



ปัญหาพิเศษปริญญาตรี

เรื่อง
ประสิทธิภาพของผงถ่านกัมมันต์ในการดูดซับไนเตรตและไนไตรต์
Adsorption efficiency of activated carbon for nitrate and nitrite

โดย
น.ส. ปฎิมา อู่สูงเนิน

ภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษปริญญาตรี
ภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช



T098791

เรื่อง

ประสิทธิภาพของผงถ่านกัมมันต์ในการดูดซับไนเตรตและไนไตรต์
Adsorption efficiency of activated carbon for nitrate and nitrite

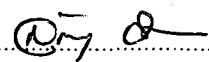
โดย

น.ส. ปวีณา อู่สูงเนิน

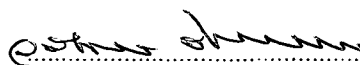


๒๑๗.
๑๑๓๘๑
๕๕๔

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 98791
วัน,เดือน,ปี..... 1


(อาจารย์ลักษณะ ออมสิน)
ประธานกรรมการที่ปรึกษา

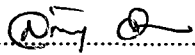
ภาควิชารับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. วรเดช จันทรสร)
หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช
วันที่ ๖ เดือน ๖ พ.ศ. ๒๕๔๑

๒ ๒ ส.ย. ๒๕๔๑

๑๗.
๑๑๓๘๑
๕๕๔

ชื่อเรื่อง ประสิทธิภาพของผงถ่านกัมมันต์ในการดูดซับไนเตรต (NO_3^-) และไนไตรต์ (NO_2^-)
โดย นางสาวปฎิมา อู่สูงเนิน
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
สาขาวิชา การจัดการศัตรูพืช
ประธานกรรมการอาจารย์ที่ปรึกษา 
(อาจารย์ลักขณา อมรสิน)

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพของผงถ่านกัมมันต์ในการดูดซับไนเตรตและไนไตรต์พบว่า เมื่อใช้ผงถ่านจำนวนเท่ากันในสารละลายที่มีปริมาตรเท่ากันแต่ความเข้มข้นต่างกัน ผงถ่านกัมมันต์จะดูดซับไนเตรตและไนไตรต์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง ($10.0 \mu\text{g./ml.}$) มากกว่า แต่ในความเข้มข้นของสารละลายที่เท่ากัน ผงถ่านกัมมันต์จะดูดซับไนเตรตและไนไตรต์ในสารละลายที่มีปริมาตรสูงได้มากกว่า ทั้งนี้เวลาในการอบผงถ่านกัมมันต์และการทิ้งไว้ก่อนนำมาใช้ที่ต่างกันจะมีผลต่อการดูดซับ โดยการใช้เวลาในการอบ 90 นาทีและนำมาใช้ทันที ผงถ่านกัมมันต์จะดูดซับไนเตรตและไนไตรต์ได้มากกว่าผงถ่านกัมมันต์ซึ่งใช้เวลาในการอบ 60 นาที และ 30 นาที และทิ้งไว้ 30 นาที ก่อนนำมาใช้

Title Adsorption efficiency of activated carbon for nitrate(NO_3^-) and nitrite (NO_2^-)
By Patima Ousungnoen
Degree Bachelor of Science (Agriculture)
Major Field Plant Pest Management Technology
Project Advisor *Luckana Amonsin*
(Luckana Amonsin)

ABSTRACT

The study of adsorption efficiency of activated carbon for nitrate and nitrite showed that in the condition of the equal amount of activated carbon and same volume of the solution but varied in concentration, activated carbon adsorbed more nitrate and nitrite in the concentration solution 10.0 $\mu\text{g./ml.}$ than the dilution solution (0.06 $\mu\text{g./ml.}$). In the condition of variation in volume of the solution but same concentration, activated carbon adsorbed more nitrate and nitrite in the more volume solution than the less. Activated carbon which were heated in hot air oven for 90 minutes and suddenly used could adsorb more nitrate and nitrite than activated carbon which were heated for 60 and 30 minutes, as well as let to be cool for 30 minutes before using.

