanapong Mathong	59010941
Sopon Thiwakornthitikul	59011470
Artitaya Namsaeng	59011561
Dr.Nattawut Ruangtrakoon	Advisor

Year 2019

Abstract

This project is the study prototype of water treatment tank contaminated with agricultural chemistry by UVC degradation technique. Substances selected for preliminary study are atrazine, a herbicide that is harmful to natural water sources. Including water that is used for consumption. Therefore, the accumulation of atrazine in water sources has many effects. For this reason, research has been conducted to reduce the concentration of agricultural chemicals before releasing them into natural water sources. We have designed a square stainless steel tank with a size of 300x550x700 millimeters. There is a UVC tube attached inside the tank under the lid that can adjust the height. Fluorescent type, size 25 watts, length 44 millimeters, wavelength 254 nanometers. Installation design, water pump, solenoid valve, relay, and controlled by Arduino. The experimental results were collected by measuring the concentration of the solution divided into 3 cases. According to the analysis of the results, the concentration of the solution tends to decrease from 33 ppm. Case 1 at the height of the solution is 5 centimeters. With concentration 38.009, 32.770, 29.288 and 27.621 ppm. Case 2 at the height of the solution is 10 cm with the concentration of 38.795, 37.530, 36.542 and 29.842 ppm and Case 3 at the height of the solution 15 cm has the concentration 38.766, 36.820, 33.990 and 31.926 ppm at 15, 30, 45 and 60 minutes, respectively. This experimental set is a prototype experiment that can be developed. And sincerely hope that it will be useful for those who are studying or interested in treating water contaminated with chemicals.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากหลายๆฝ่าย โดยท่านแรกเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ณัฐวุฒิ เรืองตระกูล ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำไม่ว่าจะทางด้านการวิจัย แนวความคิด รวมถึงวิธีการวิจัย ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วง และขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.รวิภัทร ลาภเจริญสุข และ ผศ.ดร.ภัทรา-นิษฐ์ วงศ์พร้อมรัตน์ ซึ่งคอยดูแลให้คำปรึกษาทางด้านกระบวนการวิจัย และอุปกรณ์การวิจัยต่าง ๆ รวมไปถึงคำแนะนำอย่างดียิ่งที่ได้รับจากคณะกรรมการคุมสอบ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างสูงที่ช่วยให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์ จึงต้องขอขอบพระคุณอย่างสูง นอกจากนี้ยังขอขอบพระคุณบุคคลที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในการเรียนของผู้วิจัยเป็นอย่างดี ได้แก่ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่งของผู้วิจัย จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

และขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และบุคคลที่เกี่ยวข้อง ที่ให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยในทุก ๆ ด้านที่ทำให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญรูปภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มา 1

1.2 จุดประสงค์ของการศึกษา 1

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา 1

1.4 ขอบเขตการศึกษา 1

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 1

1.6 วิธีการดำเนินงาน 2

บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5

2.2.1 อะทราซีน 5

2.2.2 ปัญหาที่เกิดจากอะทราซีน 6

2.2.3 แสงยูวี 7

2.2.4 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายอะทราซีน 12

2.2.5 ปั๊ม 14

2.2.6 โซลินอยด์วาล์ว 17

2.2.7 เช็ควาล์ว 20

2.2.8 รีเลย์ 21

2.2.9 อาดูโน 25

2.2.10 ค่าการนำไฟฟ้า 31

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานและชุดทดลอง 33

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน 33

3.2 การออกแบบชุดทดลองต้นแบบ 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 การทำงานของชุดทดองต้นแบบ 39
3.4 การใช้งานทุดทดลองต้นแบบ 39
3.5 วิธีการทดลอง 40
3.6 แนวทางการเขียนโค้ดอาดูโนเพื่อใช้ในการควบคุมโซลินอยด์วาล์ว 41

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล 43

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 50
5.1 สรุปผลการทดลอง 50
5.2 อภิปรายผลการทดลอง 50
5.3 ข้อเสนอแนะ 50

บรรณานุกรม 51

ภาคผนวก 52
ภาคผนวก ก. แบบชุดทดลองต้นแบบถังบำบัดน้ำปนเปื้อนสารเคมีทางเกษตรด้วยเทคนิคการสลายตัวด้วยแสงยูวีซี 52
ภาคผนวก ข. แนวทางการควบคุมชุดทดลองต้นแบบ 54
ภาคผนวก ค. การสร้างกราฟมาตรฐาน 57
ภาคผนวก ง. ผลการทดลอง 62
ภาคผนวก จ. การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง ด้วยโปรแกรม SPSS 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 ค่าความเข้มข้นและพื้นที่ใต้กราฟของกราฟมาตรฐาน 43
4.2 ค่าความเข้มข้นและพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายที่ระดับความสูง 5 เซนติเมตร 44
4.3 ค่าความเข้มข้นและพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายที่ระดับความสูง 10 เซนติเมตร 45
4.4 ค่าความเข้มข้นและพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายที่ระดับความสูง 15 เซนติเมตร 46
4.5 ตารางแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างการทดลอง 48
4.6 ผลการวิเคราะห์ของปัจจัย A และ B 48
4.7 สรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย A B และ ความเข้มข้น..... 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ **หน้า**

2.1 แสดงการสลายตัวของสารอะทราซีน 3
2.2 โครงสร้างทางเคมีของสารอะทราซีน 5
2.3 แสงจากดวงอาทิตย์ 7
2.4 แสง UV ทำลาย DNA ของเชื้อโรค 11
2.5 การประยุกต์ใช้งานแสง UVC 11
2.6 หน่วยงานที่รองรับประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อโรคด้วยระบบ UVGI 12
2.7 โครงสร้างทางเคมีของไนเตรท 12
2.8 การจัดเรียงอะตอมของคลอไรด์ 13
2.9 โครงสร้างทางเคมีของกรดไซยานูริก 14
2.10 ปั๊มน้ำอัตโนมัติถังความดัน 15
2.11 ปั๊มน้ำแรงดันคงที่ 15
2.12 ปั๊มน้ำหอยโข่ง 16
2.13 ปั๊มไดโว่ 16
2.14 ปั๊มสำหรับสารเคมี 16
2.15 ปั๊มน้ำแบบลูกสูบ 17
2.16 หลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว 18
2.17 เมื่อโซลินอยด์วาล์ไม่มีการจ่ายไฟ 18
2.18 เมื่อโซลินอยด์วาล์มีการจ่ายไฟ 18
2.19 เมื่อโซลินอยด์วาล์ไม่มีการจ่ายไฟ 18
2.20 เมื่อโซลินอยด์วาล์มีการจ่ายไฟ 18
2.21 การทำงานของระบบเปิดปิดโดยตรง 19
2.22 การทำงานของระบบเปิดปิดทงอ้อม 19
2.23 การทำงานของระบบลูกผสม 20
2.24 การทำงานของสวิงเช็ควาล์ว 20
2.25 สวิงเช็ควาล์ว 20
2.26 การทำงานของสปริงเช็ควาล์ว 21
2.27 สปริงเช็ควาล์ว 21
2.28 สปริงฟุตวาล์ว 21
2.29 รีเลย์ทั่วไป 22
2.30 สัญลักษณ์ของรีเลย์ 22
2.31 ไทม์เมอร์รีเลย์ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.32 โปรเทคชั่นรีเลย์ 23
2.33 โซลิดสเตทรีเลย์ 23
2.34 อาดูโน Uno R3 25
2.35 อาดูโน Uno SMD 26
2.36 อาดูโน Mega 2560 R3 26
2.37 อาดูโน Due 26
2.38 ตัวอย่างโค้ดคำสั่งอาดูโนของฟังก์ชัน setup 29
2.39 ตัวอย่างผลลัพธ์ของฟังก์ชัน setup 30
2.40 ตัวอย่างโค้ดคำสั่งอาดูโนของฟังก์ชัน loop 30
2.41 ตัวอย่างผลลัพธ์ของฟังก์ชัน loop 31
2.42 เครื่อง HPLC 32
3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน 33
3.2 ชุดทดลองต้นแบบที่ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม solid edge 2020 35
3.3 ลักษณะละอุปกรณ์ที่อยู่ภายในถัง 35
3.4 จำลองการติดตั้งอุปกรณ์ภายในถัง 36
3.5 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ภายในถัง 36
3.6 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ภายนอกถัง 36
3.7 ปั๊มสารเคมี 37
3.8 สปริงเช็ควาล์ว 37
3.9 โซลินอยด์วาล์ว 37
3.10 รีเลย์ module 2 channel 38
3.11 อาดูโน Uno R3 38
3.12 ภาพจำลองชุดทดลองต้นแบบ 38
3.13 Block Diagram ของชุดทดลองต้นแบบ 39
3.14 ตัวอย่างโค้ดเพื่อใช้ในการควบคุมโซลินอยด์วาล์ว 41
3.15 แผนผังการทำงานของตัวอย่างโค้ดเพื่อใช้ในการควบคุมโซลินอยด์วาล์ว 42
4.1 กราฟมาตรฐานในช่วงค่าความเข้มข้นตั้งแต่ 0 – 33 ppm 43
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับเวลาที่ระดับความสูงของสารละลาย 5 เซนติเมตร 44
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับเวลาที่ระดับความสูงของสารละลาย 10 เซนติเมตร 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับเวลาที่ระดับความสูงของสารละลาย 15 เซนติเมตร 46
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับเวลาทั้ง 3 กรณี 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

อาชีพเกษตรกรรมนับว่าเป็นอาชีพหลักที่สร้างผลผลิต และสร้างรายได้ให้กับประเทศไทยเป็นจำนวนมาก ในขณะเดียวกันก็ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมากเช่นเดียวกัน เนื่องจากการใช้สารเคมีภัณฑ์ในการกำจัดวัชพืช และมีการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตรที่สูงสุด 10 อันดับแรกสารที่เลือกนำมาศึกษาคือสาร อะทราซีน (atrazine) เป็นสารไม่เลือกทำลาย (non-selective herbicide) จึงส่งผลต่อพืชชนิดอื่นในบริเวณใกล้เคียง เช่น ถั่ว และผัก เป็นต้น รวมทั้งมีความรุนแรงและส่งผลกระทบต่อดิน น้ำ และสัตว์น้ำ จากการศึกษาพบว่าวิธีการสลายสารอะทราซีนมีหลายวิธีนิยมการใช้แสงร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา (catalysis) โครงงานนี้เป็นการศึกษาอย่างง่ายโดยการใช้แสงยูวีซีในการสลายตัวของสารอะทราซีน คณะผู้จัดทำจึงศึกษาและออกแบบชุดทดลองต้นแบบถังบำบัดน้ำปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตรด้วยเทคนิคการสลายตัวด้วยแสงยูวีซี เพื่อต้องการลดความเข้มข้นของสารเคมีในทางเกษตร ก่อนปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

1.2 จุดประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อออกแบบชุดทดลองต้นแบบต้นแบบถังบำบัดน้ำปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตรด้วยเทคนิคการสลายตัวด้วยแสงยูวีซี

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1. ชุดทดลองต้นแบบต้นแบบถังบำบัดน้ำปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตรด้วยเทคนิคการสลายตัวด้วยแสงยูวีซี สามารถลดความเข้มข้นของน้ำปนเปื้อนสารเคมีได้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาการสลายตัวของสารเคมีทางเกษตรในที่นี้คือสารอะทราซีน ด้วยแสงยูวีซี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถพัฒนาสร้างชุดทดลองการสลายตัวของอะทราซีนละลายน้ำโดยใช้การฉายแสง ยูวีซีที่สามารถนำไปต่อยอดและพัฒนาให้สามารถใช้ในทางเกษตรกรรมได้จริงและมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสารอะทราซีน แสงยูวีซี
2. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสลายของสารอะทราซีนด้วยแสงยูวีซี
3. ออกแบบชุดทดลองต้นแบบ
4. ทำการทดลอง
5. เก็บผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง
6. จำลองการใช้งานชุดทดลองต้นแบบ
7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

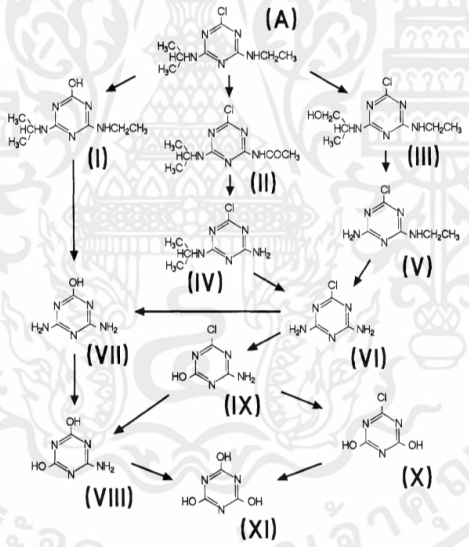
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาและออกแบบชุดทดลองการสลายตัวของอะทราซีนโดยใช้การฉายแสงยูวีซีทาง ผู้วิจัยได้มีการศึกษาข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ezio Pelizzetti (1992) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับเส้นทางการสลายตัวของอะทราซีนภายใต้แสงอาทิตย์และในที่ที่มีอนุภาคคอลลอยด์ไทเทเนียมไอออน โดยใช้ไทเทเนียมไอออน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในการลดสารอะทราซีน เพื่อป้องกันการรบกวนที่อาจเกิดขึ้นจากไอออนจากการทดลอง พบว่า ผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือ คลอไรด์ (Chloride), ไนเตรท (Nitrate) และ กรดไซยานูริก (Cyanuric acid) แสดงในรูป 2.1.1



รูปที่ 2.1 แสดงการสลายตัวของสารอะทราซีน

Javier Arantegui (1995) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับจลนพลศาสตร์ของการสลายตัวของอะทราซีนโดยใช้รังสียูวี (UV) ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โดยใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของสารอะทราซีนร่วมด้วย จากการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่ออัตราการลดลงของสารอะทราซีน แต่ความเข้มข้นของสารอะทราซีนที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดผลที่ต่างกัน กล่าวคือในค่าความเป็นกรด-ด่างเดียวกัน สารที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าจะมีอัตราการลดลงที่มากกว่าสารที่มีความเข้มข้นมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Loubna Youssef (2019) ได้ทำการทดลองลดสารอะทราซีนด้วยแสงยูวี 2 ค่าที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน คือ ยูวีซีขนาด 254 นาโนเมตร และ ยูวีเอ (UVA) 366 นาโนเมตรในเวลา 60 นาที จากการทดลองพบว่า ความยาวคลื่นส่งผลต่ออัตราการลดลงของอะทราซีน โดยที่ค่าความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรความเข้มข้นของอะทราซีนลดลงไป 17% และที่ความยาวคลื่น 366 นาโนเมตรความเข้มข้นของอะทราซีนลดลงไป 5% เนื่องจากพลังงานยูวีซีมากกว่ายูวีเอทำให้การลดลงของอะทราซีนเกิดขึ้นเร็วกว่า และมีประสิทธิภาพมากกว่า

T.A. McMurray (2006) ได้ทำการทดลองลดสารอะทราซีนด้วยแสงยูวีเอและยูวีบี โดยมีค่าความยาวคลื่นต่างกันคือ ยูวีเอ 370 นาโนเมตร และยูวีบี 310 นาโนเมตรและใช้ไทเทเนียมไอออน (TIO_2) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการทดลองในถังคน จากการทดลองพบว่า การฉายแสงด้วย ยูวีบีไม่ส่งผลให้อัตราการลดลงของอะทราซีนเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการฉายแสงด้วยยูวีเอ

ZohreMoeini (2018) ได้ทำการทดลองการกำจัดสารอะทราซีนภายใต้การฉายแสงยูวีด้วยกำลังไฟฟ้า 6 - 125 วัตต์ และที่ค่าความเข้มข้นของสารเริ่มต้น 10 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตรและที่ค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 3 - 5 ภายใต้ระยะเวลา 5 - 90 นาที จากการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เป็นปัจจัยหลักในการกำจัดสารอะทราซีน และการเพิ่มกำลังไฟฟ้า ส่งผลให้อัตราการลดลงของอะทราซีนเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

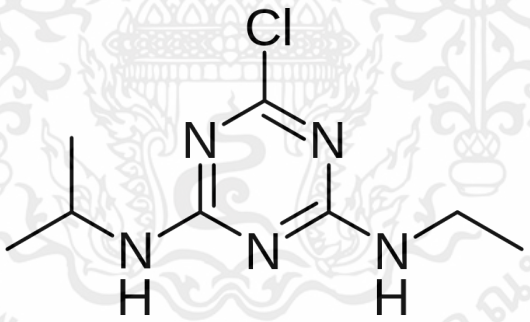
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 อะทราซีน (Atrazine)

อะทราซีนเป็นสารกำจัดวัชพืชประเภทพืชใบกว้างและวงศ์หญ้า นิยมใช้ในไร่ข้าวโพด อ้อย และสับปะรด อะทราซีนเป็นสารไม่เลือกทำลาย (non-selective herbicide) จึงอาจส่งผลต่อพืชชนิดอื่นในบริเวณใกล้เคียง เช่น ถั่ว และผัก เป็นต้น นิยมใช้ทั้งประเภทสารละลายเข้มข้น และแบบผงไม่ละลายน้ำ เกษตรกรนิยมใช้งานแบบผง

สารอะทราซีนพบมากในทวีปอเมริกา เนื่องจากมีการปลูกข้าวโพด ข้าวฟ่างเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดอัตราการสะสมของสารอะทราซีนในดินสูง ส่งผลให้น้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาลมีสารอะทราซีนเจือปนอยู่จำนวนมาก เมื่อน้ำไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ หรือคลอง จึงส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และสิ่งมีชีวิตโดยรอบ รวมถึงน้ำดื่มที่ใช้อุปโภคบริโภค สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐ (U.S. Environmental Protection Agency หรือ U.S. EPA) ได้กำหนดให้ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีการปนเปื้อนในน้ำดื่มไม่เกิน 3 ไมโครกรัมต่อลิตร หรือ 3 ppb หรือ 3 µg/l และองค์การอนามัยโลก (World Health Organization หรือ WHO) ได้กำหนดให้ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีการปนเปื้อนในน้ำดื่มไม่เกิน 2 ไมโครกรัมต่อลิตร หรือ 2 ppb หรือ 2 µg/l

สูตรโครงสร้างทางเคมีของอะทราซีน



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของสารอะทราซีน

ชื่อทางเคมี : 2-chloro-4-ethylamino-69-isopropylamino-1,3,5-triazine

สูตรโมเลกุล : $C_8H_{14}ClN_5$

ลักษณะ : ขาวใส ไม่มีสีมีฤทธิ์เป็นเบสอ่อน

น้ำหนักโมเลกุล : 215.7 g/mol

จุดหลอมเหลว : 171 – 174 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ปัญหาที่เกิดจากสารอะทราซีน

ในทวีปอเมริกามีการทำเกษตรกรรมเป็นจำนวนมาก และมีการใช้อะทราซีนกันอย่างแพร่หลาย จึงส่งผลกระทบตามมาอย่างมากมาย เช่น ในรัฐแคนซัช (Kansas) มีการปลูกข้าวโพด และข้าวฟ่าง มีการใช้สารอะทราซีนในการกำจัดวัชพืช เนื่องจากอะทราซีนมีราคาถูก จากนั้นเกิดการสะสมในดินและซึมลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินก่อนไหลสู่แม่น้ำหรือคลอง พบว่าน้ำมีสารอะทราซีนเจือปนอยู่และมากสุดในช่วงฤดูฝน

ประเทศไทยมีการนำเข้าสารอะทราซีนซึ่งจัดว่าเป็นวัตถุอันตรายทางการเกษตรที่นำเข้าสูงสุด 10 อันดับแรก และมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เกษตรกรจะผสมอะทราซีนกับน้ำแล้วนำไปฉีดในไร่ข้าวโพด อ้อย และสับปะรด เพื่อใช้กำจัดวัชพืช มีการฉีดก่อนพืชงอก และหลังพืชงอก ที่พบเห็นทั่วไป คือ อะทราซีน 80 และ 90 โดยอัตราส่วนในการผสมสารกับน้ำส่วนมากจะอยู่ในช่วง 300 - 450 กรัม ต่อน้ำ 60 - 80 ลิตร ต่อการฉีดพืช 1 ไร่ นอกจากนี้ยังพบสารอะทราซีนในแหล่งน้ำธรรมชาติของประเทศไทย มีค่าเฉลี่ยประมาณ 40 ppm

2.2.2.1. ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

คณะนักวิจัยที่นำโดย ไทโรน เฮย์ส แห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย ได้ศึกษาเปรียบเทียบกบเพศผู้ 40 ตัวที่อยู่ในสภาพแวดล้อมซึ่งมีการควบคุม และกบเพศผู้อีก 40 ตัวที่เพาะเลี้ยงในสภาพแวดล้อมที่มีสารอะทราซีนเข้มข้น ตั้งแต่เป็นตัวอ่อนจนกระทั่งโตเต็มวัยปรากฏว่าราว 90 เปอร์เซ็นต์ของกบที่สัมผัสกับอะทราซีนเข้มข้น มีระดับฮอร์โมนเทสโทสเตอโรนต่ำ ต่อมเพศมีขนาดเล็กลง มีการพัฒนากล่องเสียงในลักษณะของเพศเมีย พฤติกรรมการผสมพันธุ์หยุดชะงัก การผลิตอสุจิลดลง และภาวะเจริญพันธุ์ลดลง ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีพฤติกรรมของกบเพศผู้ตามปกติผลที่เกิดขึ้นกับกบอีก 10 เปอร์เซ็นต์ที่ได้รับสารอะทราซีนจากการวิจัยครั้งนี้ คือ กบเพศผู้มีพัฒนาการกลายเป็นกบเพศหญิงและผสมพันธุ์กับกบเพศผู้ รวมทั้งวางไข่ได้และปรากฏว่า ตัวอ่อนที่เกิดจากไข่ของกบเหล่านี้เป็นเพศผู้ทั้งหมดซึ่งการเพิ่มขึ้นของจำนวนกบเพศผู้นั้นอาจส่งผลกระทบต่อการสูญพันธุ์ของกบในที่สุด

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยหลายชิ้นก่อนหน้านี้ที่พบว่า อะทราซีนทำให้ปลาม้าลาย และกบลายเสือดาวเพศผู้กลับเพศมาเป็นเพศเมียเช่นกัน นอกจากนั้นยังทำให้การสร้างอสุจิในปลาแซมมอน และจิ้งเหลนเคแมนลดลงด้วย

2.2.2.2 ผลกระทบต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและมนุษย์

แบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. ผลกระทบต่อตัวอ่อนและครรภ์

ขนาดตัวอ่อนในครรภ์มีขาดตัวเล็กกว่าปกติ และเกิดภาวะ IUGR (Intrauterine Growth Retardation) หรือ ภาวะทารกในครรภ์เจริญเติบโตช้าตัวอ่อนจะมีกระบวนการสร้างกระดูกที่ช้าลง มีโอกาสคลอดก่อนกำหนด หรืออาจร้ายแรงถึงขั้นแท้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลกระทบต่อระบบฮอร์โมนและระบบสืบพันธุ์

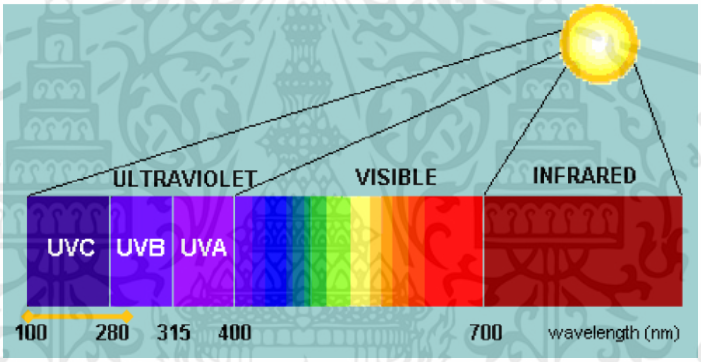
ส่วนมากมักพบในเพศชายซึ่งมีผลต่อการลดคุณภาพของอสุจิในเพศชาย สเปิร์มเคลื่อนไหวช้าลง และในทั้งสองเพศมีโอกาสเป็นวัยรุ่นช้าลง หรือเติบโตช้าไม่เหมาะสมกับวัย

3. การก่อให้เกิดมะเร็ง

มีโอกาสเกิดมะเร็งกระดูก มะเร็งสมอง มะเร็งต่อมน้ำเหลือง มะเร็งเม็ดเลือกขาวในทั้งเพศหญิงและเพศชาย ในเพศหญิงมีโอกาสเกิดมะเร็งเต้านม และมะเร็งรังไข่ได้ง่าย ในเพศชายมีโอกาสเกิดมะเร็งต่อมลูกหมาก

2.2.3 แสงยูวี (Ultraviolet)

พลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลก เป็นพลังงานที่มาในรูปการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารังสีที่แผ่ออกมานี้มีช่วงความยาวคลื่นที่ค่าต่าง ๆ ทำให้เกิดพลังงานที่แตกต่างกัน สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่



รูปที่ 2.3 แสงจากดวงอาทิตย์

1. รังสีในช่วงอัลตราไวโอเลต แบ่งเป็น ยูวีเอ, ยูวีบี และยูวีซี
2. รังสีในช่วงที่มองเห็นได้ (visible light)
3. รังสีในช่วงอินฟราเรด (infrared)

2.2.3.1 แหล่งกำเนิดรังสีอัลตราไวโอเลต

รังสีอัลตราไวโอเลต หรือรังสียูวี เป็นช่วงหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าแสงที่มองเห็นได้ รังสีอัลตราไวโอเลตหรือในชื่อภาษาไทยว่ารังสีเหนือม่วง ที่ได้ชื่อดังกล่าวเนื่องจาก มีช่วงสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นระหว่าง 100 ถึง 400 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่มีความถี่สูงกว่าคลื่นที่มนุษย์สามารถมองเห็นเป็นสีม่วง โดยสเปกตรัมของรังสีอัลตราไวโอเลตจะแบ่งตามช่วงความยาวคลื่น มี 3 ประเภทได้แก่ ยูวีเอ, ยูวีบี และยูวีซี ซึ่งทั้ง 3 ประเภท มีแหล่งกำเนิดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (solar radiation)

เป็นแหล่งกำเนิดสำคัญของการแผ่รังสีที่ส่องมาถึงโลก โดยจะประกอบไปด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต รังสีในช่วงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ และรังสีอินฟาเรด แต่รังสีบางส่วนจะถูกดูดซับไว้ในชั้นบรรยากาศ โดยส่วนที่เหลือลงมายังผิวโลกจะอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

2. แหล่งที่มนุษย์สร้างขึ้น (artificial sources)

ได้แก่วัตถุทุกชนิดที่ถูกทำให้ร้อน จนอุณหภูมิสูงมากกว่า 2500 เคลวิน จะสามารถปล่อยรังสีอัลตราไวโอเลตได้ ซึ่งเป็นวัตถุอุปกรณ์ที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นสำหรับการใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ทางการแพทย์ เป็นต้น

2.2.3.2 ประเภทของรังสีอัลตราไวโอเลต

1. ยูวีเอ

ช่วงความยาวคลื่น 315 – 400 นาโนเมตร ในแสงที่ส่องมาถึงโลกจะมียูวีเอมากถึง 95% รังสีชนิดนี้ สามารถผ่านทะลุกระจกได้ แม้เราอยู่ในอาคาร และเข้าสู่ผิวหนังชั้นลึก จะไปกดภูมิต้านทานของผิวหนัง อันส่งผลให้ร่างกายไม่สามารถปกป้องผิวจากการเกิดและแพร่กระจายของมะเร็งผิวหนังได้ นอกจากนี้ยูวีเอยังส่งผลร้ายต่อผิว ทำให้ผิวแก่ก่อนวัย เหี่ยวย่น เกิดจุดด่างดำ

การนำไปใช้งาน นิยมใช้ในการอาบแดด, เครื่องดักแมลง, ไฟส่องธนบัตรและการใช้แสงบำบัดเด็กที่มีอาการตัวเหลืองเป็นต้น

2. ยูวีบี

เป็นรังสีที่มีความยาวคลื่น 280 – 315 นาโนเมตร มีประมาณ 5% ในแสงอาทิตย์ รังสีนี้ไม่สามารถทะลุกระจกเข้ามาได้ยูวีบีเป็นสาเหตุให้เกิดผิวไหม้แดด เกรียมแดดชั้นบรรยากาศไม่สามารถดูดซับรังสีชนิดนี้ได้ทั้งหมด ทำให้มีบางส่วนผ่านมายังพื้นโลก

การนำไปใช้งาน นิยมใช้ในการรักษาบำบัดโรคสะเก็ดเงิน, การบำบัดด้วยแสงและทำหลอดไฟส่องสัตว์เลื้อยคลาน เป็นต้น

3. ยูวีซี

เป็นรังสีที่มีความยาวคลื่น 100 – 280 นาโนเมตร โดยรังสีชนิดนี้ไม่สามารถลงมายังผิวโลกได้ เพราะถูกดูดซึมไปในชั้นโอโซนของบรรยากาศ แต่ปัจจุบันบางพื้นที่มีจำนวนโอโซนลดลง ทำให้แสงยูวีซีผ่านลงมาสู่พื้นผิวโลกได้มากขึ้นเป็นรังสีที่มีความอันตรายมากที่สุดจึงไม่ควรสัมผัสหรือจ้องมองโดยตรง

การนำไปใช้งาน นิยมใช้ในการฆ่าเชื้อโรค, ทำหลอดฆ่าเชื้อโรคในน้ำและในอากาศ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.3 ประโยชน์ของรังสีอัลตราไวโอเลต

รังสีอัลตราไวโอเลตเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง แต่หากได้รับในปริมาณที่พอเหมาะจะให้ประโยชน์แก่ร่างกายมากกว่าโทษ นอกจากนั้นทางการแพทย์ยังนำรังสีชนิดนี้มาใช้รักษาโรคกระดูกและโรคผิวหนังบางชนิด โดยประโยชน์ของรังสีอัลตราไวโอเลต มีดังนี้

1. กระตุ้นการสร้างวิตามินดี

รังสียูวีบีมีคุณสมบัติกระตุ้นให้ร่างกายสร้างวิตามินดี ซึ่งเป็นวิตามินที่สำคัญต่อการสร้างเม็ดเลือด กระดูก และภูมิคุ้มกัน ทั้งยังช่วยเพิ่มการดูดซึมแคลเซียมและฟอสฟอรัสจากอาหารที่บริโภค การออกมารับแสงแดดในช่วงเวลาที่เหมาะสมจึงเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยเป็นบริเวณที่มีค่าชี้วัดความเข้มของแสงยูวีค่อนข้างสูง จึงควรหลีกเลี่ยงแดดในช่วง 9.00 – 14.00 นาฬิกา เพราะจะก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย

2. รักษาโรคกระดูกและโรคผิวหนังบางชนิด

การรักษาโรคด้วยรังสียูวีควรอยู่ภายใต้การดูแลของแพทย์อย่างใกล้ชิด เพื่อหลีกเลี่ยงผลข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้น

2.2.3.4 ผลกระทบของรังสีอัลตราไวโอเลตต่อร่างกาย

หากได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตในปริมาณมากติดต่อกันเป็นเวลานาน อาจส่งผลกระทบต่อส่วนต่าง ๆ ของร่างกายทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ดังนี้

1. ผิวคล้ำแดด

เมื่อผิวหนังสัมผัสกับรังสียูวี ร่างกายจะสร้างเม็ดสีเมลานินขึ้นมาเป็นเกราะป้องกันผิวหนัง ทำให้ผิวมีสีคล้ำขึ้น เนื่องจากยูวีเอจะไปกระตุ้นการสร้างเม็ดสีของเซลล์ผิวชั้นนอก ส่งผลให้ผิวคล้ำขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่จะกลับมาเป็นสีปกติได้ในเวลาไม่นาน ส่วนยูวีบีนั้นไม่ทำให้ผิวคล้ำขึ้นในทันที แต่อาจเกิดขึ้นหลังจากผ่านไปแล้วประมาณ 3 วัน และใช้เวลานานหลายสัปดาห์จึงกลับเป็นปกติ นอกจากนี้ยูวีบียังส่งผลให้ผิวชั้นหนังกำพร้าหนาขึ้นอีกด้วย

2. ผิวไหม้จากแดด

เกิดขึ้นเมื่อได้รับรังสียูวีบีในปริมาณสูงจนทำให้เซลล์ผิวหนังชั้นนอกถูกทำลาย ผู้ที่มีอาการรุนแรง ผิวหนังอาจลอก เป็นแผลพุพอง และรู้สึกเจ็บปวด อีกทั้งเซลล์ผิวหนังที่ถูกสร้างขึ้นใหม่จะไวต่อรังสียูวีและบอบบางกว่าเซลล์ผิวเดิม ส่วนผู้ที่อาการไม่รุนแรงจะมีเพียงผื่นแดงขึ้นบริเวณผิวหนังที่โดนแสงแดดและค่อย ๆ หายเป็นปกติใน 2-3 วัน ทั้งนี้ การมีผิวไหม้จากแดดอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งผิวหนังได้ด้วย

3. ริ้วรอย

รังสียูวีเอเดินทางทะลุผ่านผิวหนังชั้นนอกไปยังชั้นหนังแท้ และส่งผลต่อกระทบต่อโครงสร้างของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันได้ ทำให้ผิวสูญเสียความยืดหยุ่น เป็นต้นเหตุของริ้วรอยและความหย่อนคล้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อาการแพ้แดด

เกิดกับผู้ที่ผิวหนังไวต่อรังสียูวี แม้ได้รับในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ก่อให้เกิดอาการแพ้คล้ายผิวไหม้ได้ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากอาหารที่บริโภค เครื่องสำอาง หรือยาบางชนิด เช่น ยาต้านอักเสบชนิดไม่ใช่สเตียรอยด์ ยาแก้ปวด ยาระงับประสาท ยาปฏิชีวนะ ยารักษาโรคซึมเศร้า ยารักษาเบาหวานชนิดรับประทาน ก่อนใช้ยาใด ๆ จึงควรอ่านฉลากหรือปรึกษาเภสัชกรถึงผลข้างเคียงทุกครั้ง

5. มะเร็งผิวหนัง

มีงานวิจัยอ้างว่ารังสียูวีทำให้เกิดอนุมูลอิสระที่เป็นอันตรายต่อเซลล์ในร่างกาย นอกจากนั้นรังสียูวียังเข้าทำลายดีเอ็นเอ (DNA) ของเซลล์ผิวหนังได้โดยตรง ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้

6. ผลกระทบต่อดวงตา

ร่างกายสร้างอวัยวะและกลไกต่าง ๆ ขึ้นมาเพื่อปกป้องดวงตา ไม่ว่าจะเป็นคิ้ว ขนตา หรือการหดและขยายรูม่านตา อย่างไรก็ตาม กลไกเหล่านี้ป้องกันดวงตาจากรังสียูวีได้อย่างจำกัด ผู้ที่ต้องเผชิญกับรังสียูวีปริมาณสูงอย่างต่อเนื่องอาจเกิดผลกระทบต่อดวงตา ดังนี้

7. กระจกตาอักเสบและเยื่อบุตาอักเสบ

มักเกิดขึ้นหลังจากได้รับรังสียูวีปริมาณสูงเพียงไม่กี่ชั่วโมง ส่งผลให้ตาแดง แสบ คัน และระคายเคืองตาได้ ทั้งนี้ กระจกตาที่อักเสบรุนแรงอาจทำให้เซลล์ผิวชั้นนอกของลูกตาถูกทำลายจนมองไม่เห็นชั่วคราว แต่ส่วนใหญ่ร่างกายจะสร้างเซลล์ขึ้นใหม่อย่างรวดเร็วและกลับมามองเห็นภายใน 2-3 วัน และขณะมีการผลัดเซลล์ที่ตายทิ้งจะส่งผลให้รู้สึกเจ็บปวดอย่างมาก อีกทั้งอาจทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อน เช่น น้ำตาไหล มีอาการระคายเคืองเรื้อรัง เป็นต้น

8. ต้อกระจก

เกิดจากการมีโปรตีนสะสมและปกคลุมในเลนส์แก้วตา ทำให้การมองเห็นภาพขุ่นมัว และอาจรุนแรงถึงขั้นตาบอดได้ ซึ่งสาเหตุหลักการเกิดต้อกระจกเป็นเพราะการเสื่อมของเลนส์แก้วตาเนื่องจากอายุที่มากขึ้น แต่รังสียูวีบีก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่อาจก่อให้เกิดต้อกระจกได้เช่นกัน

9. ต้อเนื้อ

อาจเป็นผลกระทบในระยะยาวหากได้รับรังสียูวีอย่างต่อเนื่อง เกิดขึ้นเมื่อแผ่นเนื้อบริเวณเยื่อบุตายื่นเข้าไปในตาดำ หากแผ่นเนื้อนี้ขยายใหญ่ขึ้นอาจบดบังการมองเห็นและอาจต้องรักษาโดยการผ่าตัด

10. ผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกัน

รังสียูวีอาจอันตรายต่อดีเอ็นเอและส่งผลให้ระบบภูมิคุ้มกันอ่อนแอ และเป็นปัจจัยก่อให้เกิดโรคมะเร็งตามมา นอกจากนี้ การได้รับรังสียูวีในปริมาณสูงยังส่งผลให้วัคซีนทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ทั้งยังมีงานวิจัยอ้างว่ารังสียูวีบีส่งผลให้ร่างกายควบคุมไวรัสที่เป็นสาเหตุของโรคเริมได้น้อยลง ทำให้ผู้ป่วยที่เคยเป็นโรคเริมมีโอกาสกลับมาเป็นซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.5 การใช้แสงยูวีในการฆ่าเชื้อ

แสงยูวีที่นำมาใช้ในการฆ่าเชื้อโรคนั้น เกิดมาจากการสังเคราะห์ยูวีซีขึ้นเอง นั้นก็คือระบบ UVGI (Ultraviolet Germicidal Irradiation) หรือระบบการใช้แสงยูวีที่มีความเข้มข้นสูงพิเศษ (germicidal range) เพื่อฆ่าและทำลายเชื้อโรคต่าง ๆ ที่อยู่บนพื้นผิวและในอากาศ หากเชื้อเหล่านั้นได้รับปริมาณแสงยูวีซีในระยะเวลาที่เพียงพอแสงยูวีจะสามารถทะลุเข้าไปในดีเอ็นเอของเชื้อโรคทำให้ดีเอ็นเอเพี้ยนไปจากปกติ เชื้อโรคจะไม่สามารถสืบพันธุ์ต่อได้และตายในที่สุด

รูปที่ 2.4 แสง UVC ทำลาย DNA ของเชื้อโรค

การฆ่าเชื้อด้วยระบบ UVGI แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. การฆ่าเชื้อโรคในอากาศ (air disinfection) คือ การฆ่าเชื้อที่ลอยอยู่ในอากาศ ในสถานที่ที่มีคนอยู่เป็นจำนวนมากหรืออยู่เป็นเวลานาน เช่น โรงพยาบาล, โรงภาพยนตร์, หอประชุม, สำนักงาน,ฟิตเนตและห้องเรียน เป็นต้น

2. การฆ่าเชื้อโรคในของเหลว (liquid disinfection) คือ การฆ่าเชื้อโรคในของเหลว เช่น น้ำดื่มฆ่าด้วยแสงอัลตราไวโอเลต หรือในอุตสาหกรรมบำบัดน้ำเสียฆ่าเชื้อโรคในน้ำก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ เป็นต้น

3. ฆ่าเชื้อโรคที่พื้นผิวของวัตถุ (surface disinfection) คือ การฆ่าเชื้อโรคแบบเฉพาะเจาะจงใช้ฆ่าเชื้อบนพื้นผิวโดยใช้แสงยูวีซีบริเวณที่โดนแสงเชื้อโรคก็จะโดนทำลาย ซึ่งปริมาณความเข้มของแสง ระยะห่าง และระยะเวลา ต้องสัมพันธ์กัน เพื่อประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อสูงสุด เช่น ฆ่าเชื้อบนราวจับรถเข็น, ฆ่าเชื้อภาชนะ, อุปกรณ์ในห้องครัว, ฆ่าเชื้อในห้องนอน, ฆ่าเชื้อบนพื้นขณะดูดฝุ่น, ฆ่าเชื้อแปรงสีฟัน, ฆ่าเชื้อบนสุขภัณฑ์, ฆ่าเชื้อของใช้และของเล่นเด็กต่าง ๆ เป็นต้น และการฆ่าเชื้อโรคประเภทนี้นี้เอง ที่ตู้อบยูวีนำมาประยุกต์ใช้งาน เพื่อความสะอาดของของใช้ในครอบครัว

รูปที่ 2.5 การประยุกต์ใช้งานแสง UVC

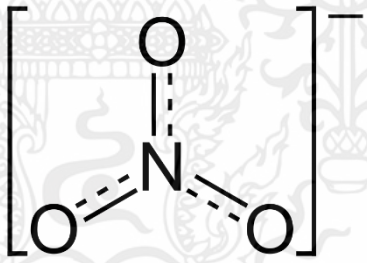
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบัน มีหน่วยงานต่าง ๆรองรับประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโรคด้วยระบบ UVGI เช่น CDC (Centers for Disease Control and Prevention) โรงพยาบาล ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) ก็แนะนำให้ใช้ในระบบปรับอากาศนี้ในอาคาร รวมทั้ง WHO (World Health Organization) ที่แนะนำให้ใช้ระบบ UVGI เพื่อควบคุมการแพร่กระจายของวัณโรค (Tuberculosis)

รูปที่ 2.6 หน่วยงานที่รองรับประสิทธิการกำจัดเชื้อโรคด้วยระบบ UVGI

2.2.4 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายอะทราซีน

2.2.4.1 ไนเตรท



รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของไนเตรท

สูตรโมเลกุล : NO_3^-

น้ำหนักโมเลกุล : 62.0049 g/mol

ไนเตรท (NO_3^-) พบได้ในธรรมชาติในรูปของไอออน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไนโตรเจน (Nitrogencycle) ไนเตรทยังถูกใช้เป็นหลักในรูปของปุ๋ยอินทรีย์น้ำใต้ดิน และน้ำผิวดินมักพบไนเตรทในปริมาณน้อยแต่บางครั้งอาจพบในปริมาณสูง ซึ่งเป็นผลจากน้ำไหลซึมและน้ำไหลบ่าในพื้นที่เกษตร หรืออาจปนเปื้อนจากสิ่งขับถ่ายของมนุษย์และสัตว์ ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation)ของแอมโมเนียไนเตรทไม่เป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) แต่ความเป็นพิษของไนเตรทคือการที่ไนเตรทถูกรีดิวซ์ (Reduce) ให้เป็นไนไตรท์ผลกระทบทางชีววิทยาของไนไตรท์ ที่มีต่อคน

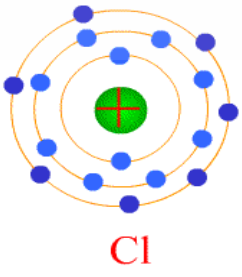
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือผู้บริโภคคือ ไนไตรท์ เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Normal Hemoglobinไปเป็น Methemoglobinซึ่ง Methemoglobin ไม่สามารถทำหน้าที่ลำเลียงออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกาย ผลจากการศึกษาวิจัยพบว่าถ้าร่างกายมี Methemoglobin เข้มข้นเป็นร้อยละ10 ของ Hemoglobinจะเกิดอาการ Methemoglobinaemia โดยทำให้เกิดอาการตัวเขียว (Cyanosis) ทารกที่มีอายุน้อยกว่า 3 เดือนมักอ่อนไหวต่ออาการนี้มากกว่าเด็กโตและผู้ใหญ่จึงถูกเรียกเป็น “Bluebaby Syndrome” และถ้าอาการมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดอาการขาดออกซิเจน (Asphyxia) เพื่อการคุ้มครองสุขภาพของประชาชน จึงกำหนดให้น้ำบริโภคมีค่าไนเตรทไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากผลการศึกษาพบว่าถ้าดื่มน้ำที่มีปริมาณไนเตรทมากกว่า 50 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลให้เกิดอาการ Methemoglobinaemia

พืชสามารถใช้ไนเตรทในดินบางส่วนดังนั้นบางส่วนจะรั่วไหลลงสู่น้ำใต้ดินและแม่น้ำในขณะที่บางส่วนเกิด denitrification ซึ่งเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่สลายไนเตรทเป็นไนโตรเจนและไนตรัสออกไซด์แล้วเข้าสู่บรรยากาศดินและน้ำไนเตรทบางส่วนถูกดูดซึมโดยพืชจะถูกใช้ในการสังเคราะห์ชีว-โมเลกุล (biological molecules) โดยเฉพาะโปรตีน และของเสียจากพืชและสัตว์จะเปลี่ยนไนโตรเจนไปยังดินซึ่งบางส่วนจะมีการหมุนเวียนและบางส่วนกลับไปสู่บรรยากาศตาม วัฏจักรของไนโตรเจน

2.2.4.2 คลอไรด์

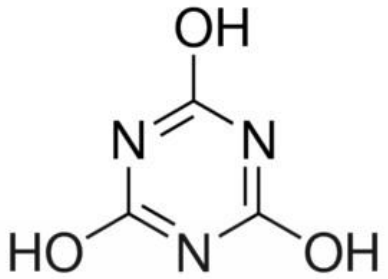
คลอไรด์พบทั่วไปในธรรมชาติในรูปโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โปแตสเซียมคลอไรด์ (KCl) และแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ซึ่งปนมากับสิ่งขับถ่ายของมนุษย์ในน้ำ เสียและน้ำ ทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำ ไหลบ่าจากเหมืองแร่ถ้าน้ำประปาในเส้นท่อของระบบประปามีคลอไรด์สูง จะทำให้เพิ่มอัตราการกัดกร่อนโลหะในระบบเส้นท่อ ทั้งนี้ขึ้นกับความเป็นกรด-ด่างของน้ำ และยังเป็นสาเหตุที่ทำ ให้เพิ่มความเข้มข้นการปนเปื้อนโลหะสูงในน้ำประปา น้ำบริโภคที่มีปริมาณคลอไรด์มากกว่า 250 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีรสเค็มจึงกำหนดมาตรฐานน้ำบริโภคให้พบคลอไรด์ได้ไม่เกิน 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลที่ชัดเจนที่ยืนยันผลกระทบต่อสุขภาพจากการบริโภคคลอไรด์ มีเพียงผลการศึกษารายงานถึงภาวะความดันโลหิตสูงมีความเชื่อมโยงกับโซเดียมมากกว่าคลอไรด์



รูปที่ 2.8 การจัดเรียงอะตอมของคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.3 กรดไซยานูริก



รูปที่ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของกรดไซยานูริก

สูตรโมเลกุล : $C_3H_3N_3O$

ชื่อทางเคมี : 1,3,5-Triazine-2,4,6-triol

น้ำหนักโมเลกุล : 129.07 g/mol

กรดไซยานูริก เป็นตัวชะลอการสลายของคลอรีนในสระว่ายน้ำ โดยทำหน้าที่เชื่อมพันธะกับคลอรีนและจะปล่อยพันธะนี้อย่างช้า ๆ เพื่อรักษาระยะเวลาในการสลายของคลอรีนในสระว่ายน้ำไม่ควรมีกรดไซยานูริกเกิน 100 ppmโดยส่วนใหญ่อยู่ที่ประมาณ 30-50 ppm (อ้างอิงจาก National Spa and Pool Institute) ถ้ามีค่าถึง 80 ppm มักกำจัดออกจากสระว่ายน้ำ

องค์การอาหารและยาอนุญาตให้มีกรดไซยานูริกจำนวนหนึ่งอยู่ในสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non protein nitrogen) ที่ใช้ในอาหารสัตว์และน้ำดื่ม เช่น อาหารเสริมสำหรับวัว

กรดไซยานูริกจัดอยู่ในสารประเภทที่ไม่เป็นพิษ แต่หากมีการใช้งานร่วมกับเมลามีนจะกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายและค่อนข้างเป็นพิษต่อไต

2.2.5 ปั๊ม (Pump)

ปั๊มน้ำคือ อุปกรณ์เพิ่มความดันสำหรับส่งน้ำหรือถ่ายเทของเหลวจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง หรือใช้หมุนเวียนน้ำ นิยมใช้กันในครัวเรือน ที่พักอาศัย การเกษตร รวมถึงอุตสาหกรรม
ปั๊มน้ำแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการทำงาน

1. อาศัยแรงกลไกการเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง
2. อาศัยการแทนที่ในการพาของเหลว

การทำงานของปั๊มน้ำประเภทต่าง ๆปั๊มน้ำมีทั้งแบบที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า และใช้เครื่องยนต์ (ใช้น้ำมัน) เพื่อทำหน้าที่หมุนส่งกำลังให้เครื่องสูบทำงานเพิ่มแรงดันและส่งน้ำไปตามท่อ โดยแบบที่ใช้ในที่พักอาศัยจะเป็นแบบไฟฟ้า ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.1 ปั๊มน้ำแบบใบพัด

ปั๊มน้ำแบบใบพัดอาศัยหลักการการหมุนของใบพัด จนเกิดแรงดันภายในท่อน้ำ มีข้อดีที่ขนาดเล็ก หลักการทำงานง่าย ปัจจุบันนิยมใช้เครื่องสูบน้ำประเภทนี้กันมาก และมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปตามรูปร่างลักษณะของตัวเครื่อง เช่นปั๊มน้ำอัตโนมัติ ปั๊มน้ำแบบหอยโข่ง ปั๊มไดโว่

ปั๊มน้ำอัตโนมัติเหมาะสำหรับใช้ในที่พักอาศัยทำงานโดยการเปิด-ปิดอัตโนมัติตามการเปิดใช้งานของอุปกรณ์ใช้น้ำ สามารถส่งน้ำไปตามจุดต่าง ๆ ภายในบ้านได้ดีปั๊มน้ำอัตโนมัติ แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

ปั๊มน้ำอัตโนมัติถังความดัน (automatic water pump with pressure tank) หลักการทำงานของ ปั๊มน้ำอัตโนมัติ ถังความดัน ประเภทนี้ คือ ปั๊มจะทำการดูดน้ำเข้าไปใน ถังความดัน เพื่อให้น้ำเข้าไปแทนที่อากาศ ที่อยู่ในถังความดัน เมื่อน้ำและอากาศอัดอยู่ด้วยกัน เมื่อทำการเปิดอุปกรณ์ที่ใช้น้ำ เช่น ก๊อกน้ำ หรือฝักบัว น้ำก็จะถูกปล่อยออกมา ไปยัง จุดใช้น้ำต่าง ๆ ในบ้าน หรืออาคารต่าง ๆด้วยความแรง สาเหตุเพราะ น้ำที่เข้าไปอยู่ในถังความดัน ถูกอากาศที่อยู่ด้านบนของถังบีบอัดต่อลงมา ทำให้น้ำไหลออกแรง

ปั๊มน้ำแรงดันคงที่ (constant pressure water pump) หลักการทำงานจะคล้ายกับปั๊มน้ำอัตโนมัติ ถังความดัน แต่ปั๊มน้ำแรงดันคงที่ นี้จะไม่มี ถังความดัน ด้านล่าง โดยความดันจะเกิดจากการใช้ถังโลหะ ขนาดเล็ก ที่ข้างในบรรจุ ก๊าซไนโตรเจน (N_2) เรียกว่า แทงค์ไนโตรเจน (nitrogen tank) หรืออาจเรียกว่า เบลดเดอร์แทงค์ (bladder tank) แล้วแต่ยี่ห้อซึ่งก๊าซไนโตรเจน นั้นมีคุณสมบัติ ทนต่อความร้อนได้สูงและแรงดันจะเสถียรกว่าอากาศธรรมดา

รูปที่ 2.10 ปั๊มน้ำอัตโนมัติ ถังความดัน

รูปที่ 2.11 ปั๊มน้ำแรงดันคงที่

ปั๊มน้ำหอยโข่ง ปั๊มน้ำประเภทนี้เป็นปั๊มที่มีการใช้งานการอย่างแพร่หลาย เหมือนที่เกษตรกรใช้ในการสูบน้ำส่งไปในไร่นาไกล ๆ หรือการสูบน้ำขึ้นที่สูงอย่าง แทงค์น้ำและอาคารสูงๆ เหตุผลที่ปั๊มน้ำหอยโข่งสามารถสูบน้ำได้ในปริมาณที่มากหรือแรงส่งสูงๆ เพราะปั๊มหอยโข่งจะมีแรงม้าสูง มี 1 แรงม้า 2 แรงม้า แต่ไม่เป็นระบบอัตโนมัติ ตัวนี้เหมาะกับการใช้งานต่อเนื่องนาน ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12 ปั๊มน้ำหอยโข่ง

ปั๊มไดโว่เป็นปั๊มที่มักจะใช้กับงานสูบน้ำออก เช่น บ่อปลา บ่อน้ำพุ มีกำลังส่งต่ำ แต่สูบน้ำได้จำนวนมาก ปั๊มไดโว่จะมีให้เลือกหลายขนาด ถ้าต้องการให้ดึงน้ำเร็วต้องใช้ที่วัตต์สูง เช่น 200 -250 วัตต์ แต่ถ้าไม่ต้องการดึงน้ำเร็วๆ สามารถใช้จำนวนวัตต์น้อย ๆ แทนได้ จะช่วยประหยัดพลังงานได้อีกด้วย การใช้งานจะใช้ได้ต่อเนื่องแค่ 7 ชั่วโมง ถ้านานกว่า 7 ชั่วโมงปั๊มจะร้อนจนทำให้มอเตอร์ตัดและใบพัดล็อค (ต้องถอดใบพัดออกมาหมุนกลับเข้าไปใหม่ ก็จะใช้งานได้เหมือนเดิม) ปั๊มไดโว่จะมีแบบลูกลอยและแบบที่ไม่มีลูกลอยแบบที่มีลูกลอย เมื่อดูดน้ำหมดลูกลอยก็จะจมลงปั๊มก็จะตัดอัตโนมัติ และแบบที่ไม่มีลูกลอย ต้องเปิด-ปิดสวิตช์ด้วยตัวเอง

รูปที่ 2.13 ปั๊มไดโว่

ปั๊มสำหรับสารเคมีโดยส่วนใหญ่ปั๊มสารเคมีจะทำงานด้วยระบบใบพัดแต่จะแตกต่างกันด้วยวัสดุที่ใช้ในการผลิตตัวปั๊มโดยตัววัสดุของหัวปั๊มจะมีหลากหลายรูปแบบให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมของสารเคมี เช่นโพรีโพไพรีน นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท เพราะทนความร้อนได้สูง และทนต่อการกัดกร่อน หรือน้ำเค็ม

รูปที่ 2.14 ปั๊มสำหรับสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.2 ปั๊มน้ำแบบลูกสูบ

กลไกลการทำงานของปั๊มน้ำแบบลูกสูบคือ การชักลูกสูบ เลื่อนไปมา และมีวาล์วเปิดปิดสำหรับน้ำที่เข้าออกจากลูกสูบ ซึ่งเป็นการเพิ่มแรงดันน้ำโดยตรง สมัยก่อนนิยมใช้ในการเกษตร ข้อดีของปั๊มน้ำแบบลูกสูบก็คือสามารถสร้างแรงดันน้ำได้สูง แต่มีข้อเสียที่ให้ปริมาณน้ำน้อย ไม่พอตามความต้องการะและมีการสึกหรอของลูกสูบมาก

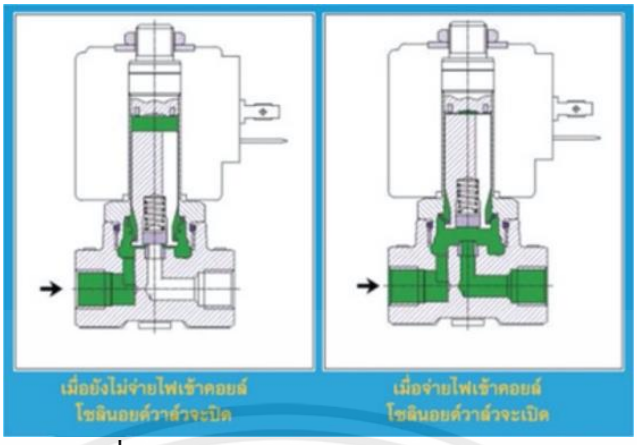
รูปที่ 2.15 ปั๊มน้ำแบบลูกสูบ

2.2.6 โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid valve)

โซลินอยด์วาล์ว คือ วาล์วควบคุมทิศทางลมโดยใช้คอยล์ไฟฟ้าสั่งการร่วมกับสปริงหรือคอยล์ไฟฟ้าอีกตัวเมื่อต้องการให้วาล์วอยู่อีกตำแหน่ง โซลินอยด์วาล์วจะประกอบด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับทำหน้าที่ปิด-เปิดวาล์ว โดยเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะดูดเดือยวาล์วเพื่อเปิดวาล์ว และเมื่อปิดสวิตช์ตัดกระแสไฟฟ้าเดือยวาล์วจะกลับไปสู่ตำแหน่งเดิมจากน้ำหนักของตัวเองเพื่อปิดวาล์ว

ชนิดของโซลินอยด์วาล์วจะมีทั้ง 2/2, 3/2, 4/2, 5/2 และ 5/3 วาล์วชนิด 2/2 ใช้ควบคุมการเปิดปิดของเหลวและก๊าซ ส่วนวาล์วชนิด 3/2, 4/2, 5/2 และ 5/3 ส่วนใหญ่ใช้กับระบบนิวแมติคและระบบไฮดรอลิค โดยตัวเลขหน้าบอกถึงจำนวนทางเข้าออกของวาล์วนั้น ๆ ว่ามีกี่ทางหรือมีกี่รู (port) ส่วนตัวเลขที่ตามหลังเครื่องหมายทับ (/)นั้นจะบอกถึงจำนวนสถานะ หรือจำนวนตำแหน่ง (position) ของวาล์ว เช่น วาล์ว 2/2 คือวาล์วที่มี 2 ทาง และมี 2 สถานะ คือ ปิดและเปิด ส่วนวาล์ว 5/2 คือวาล์วที่มี 5 ทางและมี 2 สถานะ เป็นต้น

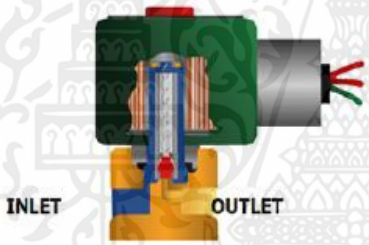
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



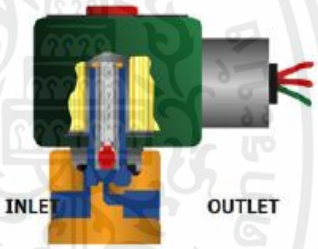
รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว

การทำงานของวาล์ว 2 ทาง มี2แบบคือ

1. NORMALLY CLOSED APPLICATION (NC) คือ แบบปกติปิด ซึ่งหมายความว่า ในขณะที่ไม่มีการจ่ายไฟวาล์วจะปิดแต่ถ้ามีการจ่ายไฟวาล์วจะเปิด

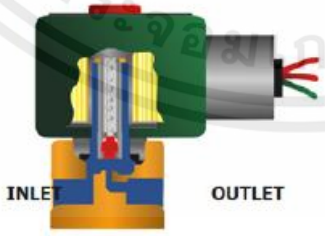


รูปที่ 2.17 เมื่อโซลินอยด์วาล์วไม่มีการจ่ายไฟ

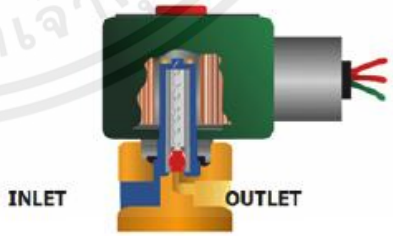


รูปที่ 2.18 เมื่อโซลินอยด์วาล์วมีการจ่ายไฟ

2. NORMALLY OPEN APPLICATION (NO) คือแบบปกติเปิด ซึ่งหมายความว่า ในขณะที่ไม่มี**การ**จ่ายไฟวาล์วจะเปิด แต่ถ้ามีการจ่ายไฟวาล์วจะปิด



รูปที่ 2.19 เมื่อโซลินอยด์วาล์วไม่มีการจ่ายไฟ

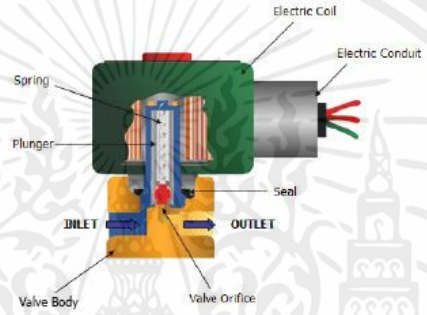


รูปที่ 2.20 เมื่อโซลินอยด์วาล์วมีการจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

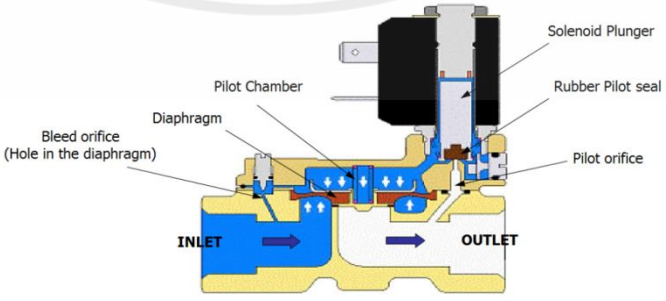
การควบคุมการเปิดปิดของโซลินอยด์วาล์ว 2/2
มีการควบคุมให้เปิดปิดได้ด้วย 3 ระบบ

1. ระบบเปิดปิดโดยตรง (Direct Acting หรือ Direct Operated) คือ โซลินอยด์วาล์ว 2 ทาง ที่มีระบบการทำงานแบบเปิดปิดโดยมีทางเข้าหนึ่งทางและทางออกหนึ่งทาง และจะมีทุ่น ซึ่งมีซีลอยู่ปลายด้านล่างทำหน้าที่เปิดและปิดรูทางผ่านของของไหลเมื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าหรือหยุดจ่ายไฟที่คอยล์ของวาล์ว แต่ข้อควรระวังคือ ในการใช้วาล์วที่ทำงานด้วยระบบนี้คือเมื่อมีการเพิ่มความดันของของไหลในระบบ จะทำให้ต้องใช้แรงมากขึ้นในการเปิดวาล์ว หากความดันของของไหลสูงกว่าที่กำลังของคอยล์จะเปิดวาล์วได้ วาล์วนั้นก็จะไม่ทำงานถึงแม้ว่า จะมีการจ่ายไฟฟ้าแล้วก็ตาม



รูปที่ 2.21 การทำงานของระบบเปิดปิดโดยตรง

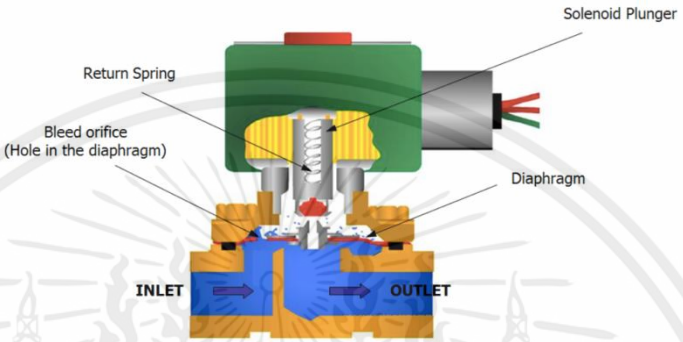
2. ระบบเปิดปิดทางอ้อม (Indirect Acting หรือ Pilot Operated)คือ ระบบการทำงานของวาล์วเปิด-ปิดโดยอาศัยหลักการความต่างของความดันคือ มีการจ่ายไฟเข้าคอยล์เพื่อให้ Plunger ยก Pilot Seal ขึ้นทำให้ของเหลวที่อยู่ด้านบนของแผ่นไดอะแฟรมไหลผ่านซึ่งจะทำให้ความดันด้านบนแผ่นไดอะแฟรมลดลงต่ำกว่าความดันของของไหลที่ไหลเข้ามา จึงทำให้แผ่นไดอะแฟรมยกขึ้นซึ่งจะทำให้เกิดการเปิดของวาล์วโครงสร้างแบบนี้จะใช้กับวาล์วที่มีขนาด 3/8” ขึ้นไป ในขณะที่คอยล์ไม่จำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ เพราะคอยล์ทำหน้าที่เพียงแค่เปิดรู Pilot จึงทำให้ราคาถูกและเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่ข้อควรระวังคือ เนื่องจากต้องอาศัยความดันของของไหลในการช่วยเปิด-ปิด ดังนั้นจึงไม่สามารถนำไปใช้กับงานที่ของไหลมีความดันต่ำได้



รูปที่ 2.22 การทำงานของระบบเปิดปิดทางอ้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระบบลูกผสม (Combined Acting หรือ Combined Operated) คือ ระบบการทำงานแบบลูกผสมโดยมีทางเข้าหนึ่งทางและทางออกหนึ่งทาง การเปิดรูผ่านหลัก (orifice) ซึ่งอยู่ภายในตัววาล์วนั้นเป็นการผสมผสานทั้งการทำให้ความดันของพื้นที่ด้านบนและ ด้านล่างของแผ่นไดอะแฟรมเสียสมดุลบวกกับแรงที่ทุ่น (plunger) ของโซลินอยด์วาล์วช่วยออกแรงยกแผ่นไดอะแฟรมโดยตรงด้วย การทำงานหลักๆของแผ่นไดอะแฟรมจะเหมือนกับระบบเปิดปิดทางอ้อม แต่ต่างตรงที่แม้จะมีความดันขาเข้าเพียงน้อยนิดวาล์วก็สามารถเปิดได้ด้วยแรงยกของทุ่น (plunger)



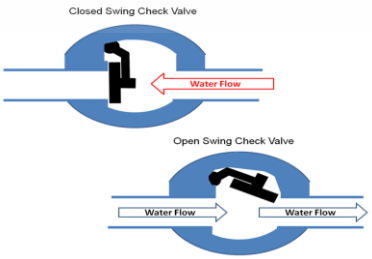
รูปที่ 2.23 การทำงานของระบบลูกผสม

2.2.7 เช็ควาล์ว (Check valve)

เช็ควาล์ว เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า วาล์วกันกลับ คืออุปกรณ์ในระบบน้ำ ทำหน้าที่ควบคุมให้น้ำไหลไปในทิศทางเดียว ป้องกันไม่ให้น้ำไหลย้อนกลับเมื่อปั๊มน้ำหยุดทำงาน ใช้ติดตั้งคู่กับปั๊มน้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำไหลย้อนกลับเข้าตัวปั๊มเมื่อไม่มีการเปิดใช้น้ำ หากน้ำไหลย้อนกลับเข้าปั๊มจะทำให้ระบบรวนนำไปสู่อายุการใช้งานที่ไม่เหมาะสม โดยทั่วไปเช็ควาล์วที่นิยมใช้งานในประเทศไทยมีอยู่ 3 แบบ คือ สวิงเช็ควาล์ว สปริงเช็ควาล์ว และสปริงฟุตวาล์ว

1. สวิงเช็ควาล์ว (Swing Check Valve)

เป็นวาล์วชนิดปิดกั้นน้ำ ให้น้ำไหลได้ในทางเดียว ติดตั้งได้ในเฉพาะแนวนอน การทำงานของวาล์วชนิดนี้ จะเป็นไปโดยอัตโนมัติ คือน้ำจะไหลผ่านวาล์วได้ไปในทิศทางที่น้ำไหลเข้า แต่ถ้ามีแรงดันของน้ำไหลย้อนกลับ ลิ้นที่อยู่ภายในจะปิดกั้นทันที เช็ควาล์วที่มีคุณภาพนั้นจะต้องผลิตมาจากทองเหลืองที่มีคุณภาพ เพื่อป้องกันการเกิดสนิม จะมีอายุการใช้งานได้ยาวนาน



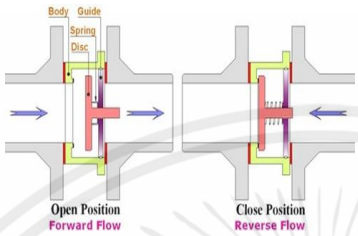
รูปที่ 2.24 การทำงานของสวิงเช็ควาล์ว

รูปที่ 2.25 สวิงเช็ควาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สปริงเช็ควาล์ว (รูเต็ม) (Spring Check Valve – Full Bore)

สปริงเช็ควาล์ว คือ วาล์วชนิดปิดกั้นน้ำ ให้น้ำไหลได้ในทางเดียว การทำงานของวาล์วชนิดนี้จะเป็นไปโดยอัตโนมัติ น้ำจะไหลผ่านวาล์วได้ในทิศทางที่น้ำไหลเข้า และลิ้มของวาล์วจะปิดกั้นทันทีที่น้ำหยุดเพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์และท่อจากแรงกระแทกย้อนกลับของน้ำ เหมาะสำหรับระบบปั้มน้ำ ซึ่งสามารถติดตั้งได้ทั้งแนวนอนและแนวตั้ง



รูปที่ 2.26 การทำงานของสปริงเช็ควาล์ว

รูปที่ 2.27 สปริงเช็ควาล์ว

3. สปริงฟุตวาล์ว (Spring Foot Valve)

วาล์วกันน้ำไหลย้อนกลับด้วยระบบสปริง พร้อมตะแกรงสแตนเลส ช่วยดักกรองตะกอนต่างๆ ไม่ให้ไหลเข้าปั๊ม และเก็บกักน้ำในเส้นท่อ ช่วยยืดอายุการใช้งานปั๊มน้ำ ตัวเรือนเป็นทองเหลืองแท้ ทำให้ทนทาน ไม่เป็นสนิม สามารถทนแรงดันน้ำได้สูงถึง 16 บาร์ รองรับการใช้งานได้หลากหลายทั้งใช้กับถังเก็บน้ำใต้ดิน และบ่อน้ำเพื่อการเกษตร

รูปที่ 2.28 สปริงฟุตวาล์ว

2.2.8 รีเลย์ (Relay)

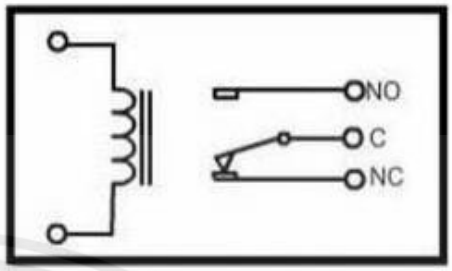
รีเลย์ เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแม่เหล็ก เพื่อใช้ในการดึงดูดหน้าสัมผัสของคอนแทคให้เปลี่ยนสภาวะ โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด เพื่อทำการปิดหรือเปิดหน้าสัมผัส คล้ายกับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมวงจรต่าง ๆ ในงานช่างอิเล็กทรอนิกส์มากมายและยังเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ตรวจสอบสภาพการณ์ของทุกส่วนในระบบ หากระบบมีการทำงานผิดปกติ รีเลย์จะเป็นตัวสั่งการให้ตัดส่วนที่ลัดวงจรหรือส่วนที่ทำงานผิดปกติออกจากระบบทันที โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์จะเป็นตัวที่ตัดส่วนที่เกิดความผิดพร่องออกจากระบบจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.8.1 ประเภทของรีเลย์

1. รีเลย์ทั่วไป (General Relay)

รูปที่ **2.29** รีเลย์ทั่วไป (General Relay)



รูปที่ 2.30 สัญลักษณ์ของรีเลย์

เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีใช้ในวงการอิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ไฟลำดับที่สอง (secondary switch) คือเป็นสวิตซ์ ตัด-ต่อวงจร โดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้า ในทำงานนั้นจำเป็นต้องจ่ายกระแสไฟให้แก่รีเลย์ตามที่กำหนด เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟให้ตัวรีเลย์จะทำให้หน้าสัมผัสเกิดการติดกันกลายเป็นวงจรปิดและในทางตรงกันข้ามทันทีที่ไม่มีการจ่ายกระแสไฟให้กับตัวรีเลย์ก็จะกลายเป็นวงจรเปิด โดยกระแสไฟที่ใช้ป้อนให้กับตัวรีเลย์เป็นไฟที่มาจากแหล่งจ่ายไฟ ดังนั้นทันทีที่เปิดใช้งานเครื่องจะทำให้รีเลย์ทำงานได้ทันที

จุดต่อ NC (normal close) คือ ปกติปิด หรือ หากยังไม่จ่ายกระแสไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะติดกัน โดยทั่วไปนิยมต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการให้ทำงานตลอดเวลา

จุดต่อ NO (normal open) คือ ปกติเปิด หรือหากยังไม่จ่ายกระแสไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะไม่ติดกัน โดยทั่วไปนิยมต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุมการเปิดปิดเช่น โคมไฟสนามหรือหน้าบ้าน

จุดต่อ C (common) คือจุดร่วมที่ต่อมาจากแหล่งจ่ายไฟ

2. ไทม์เมอร์รีเลย์ (Timer Relay)

รูปที่ 2.31 ไทม์เมอร์รีเลย์ (Timer Relay)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ในการควบคุมเวลาการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ให้เป็นไปตามที่ผู้ใช้ต้องการ นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมโรงงาน ซึ่งเป็นส่วนประกอบในเครื่องจักรที่สำคัญมากวงจรนี้เหมาะสำหรับใช้กับมอเตอร์ขนาดใหญ่ตั้งแต่ 10 แรงม้าขึ้นไป เช่น มอเตอร์ที่ขับใบมีดในการตัดชิ้นงาน มอเตอร์ขับปั๊มน้ำขึ้นแทงค์ เป็นต้น

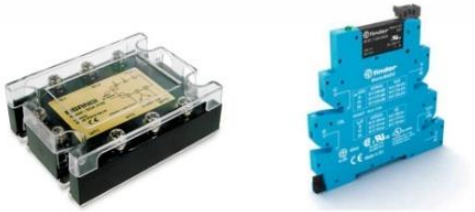
3. โปรเทคชั่น รีเลย์ (Protection Relay)

รูปที่ 2.32 โปรเทคชั่น รีเลย์ (Protection Relay)

โปรเทคชั่น รีเลย์ เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า รีเลย์ป้องกันไฟฟ้า คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดกับอุปกรณ์ไฟฟ้า และทำงานสั่งปลดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เกิดปัญหาออกจากระบบไฟฟ้าโดยเร็ว เพื่อไม่ให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายรีเลย์ชนิดนี้จะใช้เงื่อนไขในการตรวจสอบความผิดปกติดังต่อไปนี้

1. over current คือ กระแสในขณะใช้งานมีค่าเกินที่กำหนด Protection Relay จะทำการตัดระบบ
2. max/min voltage คือ แรงดันในขณะใช้งานมีค่าเกินหรือต่ำกว่าที่กำหนด
3. phase sequence คือ การเรียงลำดับเฟสไม่ถูกต้อง
4. phase loss คือ แรงดันของเฟสใดเฟสหนึ่งหายไป
5. min/max frequency คือความถี่ในขณะใช้งานมีค่าเกินหรือต่ำกว่าที่กำหนด
6. asymmetry คือ ไม่มีความสมดุลทางไฟฟ้า (unbalance)

4. โซลิดสเตท รีเลย์ (Solid State Relay)



รูปที่ 2.33 โซลิดสเตท รีเลย์ (Solid State Relay)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซลิดสเตท รีเลย์นิยมเรียกตามตัวย่อว่า SSR เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ใช้หน้าสัมผัสในการตัดต่อวงจร แต่จะใช้เทคโนโลยีของ เซมิคอนดักเตอร์ (Semiconductor) ทำให้ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ เพื่อลดเสียงรบกวนที่เกิดขึ้น และเพิ่มอายุการใช้งานได้ยาวนานมากขึ้นวงจรของโซลิดสเตทรีเลย์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อช่วยงานของท่านได้อย่างหลากหลาย เช่นใช้ควบคุมระบบเปิดปิดไฟฟ้าแสงสว่างใช้ควบคุมขดลวดความร้อนใช้ควบคุมโซลินอยด์วาล์วใช้ควบคุมการ start motor 1 phase ประยุกต์ใช้กับงานกับวงจรไฟ 3 เฟสใช้ควบคุมการ start motor 3 เฟสและใช้ควบคุมขดลวดความร้อน

2.2.8.2 ประโยชน์ของรีเลย์

1. ทำให้ระบบส่งกำลังมีเสถียรภาพ โดยรีเลย์จะตัดวงจรเฉพาะส่วนที่เกิดความผิดปกติออกเท่านั้น ซึ่งจะเป็นการลดความเสียหายให้แก่ระบบ

2. ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมส่วนที่เกิดความผิดปกติ

3. ลดความเสียหายไม่ให้เกิดการลุกลามไปยังอุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบ

4. ทำให้ระบบไฟฟ้าไม่ดับทั้งระบบ เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นในระบบ

2.2.8.3 คุณสมบัติที่ดีของรีเลย์

1. มีความไว (sensitivity) คือ มีความสามารถในการตรวจพบสิ่งที่ผิดปกติเพียงเล็กน้อยได้รวดเร็ว

2. มีความเร็วในการทำงาน (speed) คือ มีความสามารถในการทำงานได้รวดเร็ว ไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์และไม่กระทบกระเทือนต่อระบบ โดยทั่วไปเวลาที่ใช้ในการตัดวงจรจะขึ้นอยู่กับระดับของแรงดันของระบบ

ระบบ 6-10 กิโลวัตต์ จะต้องตัดวงจรภายในเวลา 1.5-3.0 วินาที

ระบบ 100-220 กิโลวัตต์ จะต้องตัดวงจรภายในเวลา 0.15-0.3 วินาที

ระบบ 300-500 กิโลวัตต์ จะต้องตัดวงจรภายในเวลา 0.1-0.12 วินาที

ข้อที่ควรคำถึงในการใช้งานรีเลย์

1. แรงดันใช้งาน ที่ตัวรีเลย์จะระบุค่าแรงดันใช้งานไว้ เช่น 12VDC คือต้องใช้แรงดันที่ 12 VDC เท่านั้นหากใช้มากกว่านี้ขดลวดภายในตัวรีเลย์อาจจะขาดได้ หรือหากใช้แรงดันต่ำกว่ามากรีเลย์จะไม่ทำงาน ส่วนในการต่อวงจรนั้นสามารถต่อขั้วใดก็ได้ เพราะตัวรีเลย์จะไม่ระบุขั้วต่อ

2. การใช้งานกระแสผ่านหน้าสัมผัส ที่ตัวรีเลย์จะระบุไว้ เช่น 10A 220AC คือ หน้าสัมผัสของรีเลย์นั้นสามารถทนกระแสได้ 10 แอมแปร์ที่ 220VAC ซึ่งควรใช้งานที่ระดับกระแสต่ำกว่าที่ระบุไว้ เพราะถ้ากระแสมากกว่าที่ระบุทำการสัมผัสหน้าสัมผัสของรีเลย์จะละลายและเสียหายในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จำนวนหน้าสัมผัสการใช้งาน ควรคำนึงถึงว่ารีเลย์นั้นมีหน้าสัมผัสให้ใช้งานกี่อัน และมีขั้วคอมมอนด้วยหรือไม่

2.2.9 อาดูโน (Arduino)

อาดูโน คือ บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบเปิดเผยข้อมูลในด้านฮาร์ดแวร์ และ ซอฟต์แวร์ (การพัฒนาแบบ open source) ตัวบอร์ดอาดูโน ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย โดยผู้ใช้สามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จากภายนอกก่อนแล้วจึงเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ดอาดูโน หรือสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่าง ๆได้ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา และยังสามารถดัดแปลงเพิ่มเติมต่อยอดได้อีกด้วย

2.2.9.1 จุดเด่นของบอร์ดอาดูโน

1. ง่ายต่อการเรียนรู้และใช้งาน เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษาการเขียนโปรแกรม
2. สามารถใช้งานได้กับงานที่มีความซับซ้อนมากได้ และสามารถสร้างคำสั่ง library ขึ้นมาใช้งานเองได้
3. ราคาไม่แพง สามารถต่อวงจรใช้ได้เอง เนื่องจากมีการพัฒนาแบบ open source
4. cross platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดก็ได้

2.2.9.2 ประเภทของอาดูโน

1. อาดูโน Uno R3 เป็นบอร์ดอาดูโน ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด มีราคาไม่แพงและเมื่อ MCU เสีย สามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ ส่วนใหญ่โปรเจคและ library ต่าง ๆ จะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก

รูปที่ 2.34 อาดูโน Uno R3

2. อาดูโน Uno SMD เป็นบอร์ดที่มีคุณสมบัติคล้ายกับบอร์ด อาดูโน UNO R3 แต่จะแตกต่างกันที่ Package ของ MCU ซึ่งบอร์ดนี้จะมี MCU ที่เป็น Package SMD (อาดูโน UNO R3 มี MCU ที่เป็น Package DIP)

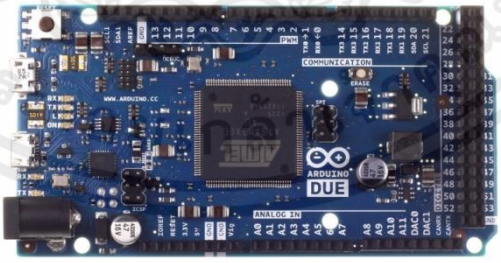
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.35 อาดูโน Uno SMD

3. อาดูโน Mega 2560 R3เป็นบอร์ดที่ออกแบบมาเพื่องานที่ต้องใช้ I/O จำนวนมาก (มากกว่า อาดูโน Uno R3) และมีหน่วยความจำมากกว่า อาดูโน Uno R3 ทำให้เขียนโค้ดโปรแกรมได้จำนวนมากกว่าส่วนใหญ่เป็นงานที่ต้องรับสัญญาณหลายๆตัว

รูปที่ 2.36 อาดูโน Mega 2560 R3

4. อาดูโน Due เป็นบอร์ดอาดูโน ที่เปลี่ยนชิป MCU ใหม่ ซึ่งจากเดิมเป็นตระกูล AVR เปลี่ยนเป็นเบอร์ AT91SAM3X8E ทำให้การประมวลผลเร็วขึ้น แต่โค้ดของโปรแกรมของอาดูโนนั้นยังง่ายอยู่



รูปที่ 2.37 อาดูโน Due

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.9.3 อาดูโน โค้ด

2.2.9.3.1 ชนิดของตัวแปรในอาดูโนที่นิยมใช้

1. boolean ใช้เก็บค่าข้อมูล เพียง 2 จำนวน คือ TRUE (จริง) และ FALSE (เท็จ)

2. char ใช้เก็บค่าข้อมูลขนาด 8 บิต ใช้สำหรับเก็บค่ารหัสของตัวอักษร ซึ่งสามารถกำหนดเป็นค่า หรือ เขียนตัวอักษรไว้ภายใต้เครื่องหมาย ฟันเดียว (‘) เช่น ‘A’ หรือ 0x41 หรือ 65

3. byte ใช้เก็บค่าข้อมูลขนาด 8 บิต ที่เป็นค่าจำนวนเต็มแบบไม่คิดเครื่องหมาย (เหมือนกับ unsigned char ในภาษาซี) โดยสามารถเก็บค่าข้อมูลได้ 256 ค่า คือ 0-255

4. int หรือ Integer ใช้เก็บค่าข้อมูลขนาด 16 บิต ที่เป็นค่าจำนวนเต็ม แบบคิดเครื่องหมาย โดยสามารถใช้เก็บข้อมูลได้ 65536 ค่า คือ -32768 ถึง +32767

5. unsigned int ใช้เก็บค่าข้อมูลขนาด 16 บิต ที่เป็นค่าจำนวนเต็ม แบบไม่คิดเครื่องหมาย โดยสามารถใช้เก็บข้อมูลได้ 65536 ค่า คือ 0-65535

6. long ใช้เก็บค่าข้อมูลขนาด 32 บิต ที่เป็นค่าเลขจำนวนเต็มแบบคิดเครื่องหมาย โดยสามารถใช้เก็บข้อมูลได้ 4294967296 ค่า คือ -2,147,483,648 ถึง 2,147,483,647

7. unsigned long ใช้เก็บค่าข้อมูลขนาด 32 บิต ที่เป็นค่าเลขจำนวนเต็มแบบไม่คิดเครื่องหมาย โดยสามารถใช้เก็บข้อมูลได้ 4294967296 ค่า คือ 0 ถึง 4,294,967,295

8. float ใช้เก็บค่าข้อมูลที่เป็นเลขทศนิยมแบบคิดเครื่องหมายขนาด 32 บิต โดยสามารถเก็บค่าได้ระหว่าง3.4E-38 ถึง 3.4E+38 (-3.4028235E+38 ถึง 3.4028235E+38)

9. double ใช้เก็บค่า เลขทศนิยมเช่นเดียวกันกับ float แต่มีค่าความละเอียดกว่า float ถึง 2 เท่า สามารถเบนค่าได้มากถึง 1.7E+308

10. void เป็นตัวแปรแบบที่ไม่มีการเก็บค่าใด ๆ

11. arrays เป็นตัวแปรที่ใช้เก็บข้อมูลหลายๆค่าไว้ในตัวแปรตัวเพียงชื่อเดียว แต่มีตัวเลขสำหรับชี้ตำแหน่งการเก็บข้อมูลต่างกัน โดยตัวเลขที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวชี้ตำแหน่งของข้อมูล เรียกว่า Index Number โดยค่าลำดับของข้อมูลในตัวแปร array ตำแหน่งแรกจะมีค่าเป็น ศูนย์เสมอ

12. string เป็นตัวแปรใช้เก็บข้อความ หรือ ตัวอักษรหลายๆตัว ซึ่ง string ก็คือ array ของตัวแปรแบบ char นั่นเอง

13. pointer เป็นตัวแปรที่ไม่ได้ใช้เก็บข้อมูล แต่ใช้เก็บค่าตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำที่ใช้ สร้างเป็นตัวแปรสำหรับเก็บข้อมูล ซึ่งตัวแปรแบบนี้จะใช้ทำหน้าที่เป็นตัวชี้ไปยังตำแหน่งแอดเดรสของตัวแปรอื่น ๆ อีกที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.9.3.2 การประกาศตัวแปร

การประกาศตัวแปรเหมือนกับภาษา C เช่น

ตัวอย่างที่ 1

```
TYPE KEY;
```

โดย TYPE คือ ชนิดของข้อมูล

KEY คือ ชื่อตัวแปร

การประกาศตัวแปรข้างต้นคือการประกาศตัวแปรแบบไม่กำหนดค่า ดังนั้นค่าปกติที่อ่านจากตัวแปรจะเป็น 0

ตัวอย่างที่ 2

```
TYPE KEY = VAL;
```

เป็นลักษณะของการประกาศตัวแปรแบบกำหนดค่า เมื่ออ่านค่าของตัวแปรออกมา จะเป็นค่าที่กำหนดไว้ตอนประกาศ

ตัวอย่างที่ 3

```
int i;
int a = 10, b = 20;
```

จากตัวอย่างที่ 3จะเห็นว่าสามารถกำหนดชนิดของข้อมูลในครั้งเดียวได้หลายตัวแปร โดยใช้เครื่องหมาย (,) คั่นไว้

ตัวอย่างที่ 4

```
int i;
int a = 10, b = 20;
i = a + b;
```

จากตัวอย่างด้านบน สามารถกำหนดค่าให้กับตัวแปรเมื่อไรก็ได้ โดยใช้เครื่องหมายเท่ากับ (=) เป็นตัวเชื่อม ชื่อตัวแปรจะอยู่ด้านซ้าย และค่าที่ต้องการกำหนดค่า ให้อยู่ด้านขวา ค่าที่อยู่ด้านขวาจะถูกนำมาใส่ในค่าที่อยู่ทางซ้ายเสมอ

ตัวอย่างที่ 5

```
int i = 10, a;
a = i;
```

จากตัวอย่างด้านบน จะเห็นว่า a ไม่ได้ถูกกำหนดค่าไว้ตอนประกาศตัวแปร ทำให้ค่าที่อ่านได้จาก a คือ 0 แต่บรรทัดถัดมามีการกำหนดค่าให้ a เท่ากับ i ซึ่งตอนประกาศตัวแปร i ได้ประกาศไว้ว่ามีค่าเท่ากับ 10 เมื่อนำมาใส่ a ค่าที่อ่านได้จาก a จึงเป็น 10 ด้วยเช่นเดียวกับ i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 6

```
boolean is = false;
is = !is;
```

จากตัวอย่างด้านบน มีการประกาศตัวแปร boolean ซึ่งเป็นตัวแปรทางลอจิก มีค่าเป็น true (1) หรือ false (0) เท่านั้น ในบรรทัดแรกประกาศให้ตัวแปร is เป็นตัวแปรชนิด boolean และมีค่าเป็น false หรือลอจิก 0 บรรทัดถัดมามีการกำหนดให้ตัวแปร is เท่ากับ !is การใส่เครื่องหมายนิเสธไว้หน้าตัวแปร หมายถึงการกลับเป็นค่าตรงข้าม จากบรรทัดแรก ตัวแปร is มีค่าเป็น false เมื่อเจอ !is ค่าจึงถูกกลับเป็น true และถูกนำไปใช้ในตัวแปร is ทำให้สุดท้ายแล้วตัวแปร is มีค่าเป็น true

ตัวอย่างที่ 7

```
String text = "arduino";
```

จากตัวอย่างด้านบน ได้มีการประกาศตัวแปรชื่อ text เป็นชนิด String เมื่ออ่านค่าที่ได้จาก text จึงได้ค่าออกมาเป็น "arduino" ซึ่งการกำหนดค่าแบบข้อความให้กับตัวแปร จะต้องอยู่ภายใต้เครื่องหมาย " " เท่านั้น มิฉะนั้นโปรแกรมจะแสดงข้อความผิดพลาดออกมา

2.2.9.3.3 การทำงานของอาดูโน

อาดูโนมีฟังก์ชันหลักอยู่ 2 ฟังก์ชัน ได้แก่

1. ฟังก์ชัน setup คือฟังก์ชันหลักสำหรับการทำงาน จะทำงานเพียง 1 ครั้งหลังจากได้ทำการรันโปรแกรมและจะทำงานในฟังก์ชันถัดไป คือ ฟังก์ชัน loop
2. ฟังก์ชัน loop คือฟังก์ชันการทำงานของฟังก์ชัน loop จะทำงานวนซ้ำไปเรื่อย ๆ เรียกว่า infinite loop เป็นการทำงานที่ไม่มีสิ้นสุด

ส่วนฟังก์ชัน header ในส่วนนี้จะมีหรือไม่มีก็ได้ ถ้ามีต้องกำหนดไว้ในส่วนเริ่มต้นของโปรแกรม ซึ่งส่วนของ header ได้แก่ ส่วนที่เป็น compiler directive ต่าง ๆรวมไปถึงส่วนของการประกาศตัวแปร และค่าคงที่ต่าง ๆที่จะใช้ในโปรแกรม

การทำงานของฟังก์ชัน setup และ อธิบาย code

ตัวอย่างการทำงาน จะทำการพิมพ์ Hello Word ออกทาง serial monitor เพียงหนึ่งครั้ง

```
void setup() {
 Serial.begin(9600);
 Serial.print("Hello Word");
}
void loop() {
}
```

รูปที่ 2.38 ตัวอย่าง code คำสั่งอาดูโนของฟังก์ชัน setup

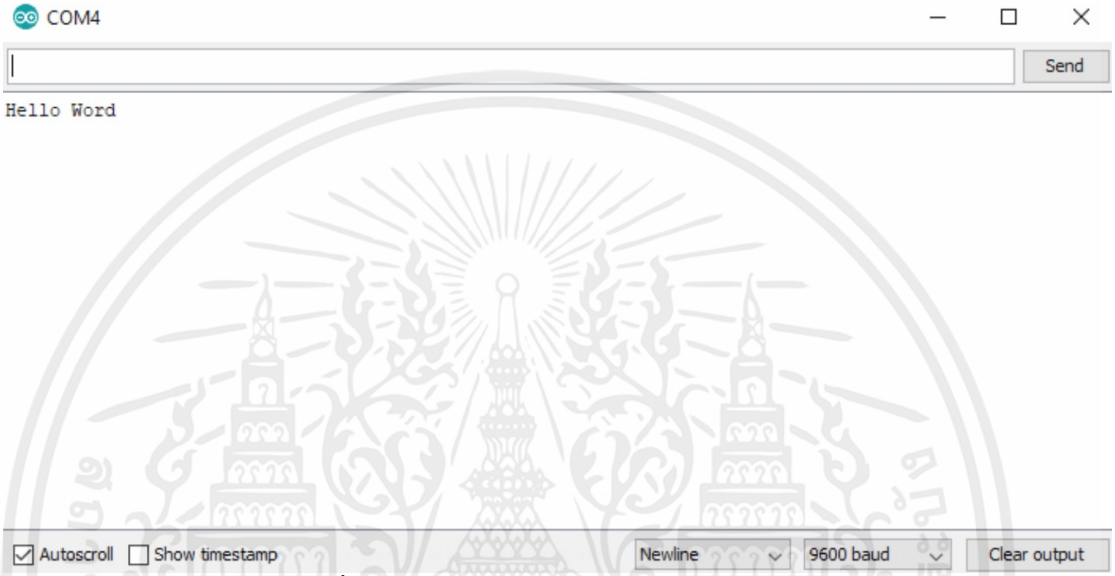
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบาย code

Serial.begin(9600) คือ การประกาศความเร็วในการรับส่งข้อมูล เป็นหน่วยมิลลิวินาที

Serial.print(“Hello Word”) คือ การสั่งพิมพ์ตัวอักษรที่มีชื่อว่า Hello Word ให้แสดงออกผ่านทาง serial monitor

ผลลัพธ์ที่แสดงทางหน้าจอ มีความเร็วในการรับส่งข้อมูล 9600 มิลลิวินาที หรือ 9.6 วินาที



รูปที่ 2.39 ตัวอย่างผลลัพธ์ของฟังก์ชัน setup

การทำงานของฟังก์ชัน loop และ อธิบาย code

ตัวอย่างการทำงาน จะทำการพิมพ์ Hello Word ออกทาง serial monitor เรื่อย ๆ ทุก ๆ 1 วินาที

```
void setup() {
 Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  Serial.println("Hello Word");
  delay(1000);
}
```

รูปที่ 2.40 ตัวอย่าง code คำสั่งอาดูโนของฟังก์ชัน loop

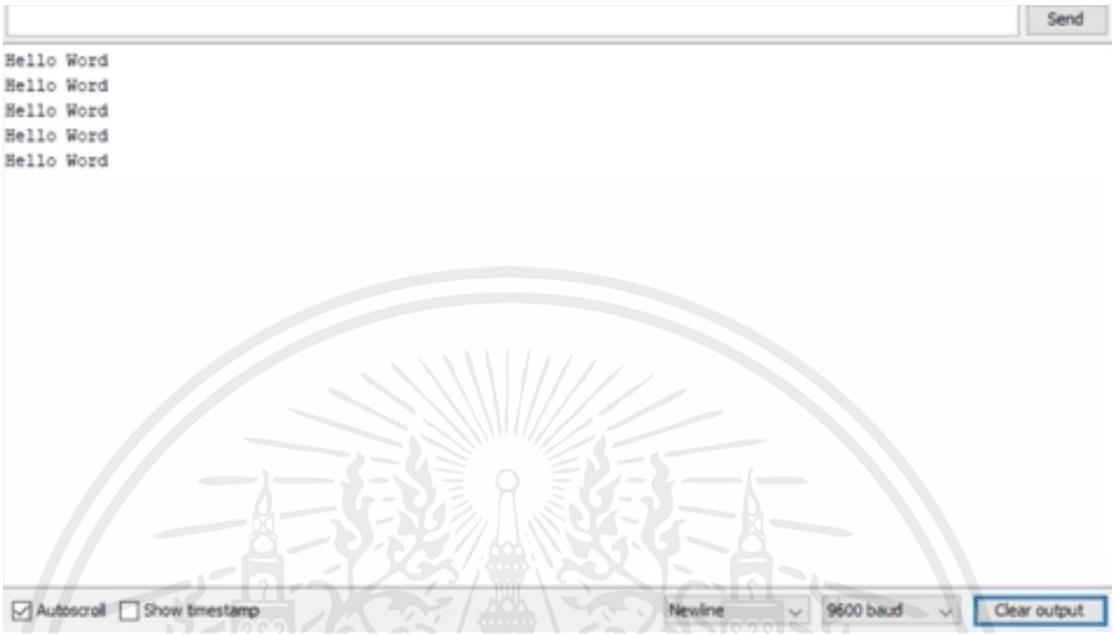
อธิบาย code

Serial.println(“Hello Word”) คือการสั่งพิมพ์ตัวอักษรที่มีชื่อว่า Hello Word ให้แสดงออกผ่านทาง serial monitor

delay(1000) คือการหน่วงเวลา 1000 ms = 1 s หรือ 1วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ที่แสดงทางหน้าจอ จะทำงานซ้ำพร้อมขึ้นบรรทัดใหม่ มีความหน่วง 1 วินาที วนไปเรื่อย ๆ จนครบเวลา 9.6 วินาที



รูปที่ 2.41 ตัวอย่างผลลัพธ์ของฟังก์ชัน loop

Serial.print คือการพิมพ์ตัวอักษรชุดต่อกัน
Serial.println คือการพิมพ์ชุดตัวอักษรและขึ้นบรรทัดใหม่

2.2.10 เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography; HPLC)

2.2.10.1 หลักการของ HPLC

HPLC เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับแยกสารประกอบ โดยกระบวนการของคอลัมน์โครมาโทกราฟี จะเกิดขึ้นระหว่าง 2 เฟส โดยเฟสอยู่กับที่ คือคอลัมน์ (column) กับเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ที่เป็นเฟสของเหลวซึ่งจะวิเคราะห์ที่เวลาแตกต่างกัน โดยการที่สารผสมในตัวอย่างจะสามารถถูกแยกออกจากกันได้นั้น จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการเข้ากันได้ดีของสารนั้น กับเฟสที่เคลื่อนที่หรือเฟสที่อยู่กับที่โดยสารประกอบที่สามารถเข้ากันได้ดี กับเฟสที่เคลื่อนที่สารนั้นจะถูกแยกออกมาก่อน ส่วนสารที่เข้ากันได้ไม่ดีกับเฟสที่เคลื่อนที่ หรือเข้ากันได้ดีกับเฟสอยู่กับที่ก็จะถูกแยกออกมาทีหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.10.2 ส่วนประกอบของ HPLC

1. เฟสเคลื่อนที่ คือ ตัวทำละลายที่ใช้ในการแยกตัวอย่าง ทำหน้าที่ในการนำสารตัวอย่างและตัวทำละลายเข้าสู่ column

2. ปั๊ม ทำหน้าที่ดึง mobile phase เข้าสู่ระบบ HPLC

3. ช่องฉีดสาร (injector) ทำหน้าที่ฉีดสารตัวอย่างเพื่อเข้าสู่ระบบ HPLC

4. คอลัมน์ หรือจะเรียกว่า stationary phase เป็นเฟสอยู่กับที่ ทำให้เกิดกระบวนการแยกของสารที่สนใจ โดยการบวนการแยกเกิดขึ้นระหว่าง mobile phase กับ stationary phase

5. เครื่องวัดสัญญาณ (detector) คือ ตัวตรวจวัดสัญญาณ ทำหน้าที่ในการตรวจวัดสัญญาณของสารที่สนใจที่ได้จากกระบวนการแยก

6. เครื่องวัดสัญญาณ (recorder) ทำหน้าที่รับสัญญาณที่ออกจาก detector และประมวลผลออกมาเป็นโครมาโทรแกรม

รูปที่ 2.42 เครื่อง HPLC

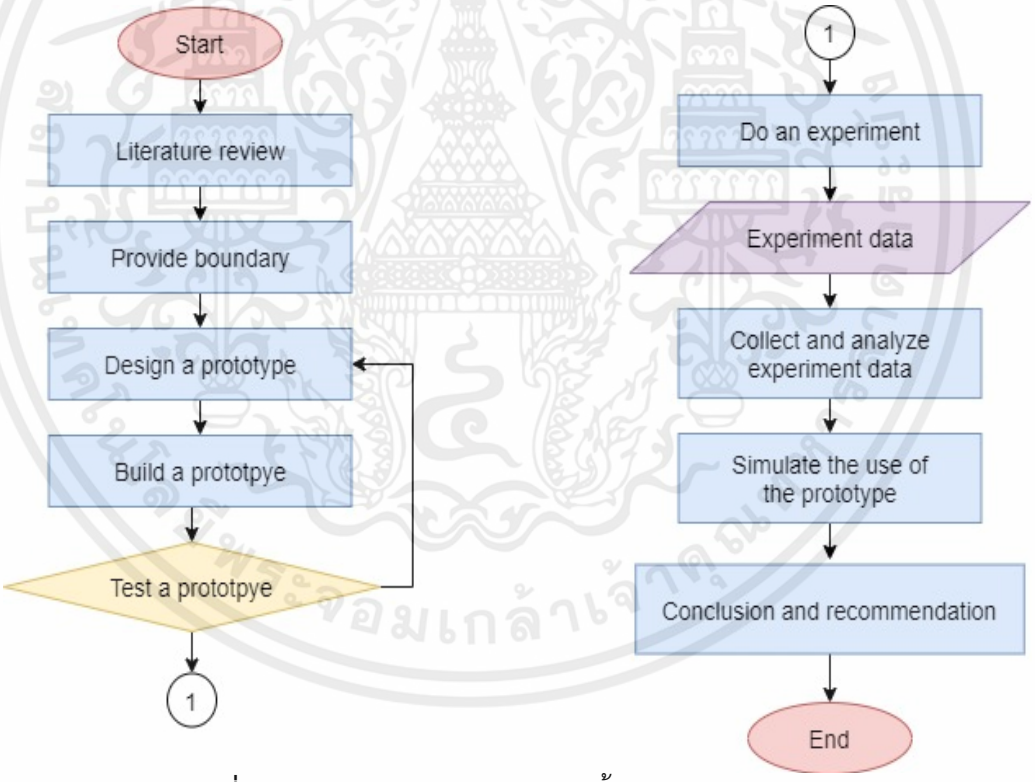
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานและชุดทดลอง

วิธีดำเนินงานและออกแบบชุดทดลองต้นแบบ ซึ่งประกอบด้วย ขั้นตอนการดำเนินงาน การออกแบบชุดทดลองต้นแบบ การทำงานของชุดทดลองต้นแบบ การใช้งานชุดทดลองต้นแบบ วิธีการทดลอง และแนวทางการเขียนโค้ดอาดูโนเพื่อใช้ในการควบคุมโซลินอยด์วาล์ว

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มจากการศึกษาปัญญาที่เกิดจากสารอะทราซีนศึกษาการสลายตัวของอะทราซีนด้วยแสงยูวีซี ศึกษาการใช้งานหลอดยูวีซี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาออกแบบชุดทดลองต้นแบบ



รูปที่ 3.1 แผนผัง (flowchart) แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบชุดทดลองต้นแบบ

ในการออกแบบชุดทดลองต้นแบบ ออกแบบโดยใช้โปรแกรม solid edge 2020 ในการเขียนแบบจำลอง โดยชุดทดลองต้นแบบสามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี สามารถปรับระดับความสูงของหลอดยูวีซี สามารถปรับระดับความสูงของสารละลายได้ และชุดทดลองต้นแบบต้องห้ามไม่ให้แสงด้านในและด้านนอกเข้าออกได้เพื่อป้องกันไม่ให้แสงด้านนอกเข้ามารบกวน และป้องกันไม่ให้แสงด้านในหลุดออกไปด้านนอก

3.2.1 หลักการในการออกแบบชุดทดลองต้นแบบ

วัสดุที่ใช้คือ stainless steel 304 เพราะ มีความต้านทานการกัดกร่อนของสารเคมีได้อย่างดี ยากต่อการสนิม และสามารถขึ้นรูปเย็นและเชื่อมได้ง่าย เนื่องจากมีอุปกรณ์หลายชิ้นส่วนที่ต้องการเพิ่มเข้าไปในชุดทดลองต้นแบบ ทำให้ขนาดที่เหมาะสมที่สุด คือ 300x550x700 มิลลิเมตร โดยความยาวของถังสแตนเลสอ้างอิงจากความยาวของหลอดยูวีซี ซึ่งหลอดยูวีซีที่มีค่าวัตต์สูงสุด และมีความยาวสั้นที่สุด คือหลอดยูวีซีขนาด 25 วัตต์ยาว 44 มิลลิเมตร ซึ่งการเลือกใช้หลอดยูวีซีขนาดดังกล่าวในการทดลอง เนื่องจากเมื่อค่าวัตต์เพิ่มขึ้น ความยาวของหลอดไฟจะเพิ่มขึ้นด้วย แต่โจทย์ที่ได้รับต้องการให้ชุดทดลองต้นแบบมีขนาดที่พอเหมาะต่อการทดลอง และไม่ต้องการให้สารเคมีที่นำมาใช้ทำการทดลองมีปริมาณที่มากเกินไป เพราะต้องคำนึงถึงการกำจัดสารหลังทำการทดลองอีกด้วย

ต่อมาเป็นการเลือกอุปกรณ์เพิ่มเติม ได้แก่ ท่อ ปั๊ม เช็ควาล์ว โซลินอยด์วาล์ว รีเลย์ และ อาดูโน เริ่มจากท่อที่ใช้สำหรับการลำเลียงสารละลาย เลือกใช้เป็นท่อพีวีซี ซึ่งมีความทนทานและทนการกัดกร่อนได้ ปั๊มเพื่อปั๊มสารละลายไปสู่ถังบำบัด เลือกเป็นปั๊มสารเคมี (chemical pump) ที่ทำจากวัสดุ โพลีโพพรีลีน (polypropylene) ซึ่งมีความสามารถทนการกัดกร่อนได้ เช็ควาล์วเพื่อป้องกันการย้อนกลับของสารละลาย ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ ปั๊ม และท่อที่เกิดจากแรงกระแทกของน้ำที่ย้อนกลับ เลือกเป็นเช็ควาล์วพีวีซี ชนิดสปริงเช็ควาล์วเนื่องจากลิ้นวาล์วจะปิดทันทีเมื่อมีน้ำไหลย้อนกลับ โซลินอยด์วาล์ว ใช้เป็นประเภท normal close วัสดุพีวีซีเช่นเดียวกับเช็ควาล์ว ซึ่งถูกควบคุมการเปิด-ปิดด้วยอาดูโนและรีเลย์ รีเลย์ เลือกเป็น relay module 2 channel เพื่อใช้สำหรับโซลินอยด์วาล์ว 2 ตัว เชื่อมต่อเข้ากับอาดูโน เลือกใช้อาดูโน Uno R3 เนื่องจากใช้งานง่ายและเป็นที่นิยม

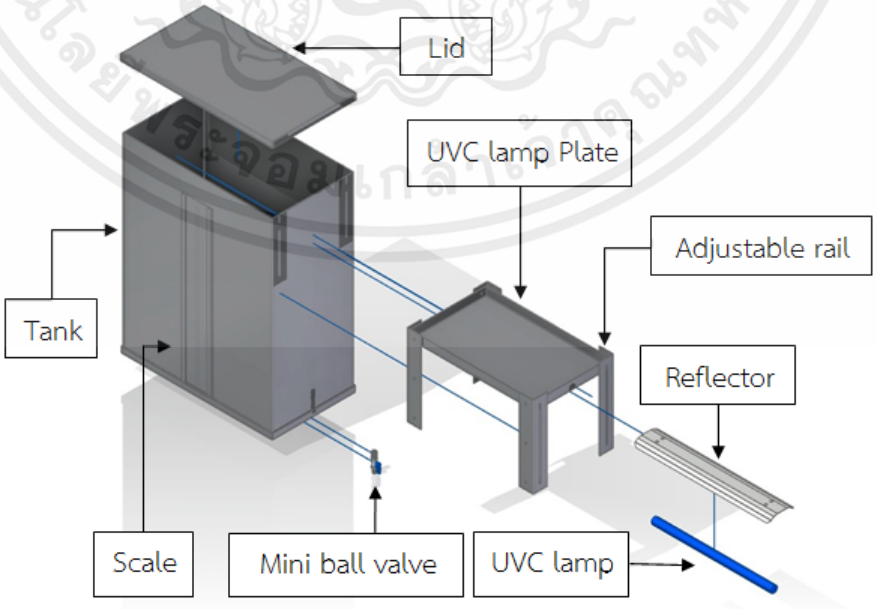
3.2.2 ส่วนประกอบของชุดทดลองต้นแบบ

1. ถัง stainless steel 304 ทรงสี่เหลี่ยมขนาด 300x550x700 มิลลิเมตร
2. หลอดยูวีซีขนาด 25 วัตต์ความยาว 44 มิลลิเมตรความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร
3. รีเฟลคเตอร์ยาว (reflector) ความยาว 50 มิลลิเมตร
4. ก๊อกน้ำขนาด ½ นิ้ว
5. ที่วัดระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

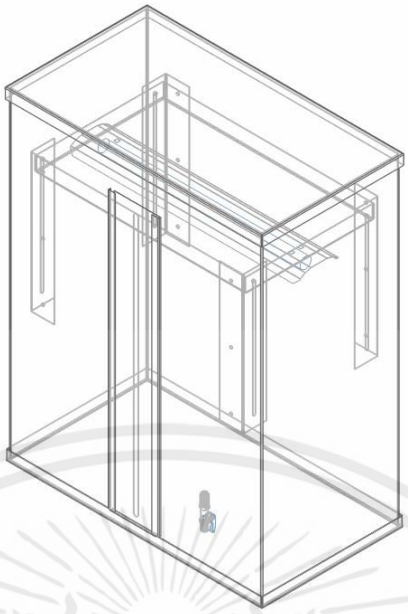
6. สเกลวัดระดับน้ำ
7. ฐานรองรับชุดทดลอง
8. ปั๊มสารเคมี 1 ตัว
9. โซลินอยด์วาล์ว 2 ตัว
10. สปริงเช็ควาล์ว 1 ตัว
11. รีเลย์ module 2 channel 1 ตัว
12. อาดูโน Uno R3 1 ตัว

รูปที่ 3.2 ชุดทดลองต้นแบบที่ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม solid edge 2020

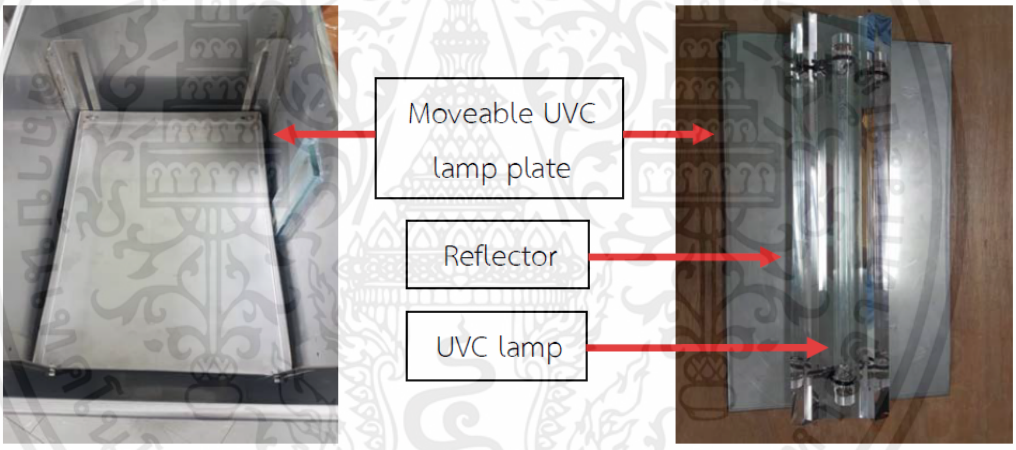


รูปที่ 3.3 ลักษณะและอุปกรณ์ที่อยู่ภายในถัง

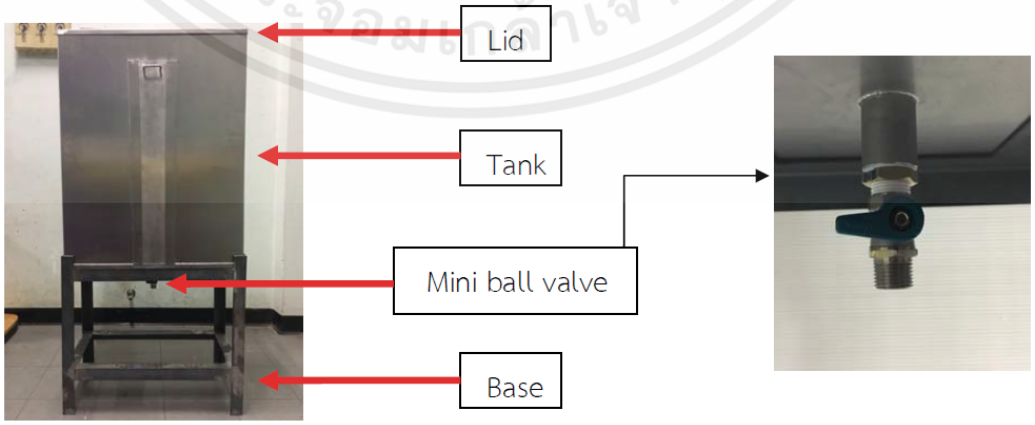
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 จำลองการติดตั้งอุปกรณ์ภายในถัง



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ภายในถัง



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ภายนอกถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 ปั๊มสารเคมี

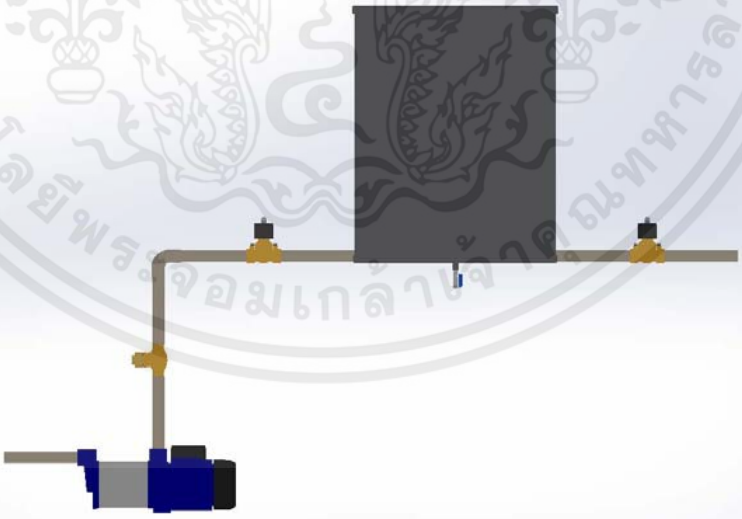
รูปที่ 3.8 สปริงเช็ควาล์ว

รูปที่ 3.9 โซลินอยด์วาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 รีเลย์ module 2 channel

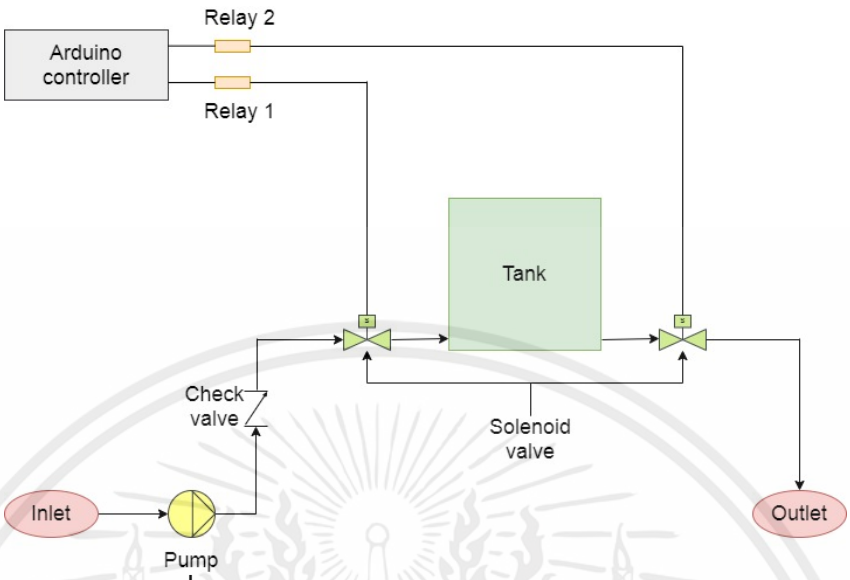
รูปที่ 3.11 อาดูโน Uno R3



รูปที่ 3.12 ภาพจำลองชุดทดลองต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทำงานของชุดทดลองต้นแบบ



รูปที่ 3.13 Block Diagram ของชุดทดลองต้นแบบ

การใช้งานชุดทดลองต้นแบบเริ่มต้นจากสารละลายที่ไหลเข้าทาง inlet จากนั้นจะถูกปั๊มขึ้นไป ผ่านเช็ควาล์วเพื่อป้องกันการย้อนกลับเข้าปั๊ม ไปสู่โซลินอยด์วาล์วที่ถูกควบคุมด้วยอาดูโน ก่อนจะเข้าสู่ถังบำบัดซึ่งมีหลอดยูวีซีติดตั้งไว้ด้านใน โซลินอยด์วาล์วของฝั่งขาเข้าและขาออกจะถูกควบคุมด้วยอาดูโน เพื่อให้ทำงานสัมพันธ์กันกับระยะเวลาที่ใช้ในการฉายแสงตามที่กำหนด เพื่อที่จะทำให้สารละลายถูกสลายจนถึงจุดที่สามารถปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ โดยในขณะที่โซลินอยด์วาล์วฝั่งขาเข้าเปิดเพื่อให้สารละลายไหลเข้าสู่ถังบำบัด โซลินอยด์วาล์วฝั่งขาออกจะยังปิดอยู่ และเมื่อครบกำหนดเวลาที่ใช้ในการฉายแสง โซลินอยด์วาล์วทางด้านขาออกจะเปิด ส่วนด้านขาเข้าจะปิด เพื่อให้สารละลายที่ถูกฉายแสงแล้วไหลออกไปทางด้าน outlet หลังจากนั้นก็จะทำงานวนแบบนี้ไปเรื่อย ๆ

3.4 การใช้งานชุดทดลองต้นแบบ

ในการใช้งานชุดทดลองต้นแบบ มีวิธีการใช้งานดังนี้

1. ใส่สารละลายลงถัง ความสูงของสารละลายควบคุมได้จากปริมาตรของสารละลายที่ใส่เข้าไป โดยความกว้าง ความยาวจะมีค่าคงที่ตามขนาดของถัง
2. ปรับระดับความสูงของหลอดยูวีซีด้วยการขันน็อตที่สล็อตฝั่งซ้ายและขวาให้หลวม จากนั้นทำการปรับขึ้นลงให้ได้ตามระดับที่ต้องการ แล้วขันน็อตให้แน่น
3. จากนั้นปิดฝาถังให้สนิทเพื่อป้องกันไม่ให้แสงด้านนอกเข้ามารบกวน และป้องกันไม่ให้แสงด้านในหลุดออกไปด้านนอก
4. เปิดสวิตช์หลอดยูวีซีเพื่อทำการฉายแสง
5. ปิดสวิตช์หลอดยูวีซีหลังจากครบตามเวลาที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน

1. การทดลองเก็บตัวอย่างสารละลายด้วยชุดทดลองต้นแบบ
2. การนำตัวอย่างสารละลายที่เก็บมาและทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

ขั้นตอนที่ 1

เริ่มจากการผสมสารอะทราซีนกับน้ำ DI ที่ความเข้มข้น 33 ppm ให้ได้ปริมาตร 8.25 ลิตร, 16.5 ลิตร และ 24.75 ลิตร เนื่องจากเป็นปริมาตรที่ได้ความสูงของสารละลายเป็น 5, 10 และ 15 เซนติเมตร ตามลำดับ หลังจากนั้นนำสารละลายที่ผสมแล้วใส่ในชุดทดลองต้นแบบ จากนั้นทำการเปิดสวิตช์หลอดยูวีซี และเริ่มจับเวลา โดยจะเก็บตัวอย่างสารละลายทุก ๆ 15 นาทีจนถึง 60 นาที หลังจากครบกำหนดเวลาจึงนำตัวอย่างที่เก็บได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

ขั้นตอนที่ 2

ก่อนเริ่มทำการใช้เครื่อง HPLC จำเป็นที่จะต้องมีคอลัมน์ไว้สำหรับการวิเคราะห์สารที่ใช้ในการทดลอง โดยในที่นี้จะใช้เป็นคอลัมน์สำหรับวิเคราะห์สารอะทราซีน และจะใช้เมทานอลเป็นตัวนำพาสารละลายตัวอย่างไหลเวียนอยู่ภายในเครื่อง HPLC โดยตอนก่อนเริ่มต้นจะต้องนำเมทานอลที่บรรจุอยู่ในขวดสีชาไปทำการไล่อากาศด้วยเครื่อง sonicator เพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศขณะทำการวิเคราะห์ จากนั้นจึงเริ่มทำการสตาร์ทเครื่อง และล้างคอลัมน์ด้วยการปล่อยให้เมทานอลวิ่งผ่านคอลัมน์ไปซักช่วงระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นจึงสามารถเริ่มการวิเคราะห์ได้ โดยวิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC มีดังนี้

1. กรองตัวอย่างสารละลายเพื่อป้องกันเศษอนุภาคที่ไม่ใช่สิ่งที่เราต้องการเข้าไปติดค้างอยู่ภายในคอลัมน์
2. ดูดตัวอย่างสารละลายด้วยเข็มสลิงขนาด 100 ml โดยต้องระวังไม่ให้มีฟองอากาศอยู่ภายในเข็ม
3. ฉีดเข้าเครื่อง HPLC และรอกราฟแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 แนวทางการเขียนโค้ดอาดูโนเพื่อใช้ในการควบคุมโซลินอยด์วาล์ว

sketch_apr20a

```
int Relay1 = 2; //กำหนดขาที่ใช้งาน ให้ Relay 1 สมมติใช้ขา 2
int Relay2 = 4; //กำหนดขาที่ใช้งาน ให้ Relay 2 สมมติใช้ขา 4
void setup () //กำหนดค่าให้ขาที่ใช้งาน
{
  pinMode(Relay1, OUTPUT); //กำหนดขาทำหน้าที่ ให้ขา 2 เป็น OUTPUT
  digitalWrite(Relay1,HIGH); //กำหนดขาทำหน้าที่ และสัญญาณไฟเข้า เป็น HIGH
  pinMode(Relay2, OUTPUT); //กำหนดขาทำหน้าที่ ให้ขา 4 เป็น OUTPUT
  digitalWrite(Relay2,HIGH); //กำหนดขาทำหน้าที่ และสัญญาณไฟเข้า เป็น HIGH
}
void loop () //ฟังก์ชันการทำงานซ้ำ
{
  digitalWrite(Relay1, HIGH); //สั่งให้ Relay 1 ทำงาน
  delay(120000); //กำหนดเวลาที่ให้ Relay ทำงาน สมมติให้หน่วง 2 นาที
  digitalWrite(Relay1, LOW); //สั่งให้ Relay 1 หยุดทำงาน
  delay(900000); //กำหนดเวลาที่ให้ Relay หยุดทำงาน สมมติให้หน่วง 15 นาที
  digitalWrite(Relay2, HIGH); //สั่งให้ Relay 2 ทำงาน
  delay(180000); //กำหนดเวลาที่ให้ Relay ทำงาน สมมติให้หน่วง 3 นาที
  digitalWrite(Relay2, LOW); //สั่งให้ Relay 2 หยุดทำงาน
  delay(1200000); //กำหนดเวลาที่ให้ Relay หยุดทำงาน สมมติให้หน่วง 20 นาที
}
```

รูปที่ 3.14 ตัวอย่างโค้ดเพื่อใช้ในการควบคุมโซลินอยด์วาล์ว

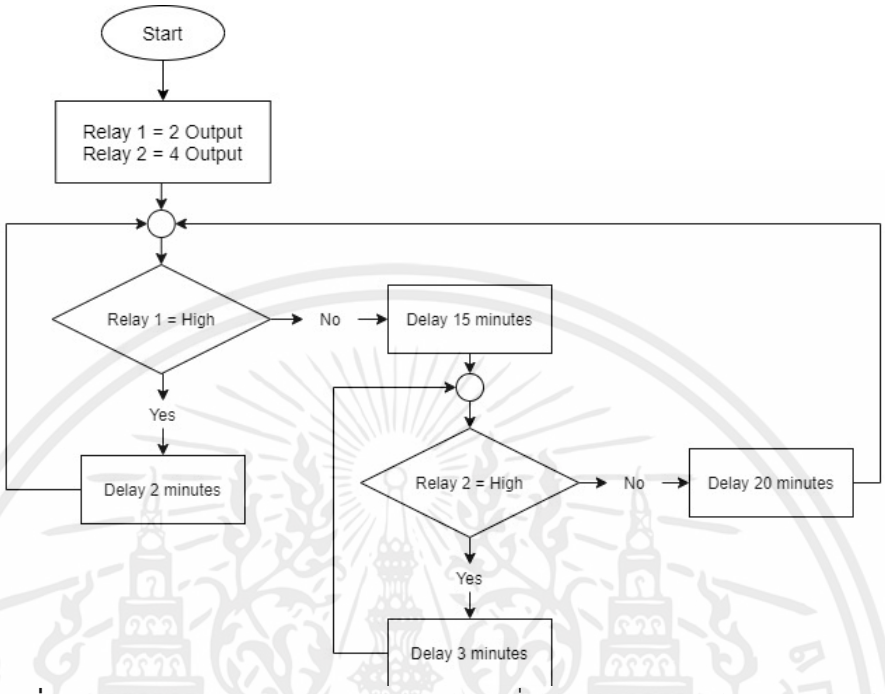
ในส่วน header เป็นการประกาศตัวแปรและกำหนดขาที่ใช้งาน ในที่นี้สมมติให้ Relay 1 ใช้ขา 2 และ สมมติให้ Relay 1 ใช้ขา 4

ในส่วนของฟังก์ชัน setup เป็นการกำหนดค่าให้ขาที่ใช้งาน ให้ Relay1 และ Relay2 เป็น Output เพื่อส่งสัญญาณออก เป็นค่า High และ Low โดย High = มีการจ่ายไฟให้ทำงาน Low = ไม่มีการจ่ายไฟ (0V) ซึ่งถ้ามีการจ่ายไฟจะทำให้รีเลย์เป็น normal close มีกระแสไฟผ่าน ส่งผลให้โซลินอยด์วาล์วเปิดเนื่องจากเป็นการทำงานแบบ normally open และถ้าไม่มีการจ่ายไฟจะทำให้รีเลย์เป็น normal open ไม่มีกระแสไฟผ่าน ส่งผลให้โซลินอยด์วาล์วปิดเนื่องจากเป็นการทำงานแบบ normally close

ในส่วนของฟังก์ชัน loop เป็นการสั่งให้มีการทำงานซ้ำ บรรทัดแรกเมื่อเริ่มการทำงาน Relay1 จะรับค่า HIGH ทำให้ Relay มีการทำงาน ต่อมาคำสั่ง delay เป็นคำสั่งเพื่อให้มีการหน่วงเวลา สมมติให้มีการหน่วงเวลาที่ Relay1 เป็นระยะเวลา 2 นาที หรือ 120000 มิลลิวินาที เพื่อให้โซลินอยด์วาล์วเปิดให้สารละลายไหลเข้าสู่ถังบำบัด ต่อมา Relay1 จะรับค่า LOW ทำให้ Relay หยุดการทำงาน สมมติให้มีการหน่วงเวลาที่ Relay1 เป็นระยะเวลา 15 นาที หรือ 900000 มิลลิวินาที เพื่อทำการฉายแสง หลังจากเสร็จกระบวนการฉายแสง Relay2 จะรับค่า HIGH ทำให้ Relay มีการทำงาน สมมติให้มีการหน่วงเวลาที่ Relay2 เป็นระยะเวลา 3 นาที หรือ 180000 มิลลิวินาที เพื่อเปิดวาล์วขาออกปล่อยสารละลายให้ไหลออก จากนั้น Relay2 จะรับจะค่า LOW ทำให้ Relay หยุดการทำงาน สมมติให้มีการหน่วงเวลาที่ Relay2 เป็นระยะเวลา 20 นาที หรือ 1200000 มิลลิวินาที เพื่อให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอดคล้องกับเวลาในการทำงาน และเพื่อปิดโซลินอยด์วาล์วที่ขาออก จากนั้นก็จะวนการทำงานแบบนี้ไปเรื่อย ๆ



รูปที่ 3.15 แผนผังการทำงานของตัวอย่างโค้ดเพื่อใช้ในการควบคุมโซลินอยด์วาล์ว

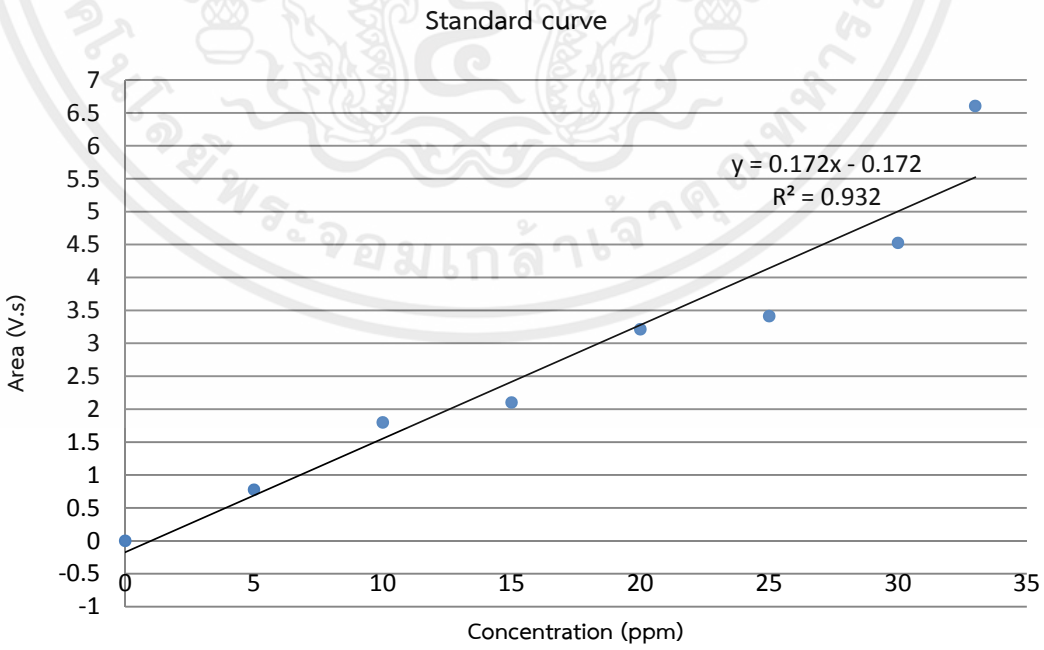
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลที่ได้จากการทดลองเป็นผลที่เก็บจากค่าความเข้มข้นของสาร โดยทำการหาค่าความเข้มข้นของสารจากกราฟมาตรฐานที่ได้เตรียมไว้และนำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (2-way ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS

ตารางที่ 4.1 ค่าความเข้มข้นและพื้นที่ใต้กราฟของกราฟมาตรฐาน

ความเข้มข้น (ppm)	พื้นที่ (V.s)
0	0
5	0.777
10	1.799
15	2.102
20	3.214
25	3.413
30	4.525
33	6.605



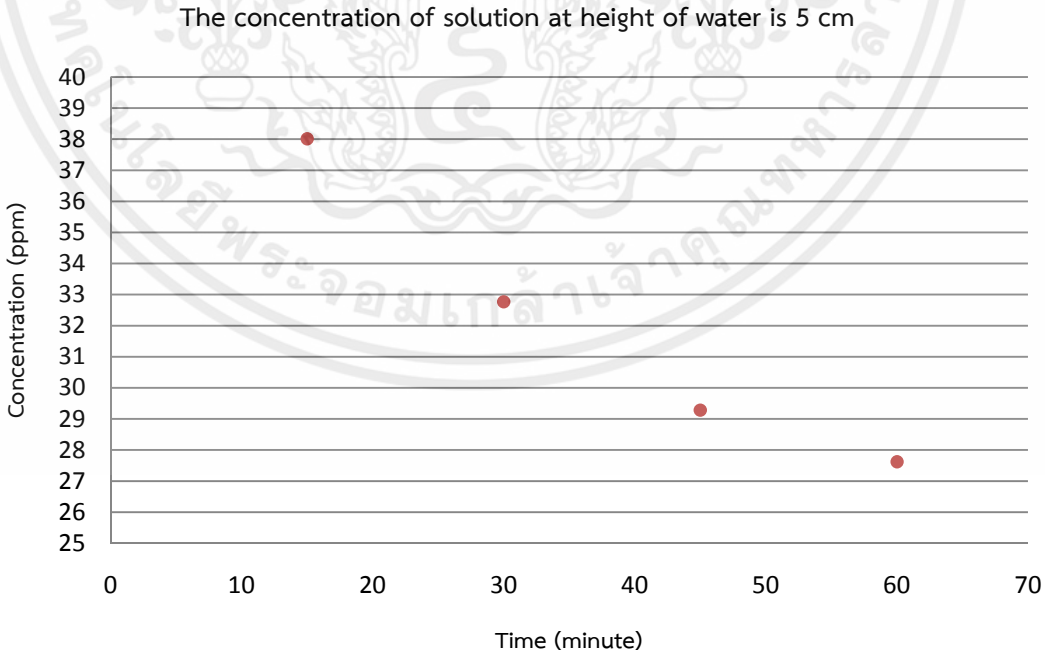
รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานในช่วงค่าความเข้มข้นตั้งแต่ 0 – 33 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองที่ระดับความสูงของสารละลายที่แตกต่างกันให้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.2 ค่าความเข้มข้นและพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายที่ระดับความสูง 5 เซนติเมตร

atrazine_5cm				
เวลา	ครั้งที่	พื้นที่(V.s)	พื้นที่เฉลี่ย (V.s)	ความเข้มข้น(ppm)
15 นาที	1	6.357	6.388	38.009±3.934
	2	5.725		
	3	7.082		
30 นาที	1	5.114	5.484	32.770±3.670
	2	6.215		
	3	5.122		
45 นาที	1	6.128	4.883	29.288±7.627
	2	3.505		
	3	5.015		
60 นาที	1	4.55	4.595	27.621±0.592
	2	4.712		
	3	4.523		

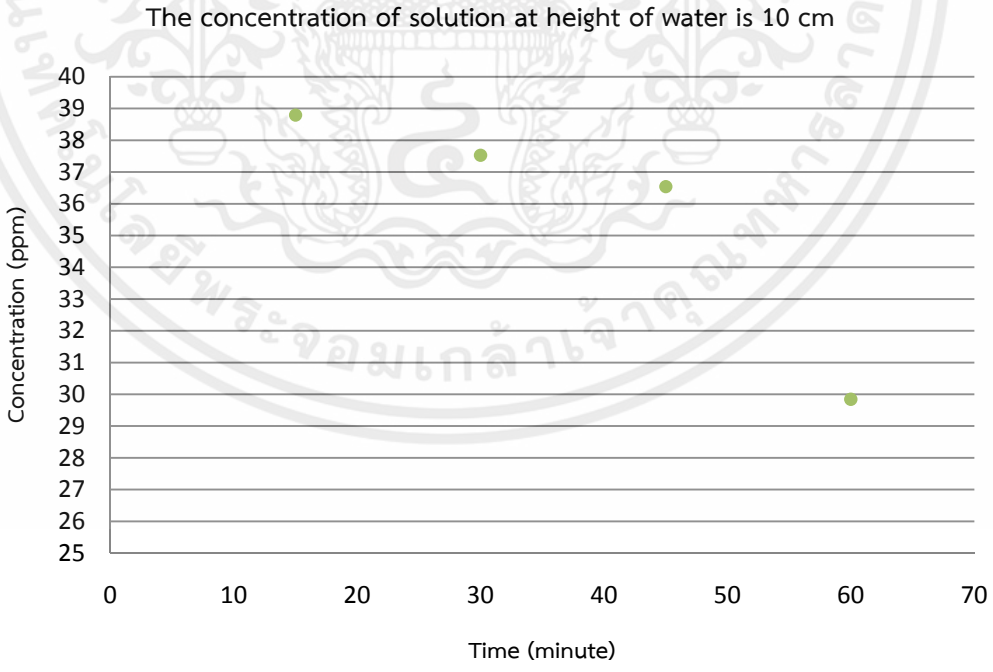


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับเวลาที่ระดับความสูงของสารละลาย 5 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าความเข้มข้นและพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายที่ระดับความสูง 10 เซนติเมตร

atrazine_10cm				
เวลา	ครั้งที่	พื้นที่(V.s)	พื้นที่เฉลี่ย (V.s)	ความเข้มข้น(ppm)
15 นาที	1	7.551	6.524	38.795±6.810
	2	5.242		
	3	6.778		
30 นาที	1	5.158	6.135	37.530±5.001
	2	6.866		
	3	6.38		
45 นาที	1	6.681	6.305	36.542±5.099
	2	5.318		
	3	6.917		
60 นาที	1	4.961	4.978	29.842±5.146
	2	4.099		
	3	5.875		

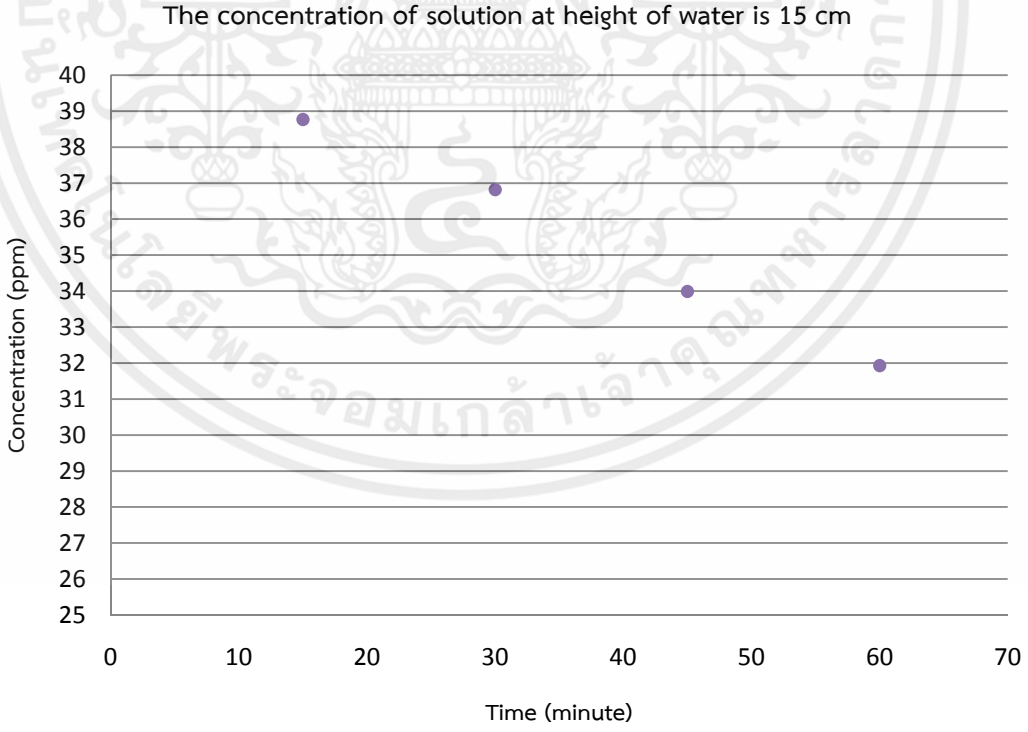


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับเวลาที่ระดับความสูงของสารละลาย 10 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าความเข้มข้นและพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายที่ระดับความสูง 15 เซนติเมตร

atrazine_15cm				
เวลา	ครั้งที่	พื้นที่(V.s)	พื้นที่เฉลี่ย (V.s)	ความเข้มข้น(ppm)
15 นาที	1	4.908	6.519	38.766±8.102
	2	7.424		
	3	7.224		
30 นาที	1	7.752	6.183	36.820±9.245
	2	6.234		
	3	4.562		
45 นาที	1	6.846	5.694	33.990±5.916
	2	4.9		
	3	5.337		
60 นาที	1	5.953	5.338	31.926±5.653
	2	5.848		
	3	4.213		

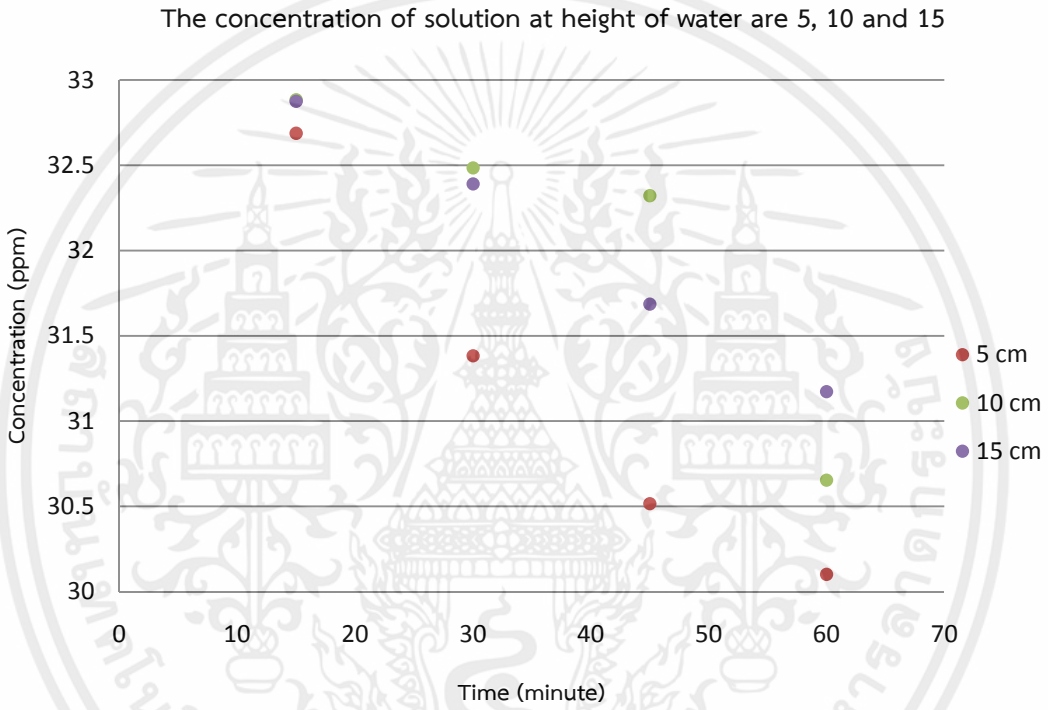


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับเวลาที่ระดับความสูงของสารละลาย 15 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟที่ได้ทั้ง 3 กรณีพบว่าหลังทำการฉายแสงยูวีซีแล้วนั้นสารละลายมีค่าลดลงจากค่าเริ่มต้น ซึ่งคือ 33 ppm

กรณีที่ 1 ที่ระดับความสูงของสารละลาย 5 เซนติเมตรมีค่าความเข้มข้น 38.009, 32.770, 29.288 และ 27.621 ppm กรณีที่ 2 ที่ระดับความสูงของสารละลาย 10 เซนติเมตรมีค่าความเข้มข้น 38.795, 37.530, 36.542 และ 29.842 ppm และ กรณีที่ 3 ที่ระดับความสูงของสารละลาย 15 เซนติเมตรมีค่าความเข้มข้น 38.766, 36.820, 33.990 และ 31.926 ppm ที่เวลาที่ 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับดังกราฟที่แสดงข้างต้นจะพบว่าความเข้มข้นของสารละลายมีค่าลดลงจากค่าเริ่มต้น เมื่อเขียนกราฟทั้ง 3 กรณีรวมกันได้ดังนี้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับเวลาทั้ง 3 กรณี

เมื่อทำการเขียนกราฟทั้ง 3 กรณีรวมกัน จะเห็นได้ว่าการลดลงของระดับความสูงของสารละลาย 5 เซนติเมตร มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อเทียบกับอีก 2 กรณีจะพบว่าที่ระดับความสูง 5 เซนติเมตร มีความสามารถในการลดสารอะทราซีนได้มากที่สุด

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (two-way ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS

ANOVA (Analysis Of Variance) คือ การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน โดยจะสามารถวิเคราะห์ความแตกต่างของประชากรได้พร้อมกันมากกว่า 2 ประชากร และสามารถวิเคราะห์ได้มากกว่า 1 ปัจจัยโดยหลังจากการทำการวิเคราะห์ด้วย ANOVA จะทำให้ทราบว่าปัจจัยต่างๆในผลการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์การแปรปรวนแบบ 2 ทาง จะเป็นการวิเคราะห์ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระ 2 ตัว โดยมีวิธีการ ดังนี้

1. กำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตาม
   - ตัวแปรต้น X_1 คือ เวลา (time) เป็นปัจจัย A
   - ตัวแปรต้น X_2 คือ ความสูง (height) เป็นปัจจัย B
   - ตัวแปรตาม Y คือ ความเข้มข้น (concentration)
2. นำตัวแปรที่ต้องการทำการวิเคราะห์ คือ X_1, X_2 และ Y ลงโค้ดในโปรแกรม SPSS และแทนค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มข้นที่ได้จากการการทดลองลงไป เพื่อทำการวิเคราะห์ เมื่อรันข้อมูลเสร็จจะได้ Output ออกมาดังนี้

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างการทดลอง

F	df1	df2	Sig.
1.044	11	24	.442

จากตารางนี้จะได้ค่า Sig เท่ากับ 0.442 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 (Sig > 0.05) ทำให้สามารถสรุปได้ว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย A และ B

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ของปัจจัย A และ B

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	520.160[a]	11	47.287	1.322	.272
Intercept	42414.716	1	42414.716	1185.510	.000
Time	370.342	3	123.447	3.450	.032
Height	104.493	2	52.247	1.460	.252
Time * Height	45.324	6	7.554	.211	.970
Error	858.662	24	35.778		
Total	43793.538	36			
Corrected Total	1378.822	35			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางจะได้ค่า Sig ของ ปัจจัย A และ ปัจจัย B

Sig ปัจจัย A เท่ากับ 0.032 ซึ่ง < 0.05

Sig ปัจจัย B เท่ากับ 0.252 ซึ่ง > 0.05

จึงสรุปได้ว่า ปัจจัย A มีปฏิสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้น แต่ปัจจัย B ไม่มีปฏิสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้น

ตารางที่ 4.7 สรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย A B และ ความเข้มข้น

Time	
Time (min)	Concentrations
15	38.52±SD[a]
30	35.70±SD[ab]
45	33.27±SD[ab]
60	29.80±SD[b]

(a) ปัจจัย A เวลา

Height	
Height (cm)	Concentrations
5	31.92±SD[a]
10	35.68±SD[a]
15	35.38±SD[a]

(b) ปัจจัย B ความสูงของสารละลาย

สรุปได้ว่า ระยะเวลาที่ทำการทดลองมีผลต่อการลดลงของอะทราซีน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความสูงของสารละลายไม่มีผลต่อการลดลงของอะทราซีน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ความมุ่งหมายในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบชุดทดลองต้นแบบถังบำบัดน้ำปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตร ด้วยเทคนิคการสลายตัวด้วยแสงยูวีซี ซึ่งมีการออกแบบชุดทดลองต้นแบบเพื่อทำการทดลอง เก็บผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง ผู้วิจัยจะทราบถึงความผิดพลาดที่เกิดขึ้น จึงรวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้น และข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาชุดทดลองต้นแบบต่อไป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบชุดทดลองต้นแบบถังบำบัดน้ำปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตรด้วยเทคนิคการสลายตัวด้วยแสงยูวีซี พบว่ามีแนวโน้มในการลดความเข้มข้นของสารละลายอะทราซีนได้ ซึ่งมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับสมมติฐานของงานวิจัย

5.2 อภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าค่าความเข้มข้นมีแนวโน้มลดลงที่ไม่มาก เหตุอาจเกิดจากเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความเข้มข้นของสารซึ่งคือเครื่อง HPLC มีความเสื่อมสภาพ เนื่องจากการใช้งานเป็นเวลานาน ส่งผลให้ความแม่นยำของการวัดคลาดเคลื่อนได้ การตวงสารเพื่อใช้ในการทดลองอาจมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากใช้ปริสารสารในการละลายจำนวนน้อยมาก เพื่อให้ไม่เกินค่าความสามารถในการละลายในน้ำของสารอะทราซีน

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การวัดค่าความเข้มข้นควรทำทันทีหลังการทดลองเสร็จ เพื่อผลที่แม่นยำยิ่งขึ้น
2. ควรติดหลอดไฟยูวีซีเพิ่ม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสลายสารให้มากยิ่งขึ้น
3. เนื่องจากการทดลองในระยะเวลา 60 นาทีอาจยังไม่สามารถเห็นการลดลงได้อย่างชัดเจน ควรเพิ่มเวลาในการทดลองให้มากกว่า 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Ezio Pelizzetti, Vilna Carlin, Caudio Minero, Edmond Pramauro and Marco Vincenti (1992). Degradation pathways of atrazine under solar light and in the presence of TiO2 colloidal particles, *Scince of The Total Environment*, vol. 123 – 124, August 1992, pp.161 – 169.

Javier Arantegui, Juan Prado, Esther Chamorro and Santiago Esplugas (1995). Kinetics of the UV degradation of atrazine in aqueous solution in the presence of hydrogen peroxide, Javier Arantegui, *Journal of Photochemitry and Photobiology A Chemistry*, vol. 88, May 1995, pp. 65-74.

Loubna Youssef, Ghassan Youssef and Rami Al-Oweini (2019). Photocatalytic degradation of atrazine by heteropolyoxotungstates, *Journal of Taibah University for Science*, vol. 13, January 2019, pp. 274 – 279.

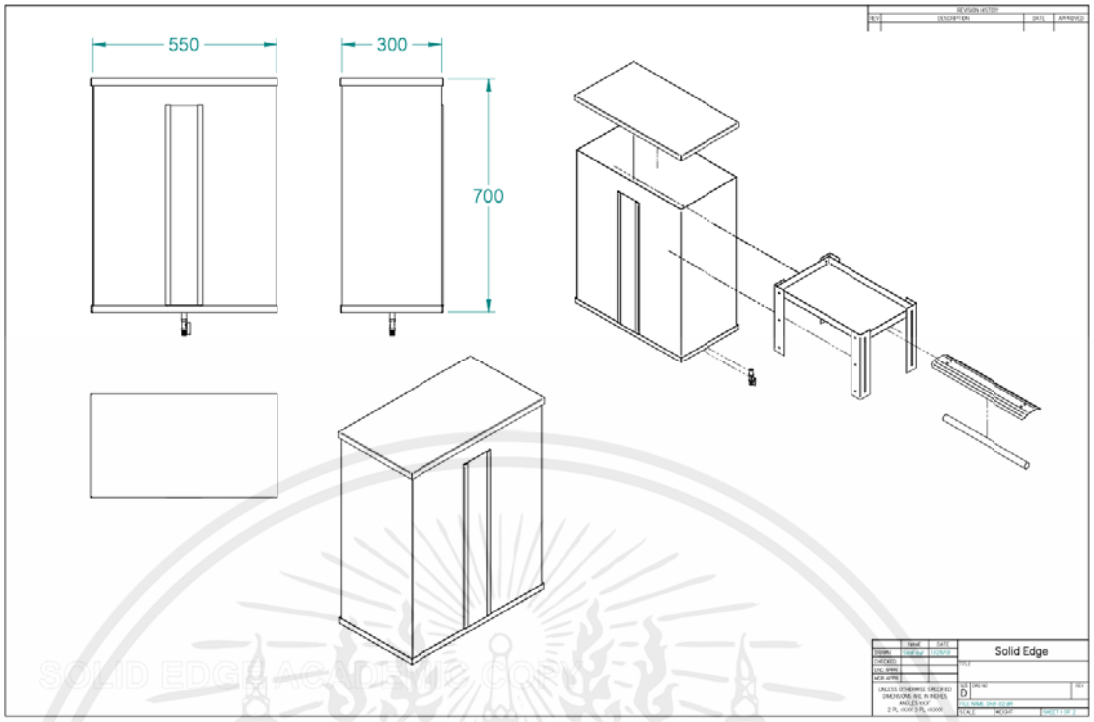
T.A. McMurray, Patrick S M D unlop and John Anthony Byrne (2006). The photocatalytic degradation of atrazine on nanoparticulate TiO2 films, T.A. McMurray, *Journal of Photochemitry and Photobiology A Chemistry*, vol. 182, Augurt 2006, pp. 43 - 51.

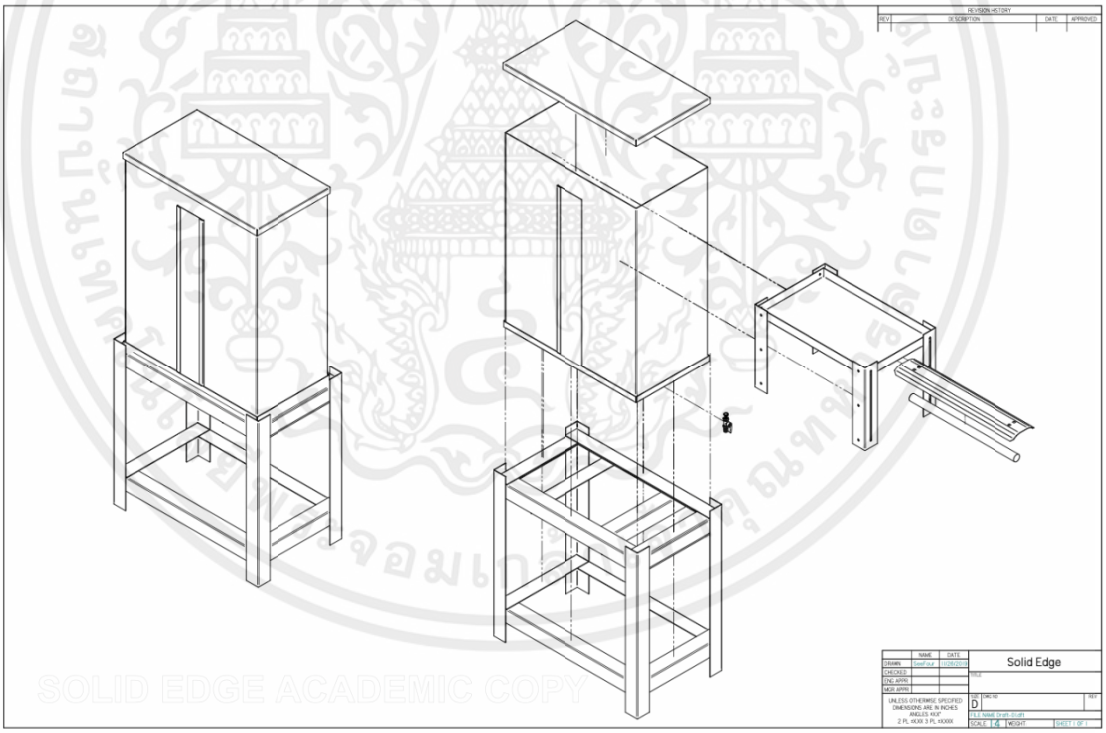
Zohre Moeini, Abooalfazl Azhdarpoor, Saeed Yousefinejod and Shima Bahrami (2018). Photo-Degradation of Atrazine in Water Using UV and investigating its by-Products, Zohre Moeini, *Journal of Health Sciences & Surveillance System*, vol. 6, January 2018, pp. 8 - 15.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
แบบชุดทดลองต้นแบบถังบำบัดน้ำปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตร ด้วยเทคนิคการสลายตัวด้วยแสงยูวีซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

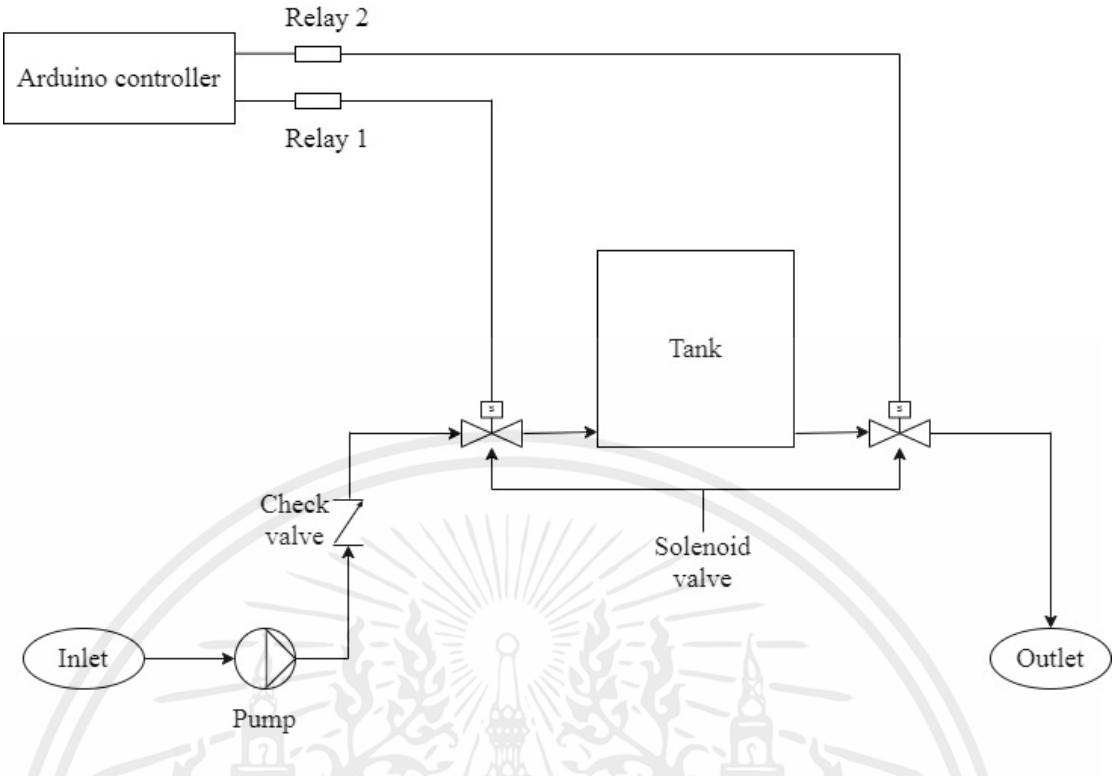


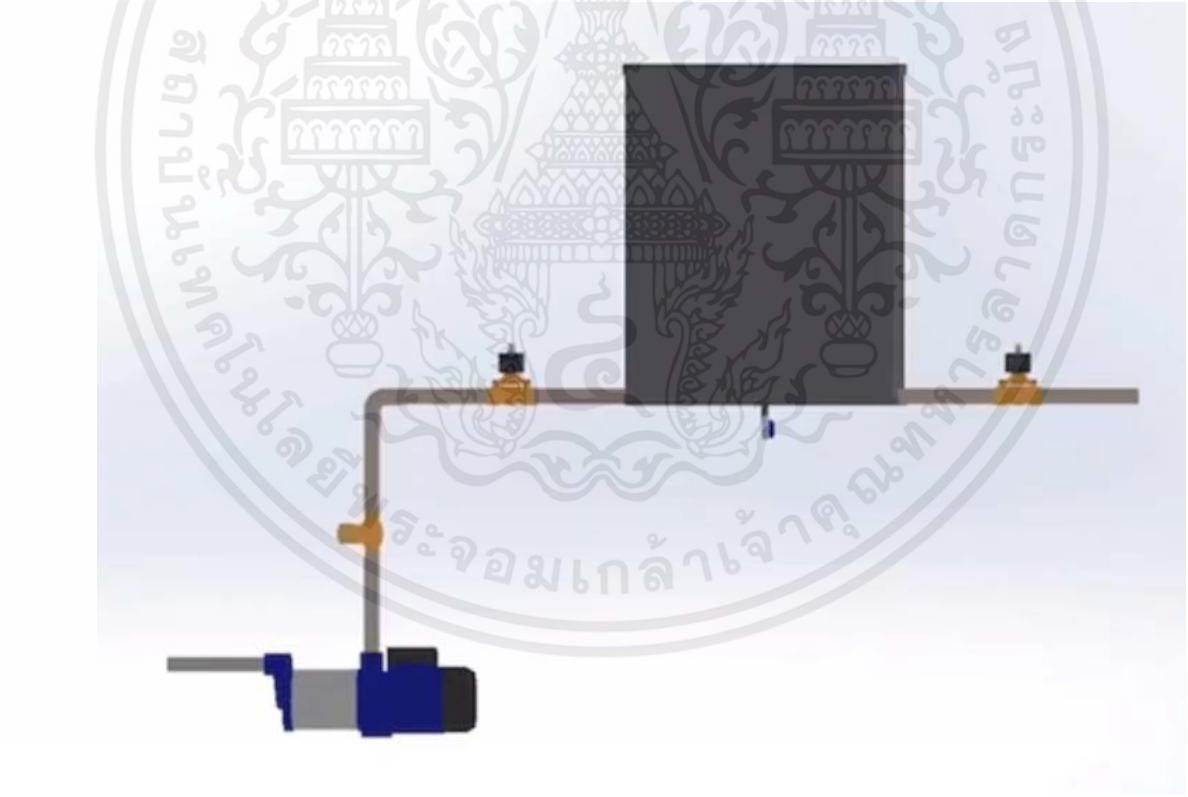


SOLID EDGE ACADEMIC COPY
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
แนวทางการควบคุมชุดทดลองต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

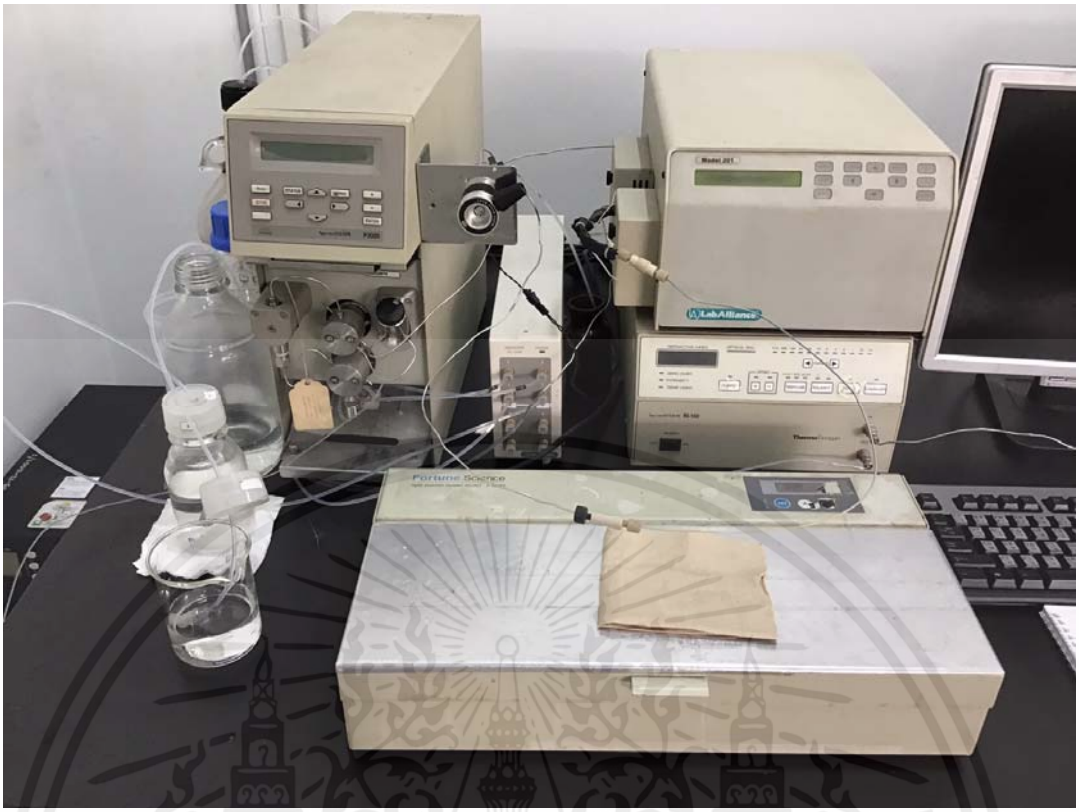
sketch_apr20a §

```
int Relay 1 = 2; //กำหนดขาที่ใช้งาน ให้ Relay 1 สมมติใช้ขา 2
int Relat 2 = 4; //กำหนดขาที่ใช้งาน ให้ Relay 2 สมมติใช้ขา 4
void setup () //กำหนดค่าให้ขาที่ใช้งาน
{
  pinMode (Reay1, OUTPUT); //กำหนดขาทำหน้าที่ ให้ขา 2 เป็น OUTPUT
  digitalWrite (Relay1,HIGH); //กำหนดขาทำหน้าที่ และสัญญาณไฟเข้า เป็น HIGH
  pinMode (Reay2, OUTPUT); //กำหนดขาทำหน้าที่ ให้ขา 4 เป็น OUTPUT
  digitalWrite (Relay2,HIGH); //กำหนดขาทำหน้าที่ และสัญญาณไฟเข้า เป็น HIGH
}
void loop () //ฟังก์ชันการทำงานซ้ำ
{
  digitalWrite(Relay1, HIGH); //สั่งให้ Relay 1 ทำงาน
  delay (120000); //กำหนดเวลาที่ให้ Relay ทำงาน สมมติให้หน่วง 2 นาที
  digitalWrite(Relay1, LOW); //สั่งให้ Relay 1 หยุดทำงาน
  delay (900000); //กำหนดเวลาที่ให้ Relay หยุดทำงาน สมมติให้หน่วง 15 นาที
  digitalWrite(Relay2, HIGH); //สั่งให้ Relay 2 ทำงาน
  delay (180000); //กำหนดเวลาที่ให้ Relay ทำงาน สมมติให้หน่วง 3 นาที
  digitalWrite(Relay1, LOW); //สั่งให้ Relay 2 หยุดทำงาน
  delay (1200000); //กำหนดเวลาที่ให้ Relay หยุดทำงาน สมมติให้หน่วง 20 นาที
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
ศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

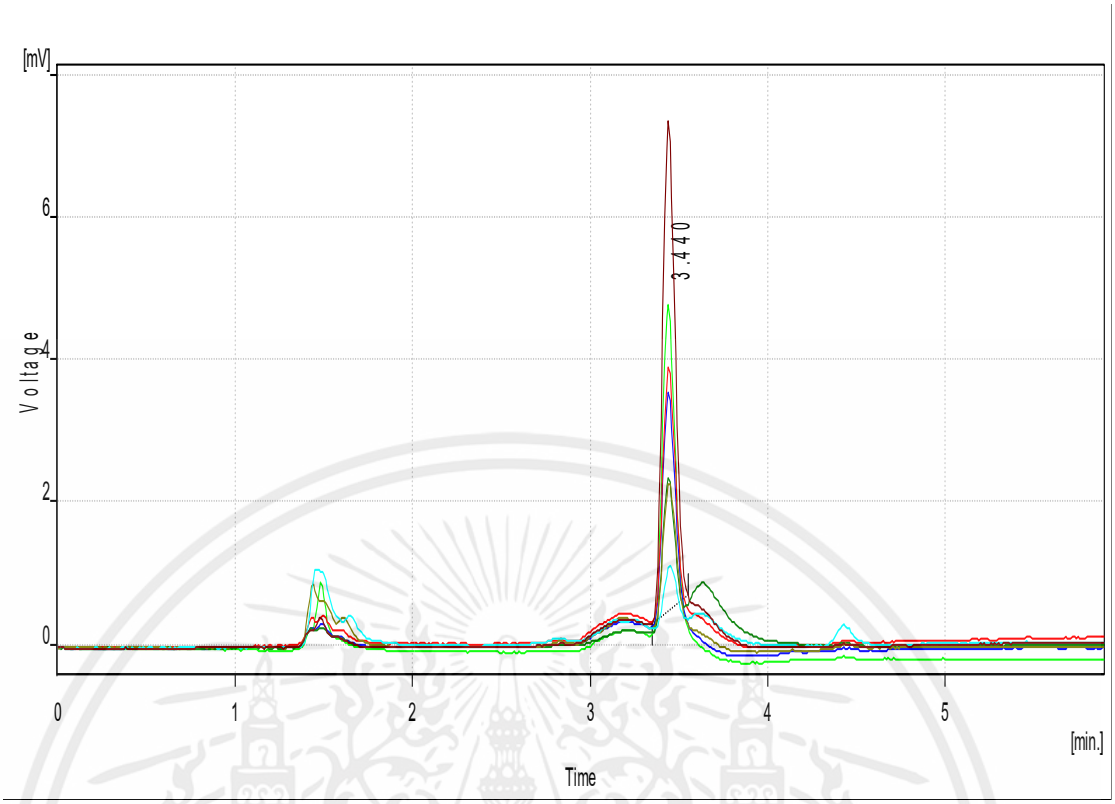
Table 8 Conditions under which atrazine and simazine are commonly analyzed using HPLC

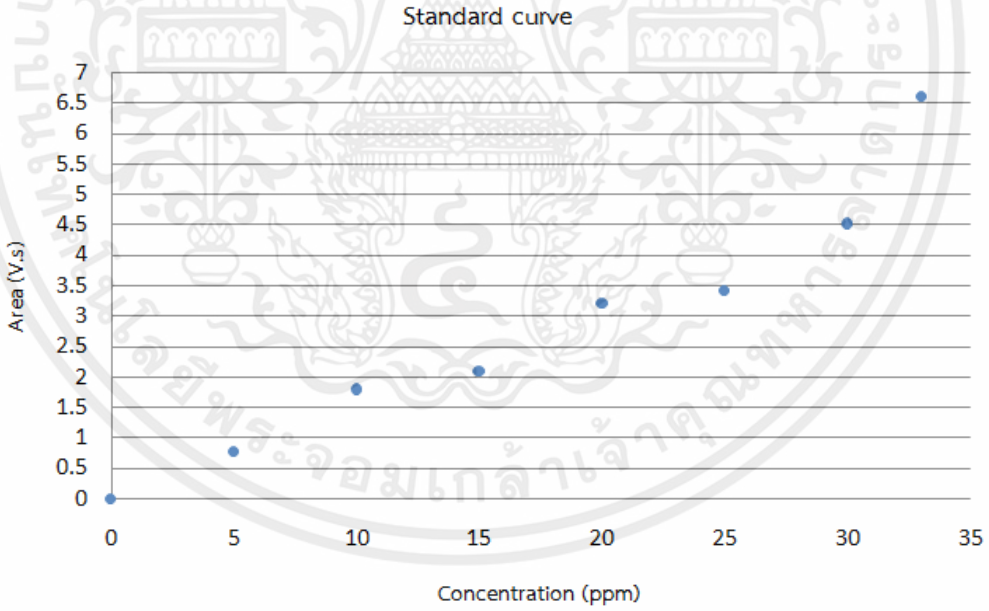
Analyte	Sample type	Column	Mobile phase	Detector	LOD	Reference
Atrazine, simazine	Ground water	C18	Methanol	UV, λ = 220 nm	40 ng L^{-1} (atrazine) 20 ng L^{-1} (simazine)	Abgekodo et al. 1996
Atrazine and metabolites, simazine	Ground and surface water	C18, 250 × 4.0 mm, 5 µm	Acetonitrile – 20 mM phosphate buffer, pH 7 (gradient elution)	UV, λ = 25, 240, 260 nm	0.02 µg L^{-1}	Carabias-Martinez et al. 2002
Atrazine, simazine	Tap water	C18, 250 × 4.0 mm, 5 µm	Methanol-water (60: 40 v/v)	LC-MS	0.1 µg L^{-1}	Hogenboom et al. 1997, 1999; Hogendoorn and van Zoonen 2000; Borba da Chuna et al. 2004
Simazine, propazine, hexazinone, metoxuron, bromacil	Surface water, soil	C18, 250 × 4 mm, 7 µm; C8 250 × 4 mm, 7 µm	Methanol–water (3:1; 1:1, 2:1 v/v)	DAD	0.06–0.3 µg L^{-1} (water), 0.24–1.4 µg kg^{-1} (soil)	Baranowska and Pieszko 2000b
Atrazine	Ground and surface water	C18, 125 × 4.6 mm, 5 µm	Methanol–water (60:40 v/v)	DAD	6 ng ml^{-1}	Kumazawa and Suzuki 2000
Atrazine, simazine	Ground water	C18, 250 × 4.6 mm, 5 µm	Methanol–water (73:27,v/v), pH 6	FL, λ_{Ex} = 312 nm, λ_{Em} = 420 nm	1.2 ng g^{-1} (atrazine), 1.1 ng g^{-1} (simazine)	Gong and Ye 1998
Simazine	Water, apple juice	C18, 150 × 0.18 mm, 3 µm	Acetonitrile–water (gradient elution)	UV, λ = 220 nm	0.15 µg L^{-1}	Liu and Lee 1998
Atrazine	Ground water	C18	Methanol-water (65:35 v/v)	UV, λ = 220 nm	0.05 µg kg^{-1}	Ribeiro et al. 2005
Atrazine, simazine	Soil	C18, 200 × 2.1 mm, 4 µm	Acetonitrile–water (gradient elution)	DAD	0.5-2.0 µg L^{-1}	Schutz et al. 1994; Ying et al. 2005
		C18, 100 × 5.0 mm, 4 µm	Acetonitrile–water (30:70 v/v)	UV, λ = 220 nm	n.r.	Singh et al 2004
		C18	Methanol–water	DAD, λ = 254 nm	1.5 µg kg^{-1}	Smith 2002
		C18	Methanol–water	FL	n.r.	Barriuso et al. 1996

(continued)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



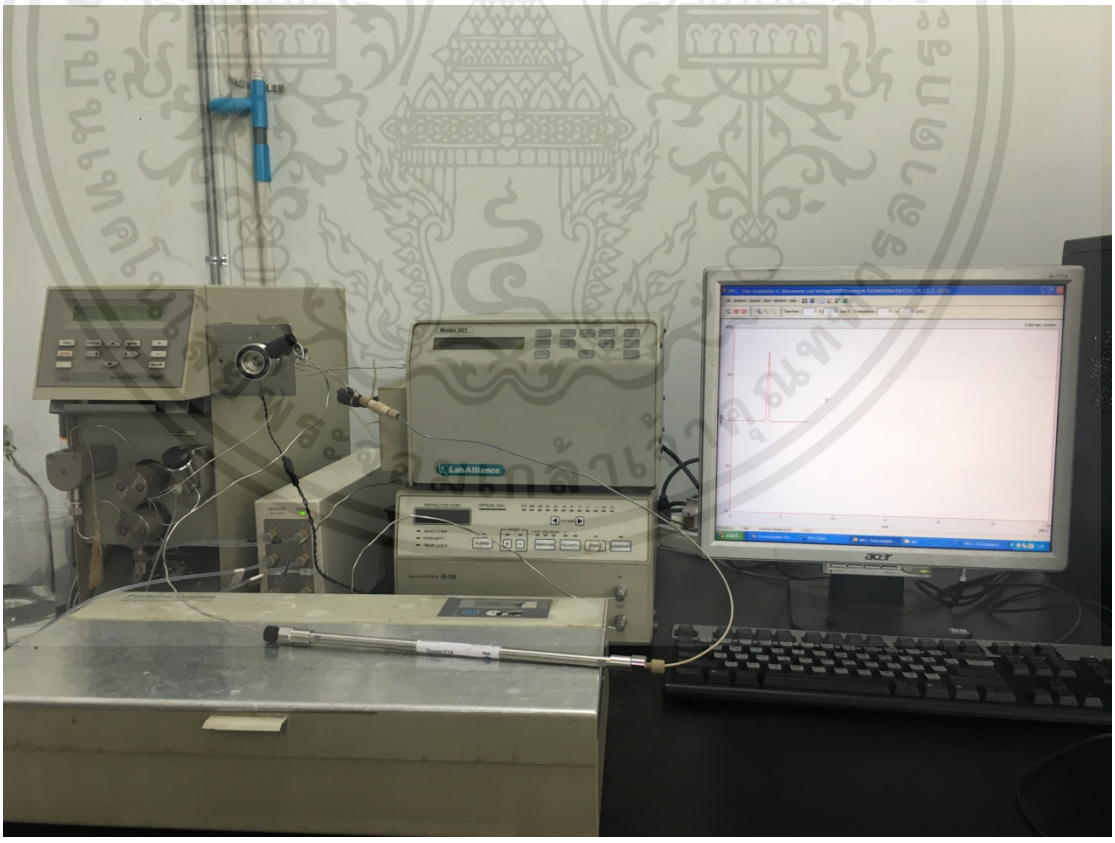


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

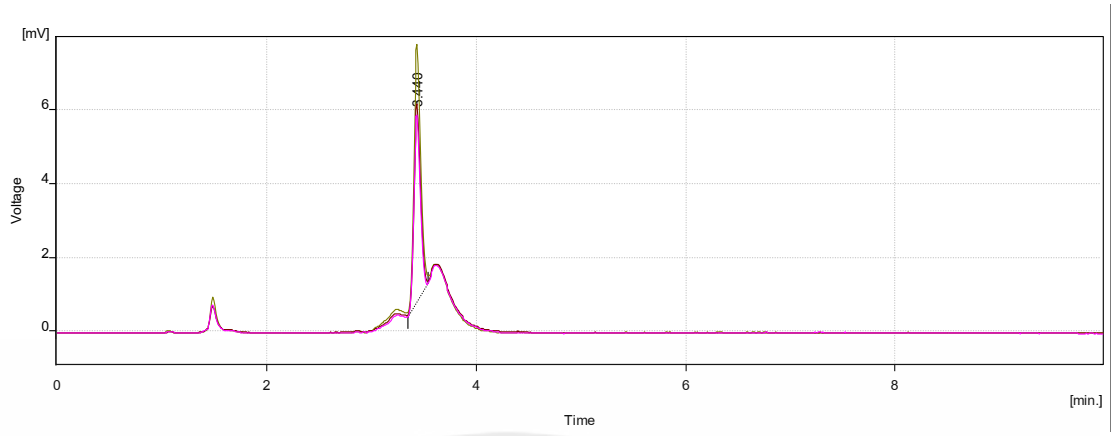
ภาคผนวก ง.
ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

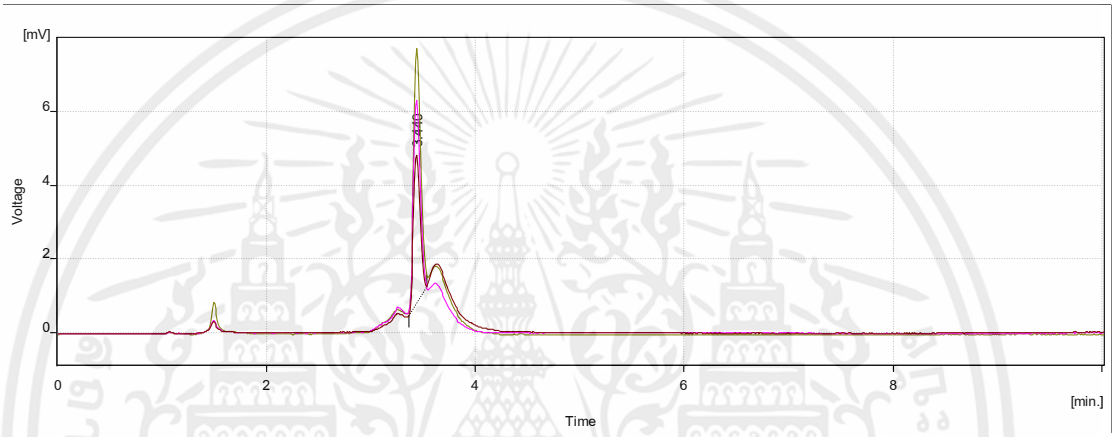
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



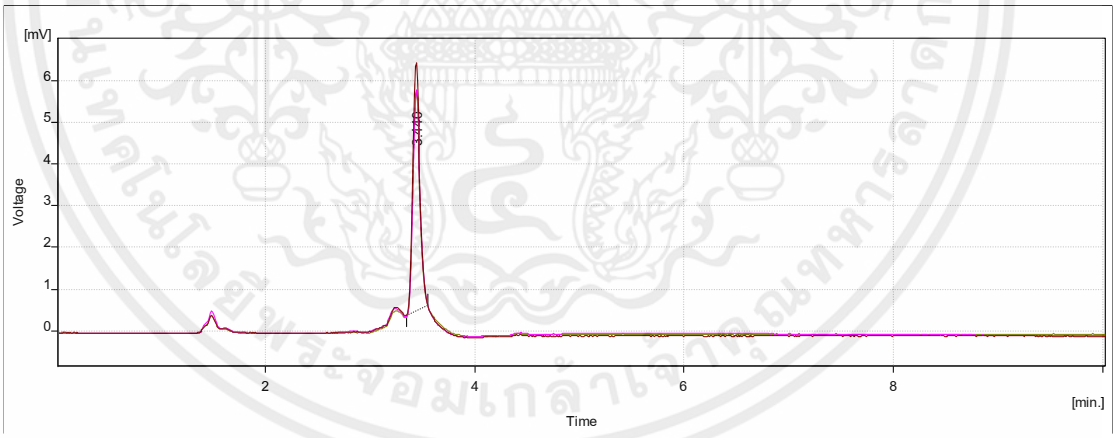
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



atrazine 5cm_15min

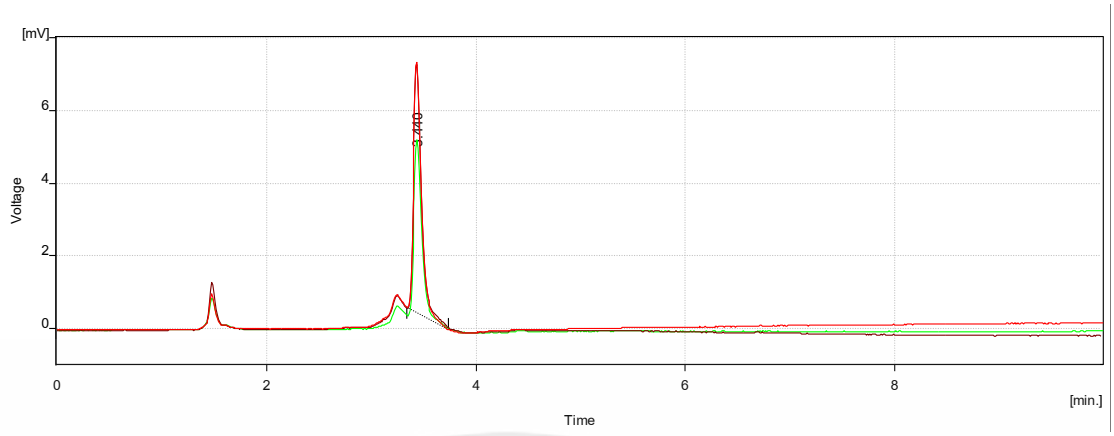


atrazine 5cm_30min

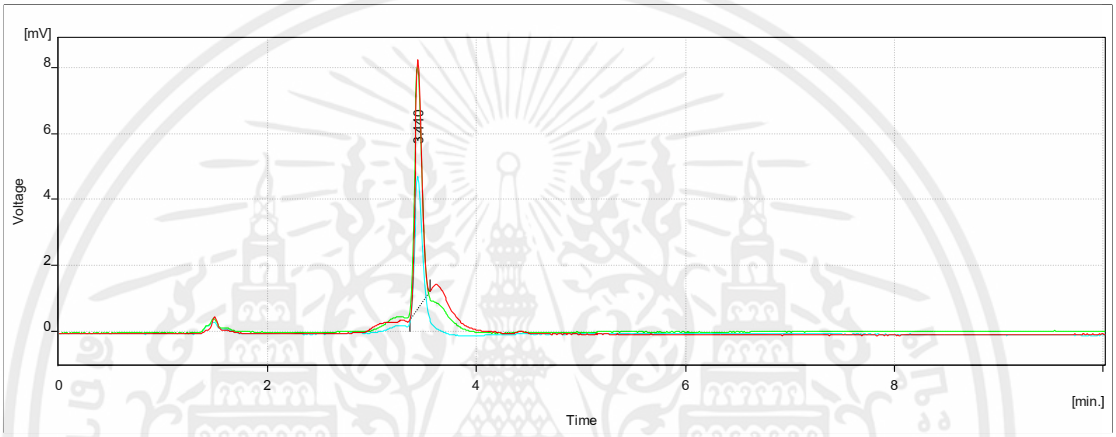


atrazine 5cm_45min

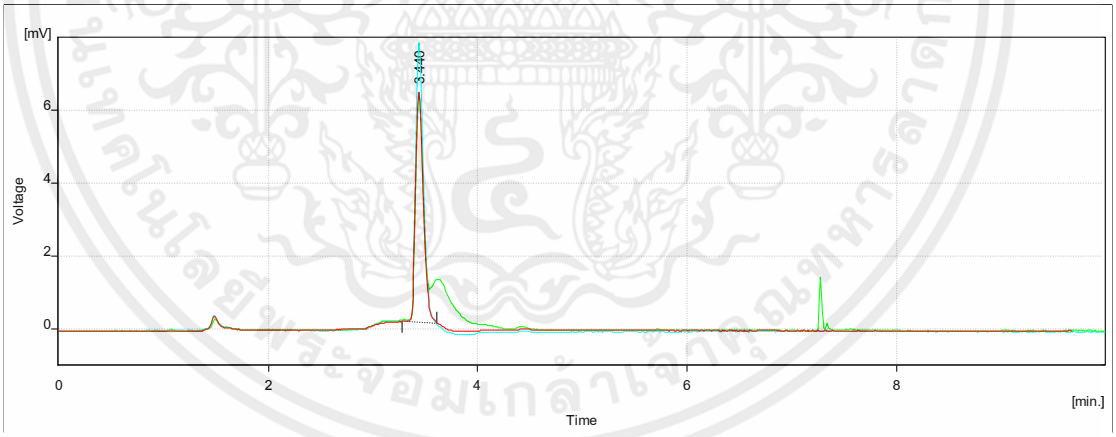
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



atrazine 5cm_60min

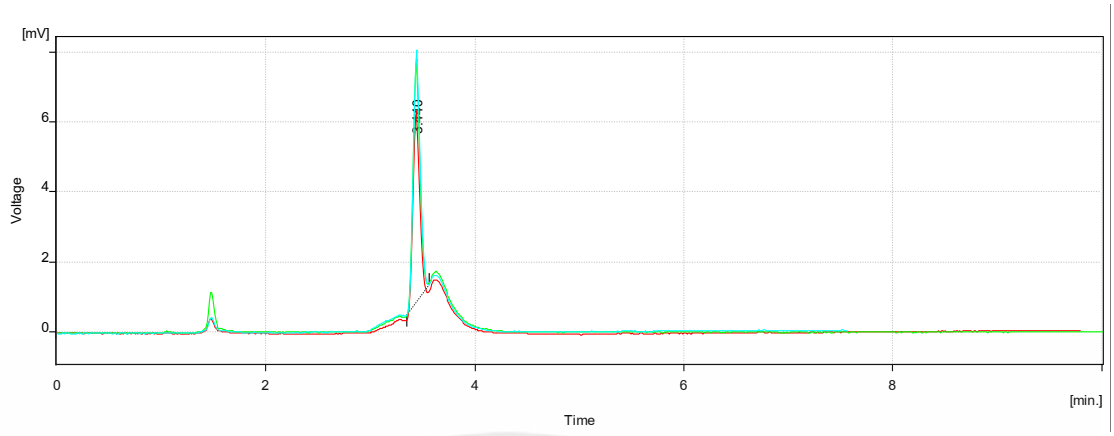


atrazine 10cm_15min

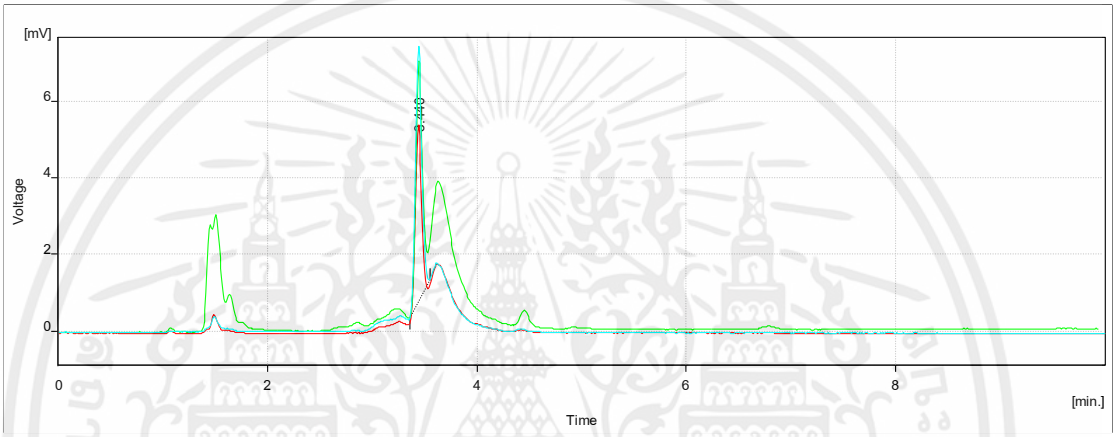


atrazine 10cm_30min

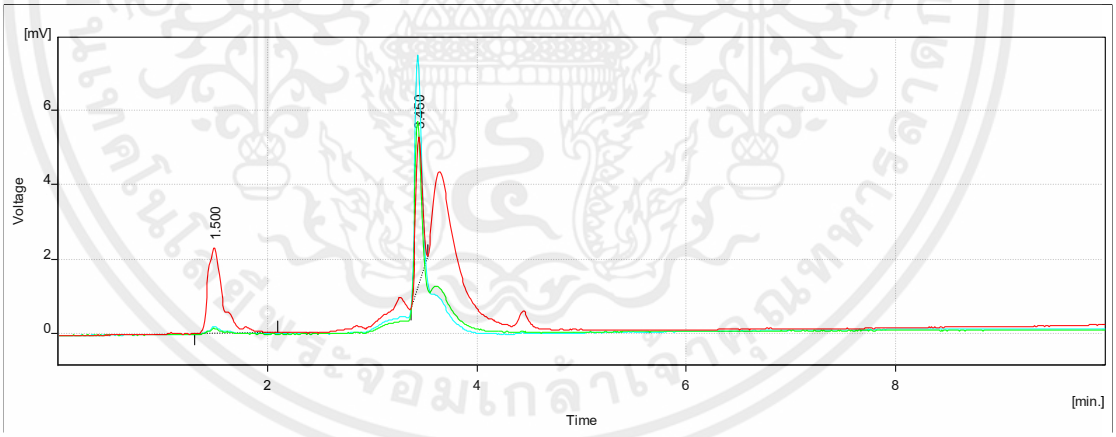
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



atrazine 10cm_45min

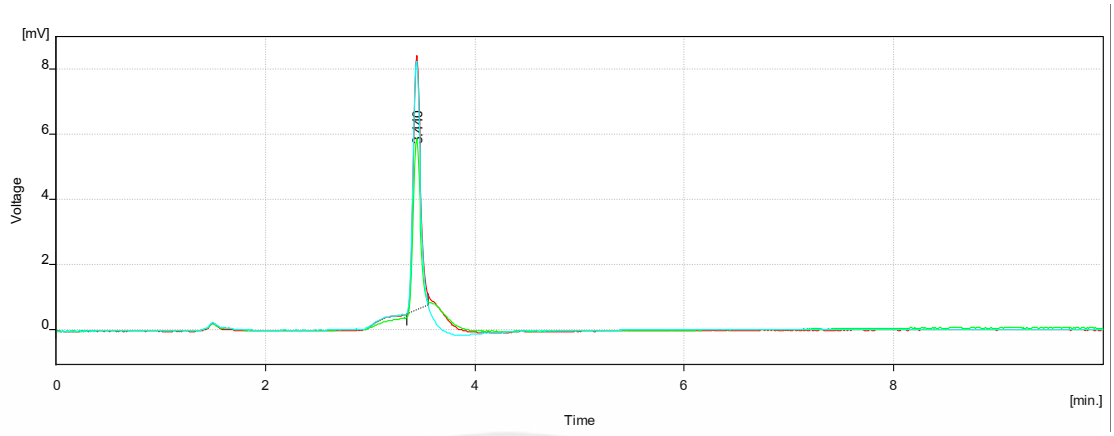


atrazine 10cm_60min

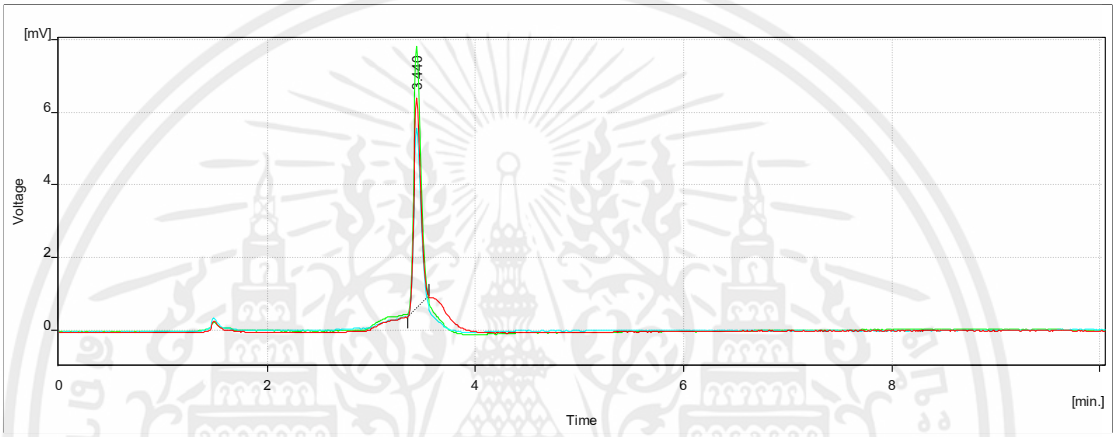


atrazine 15cm_15min

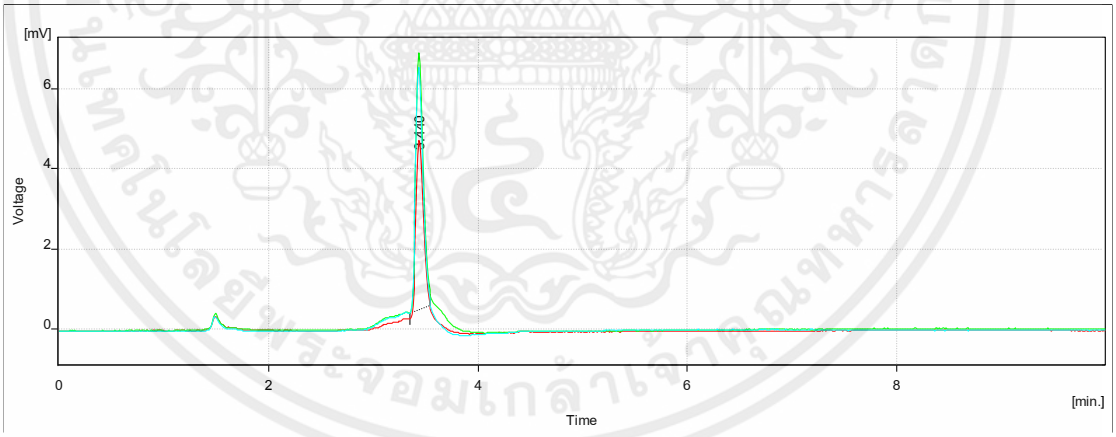
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



atrazine 15cm_30min



atrazine 15cm_45min

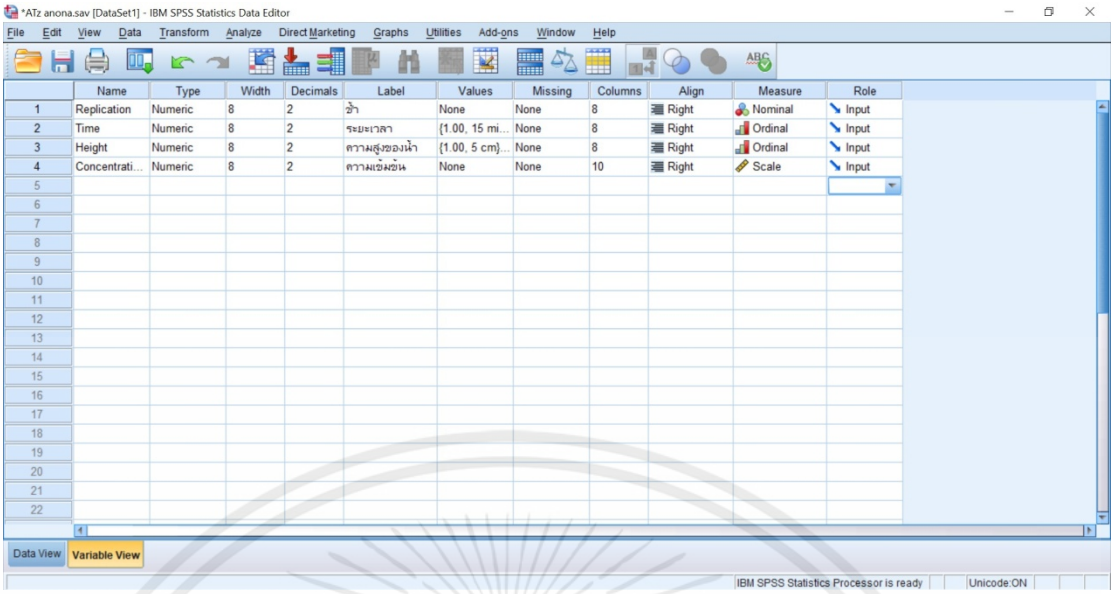


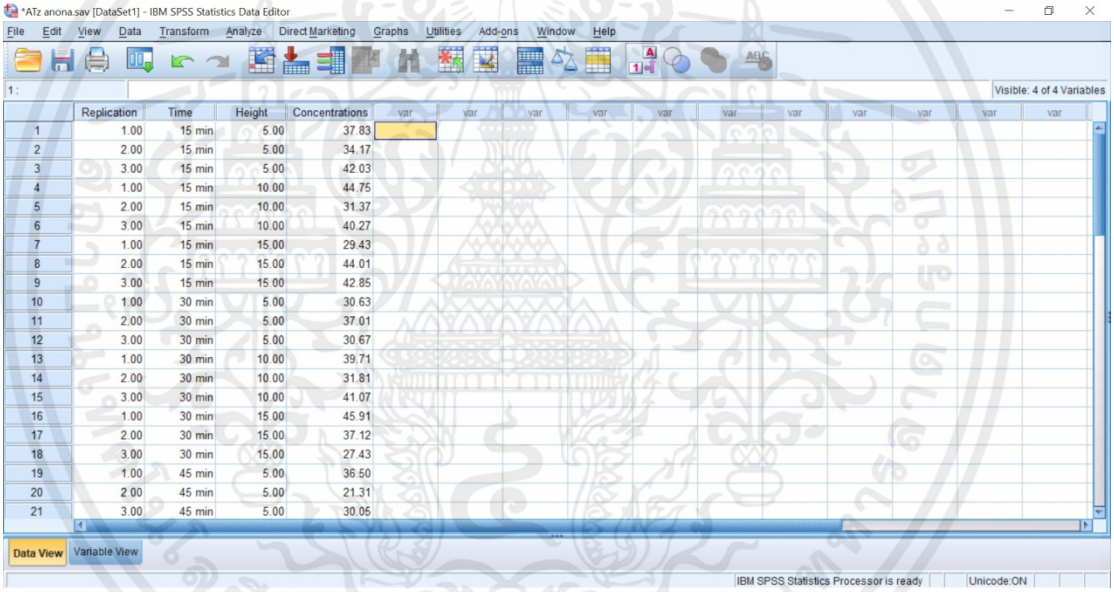
atrazine 15cm_60min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

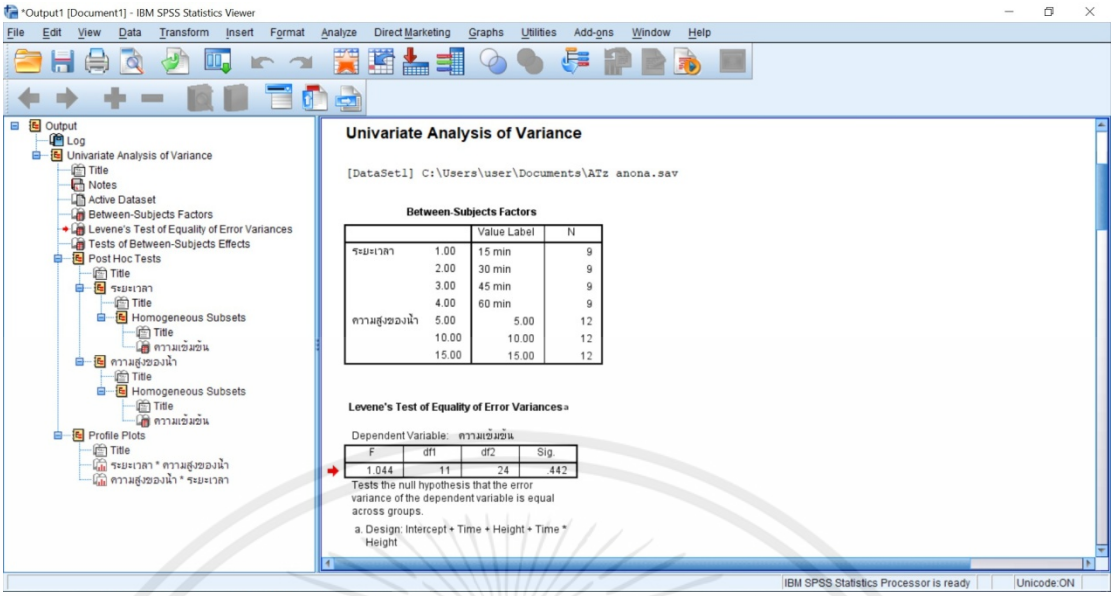
ภาคผนวก จ.
การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง ด้วยโปรแกรม SPSS

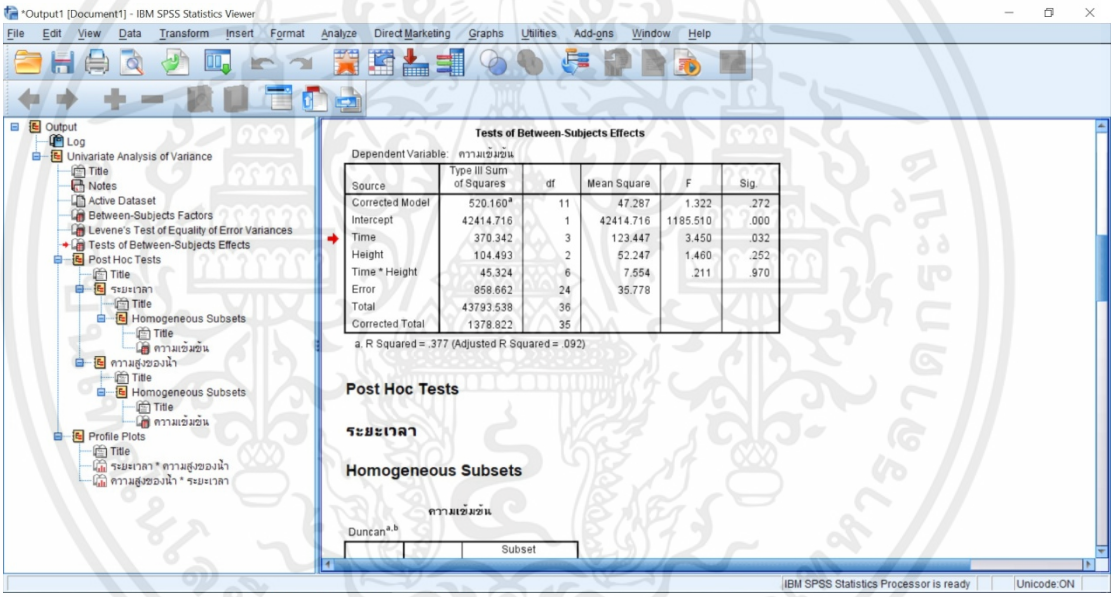
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



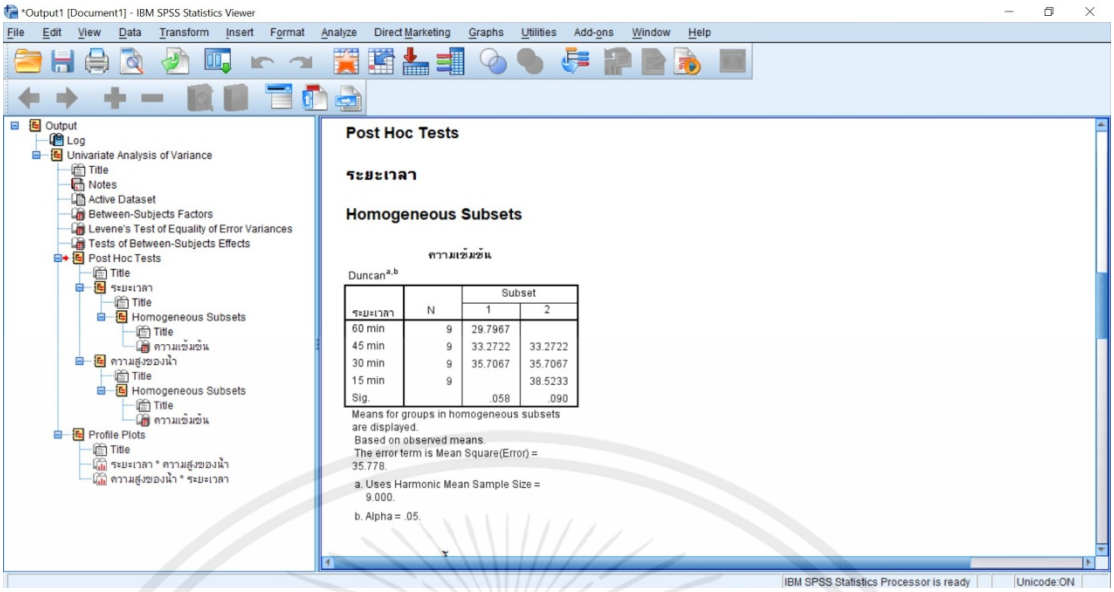


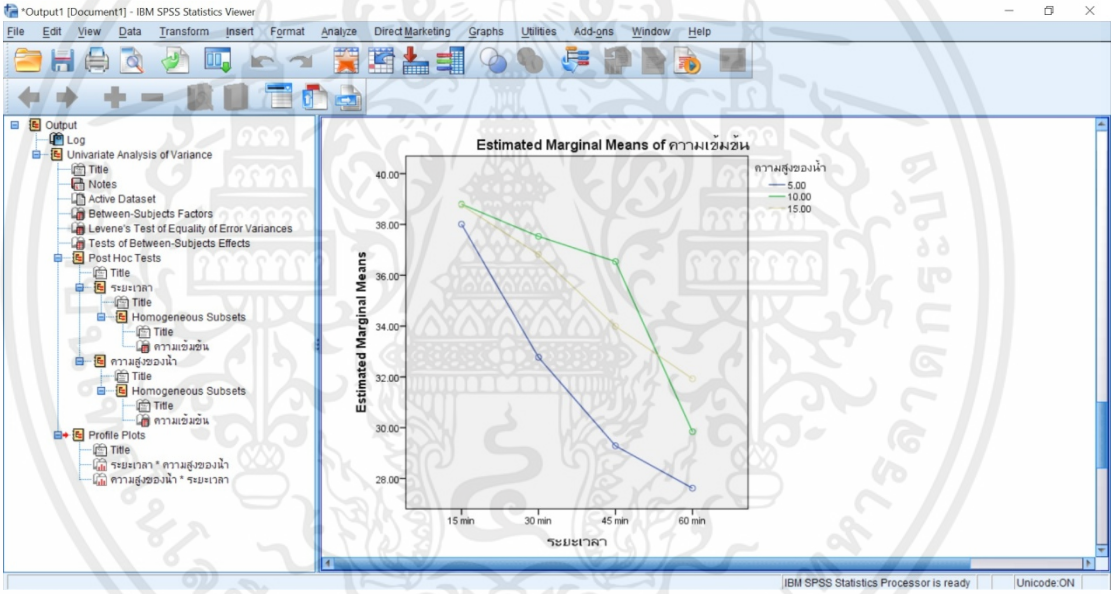
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



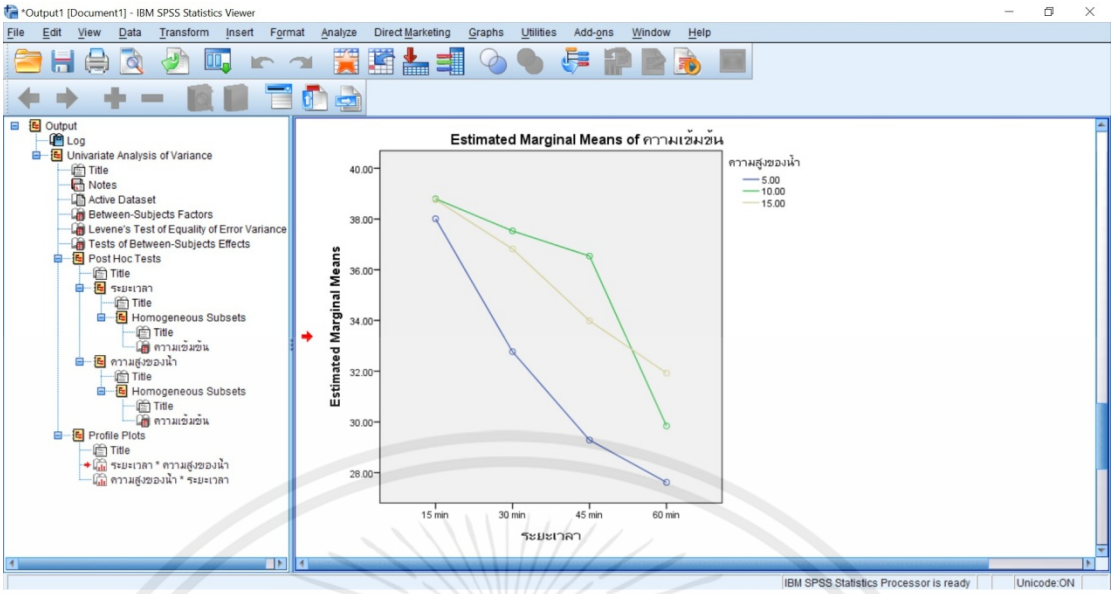


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้