คำนิยม

ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง ในความกรุณาของอาจารย์ลักขณา อมรสิน ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ จนปัญหาพิเศษฉบับนี้ ทำให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณภาควิชาปรัชญาวิทยา และภาคสัตว์ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์เครื่องแก้ว และขอบคุณคุณวาสนา กังสวัสดิ์ และคุณรัตนา คงบุญ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ ห่วงใย และช่วยเหลือ

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ เป็นอย่างสูงที่คอยให้กำลังใจ และอุปการะทางด้านทุนทรัพย์ในการศึกษาอย่างดีตลอดมา



ปฏิมา อู่สูงเนิน
มีนาคม 2541

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ตรวจเอกสาร	3
- คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์	3
- วัตถุประสงค์ที่นำมาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์	3
- ชนิดของถ่านกัมมันต์	7
- การวัดคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์	11
- ขั้นตอนที่เกิดขึ้นระหว่างการดูดติดผิว	11
- ปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการดูดติดผิว	12
- การฟื้นคุณภาพของถ่านดูดซึม	14
- ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์	15
- ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิว	16
- ความสำคัญของไนเตรตและไนไตรต์	18
- การเปลี่ยนไนเตรตเป็นไนไตรต์	19
- ความเป็นพิษของไนเตรตและไนไตรต์	20
- อาการพิษ	22
- ผลต่อสุขภาพด้านอื่นๆ	23
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	24
ผลการทดลอง	28
สรุปและวิจารณ์	34
ข้อเสนอแนะ	35
ภาคผนวก	36
บรรณานุกรม	38

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณการดูดซับไนเตรตโดย ฟงถ่านกัมมันต์ จำนวน 1.5 g. ในขนาดความเข้มข้น 0.06 และ 10.0 $\mu\text{g/ml}$. และในปริมาตร 50,100 และ 200 ml. ของสารละลายไนเตรต	29
ตารางที่ 2 แสดงปริมาณการดูดซับไนเตรตโดย ฟงถ่านกัมมันต์ จำนวน 1.5 g. ในขนาดความเข้มข้น 0.06 และ 10.0 $\mu\text{g/ml}$. และในปริมาตร 50,100 และ 200 ml. ของสารละลายไนไตรต์	30
ตารางที่ 3 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ ของการดูดซับของฟงถ่านกัมมันต์ ในสารละลายไนเตรต	31
ตารางที่ 4 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ ของการดูดซับของฟงถ่านกัมมันต์ ในสารละลายไนไตรต์	31



สารบัญรูป

หน้า

- | | | |
|----------|---|----|
| รูปที่ 1 | รูปตัดขวางแสดงถึงโพรงหรือช่องว่างภายใน activated carbon | 4 |
| รูปที่ 2 | แสดงการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ในสารละลายไนเตรต ที่ความเข้มข้นของสารละลาย ปริมาตร และเวลาต่างกัน | 32 |
| รูปที่ 3 | แสดงการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ในสารละลายไนเตรต ที่ความเข้มข้นของสารละลาย ปริมาตร และเวลาต่างกัน | 33 |



สารบัญภาคผนวก

	หน้า
ตารางภาคผนวกที่ 1 แสดงค่า absorbance ของไนเตรต โดย activated carbon จำนวน 1.5 กรัม ในขนาดความเข้มข้น 0.06 และ 10.00 $\mu\text{g} / \text{ml}$. และในปริมาตร 50, 100 และ 200 ml. ของสารละลายไนเตรต ที่เวลาในการอบ 30,60และ90 นาที เวลาก่อนนำไปใช้ 0 และ30 นาที	36
ตารางภาคผนวกที่ 2 แสดงค่า absorbance ของไนไตรต์ โดย activated carbon จำนวน 1.5 กรัม ในขนาดความเข้มข้น 0.06 และ 10.00 $\mu\text{g} / \text{ml}$. และในปริมาตร 50, 100 และ 200 ml. ของสารละลายไนไตรต์ ที่เวลาในการอบ 30,60และ90 นาที เวลาก่อนนำไปใช้ 0 และ30 นาที	37



คำนำ

ไนเตรตและไนไตรต์พบว่าเป็นสารเจือปนอยู่ในอาหารที่ต้องการเก็บรักษาไว้นานๆรักษาและเพื่อยืดอายุการจำหน่ายในท้องตลาด ได้แก่อาหารจำพวกเนื้อ รวมทั้งเป็นสารซึ่งพบตามธรรมชาติในผักและผลไม้ ผู้ผลิตมักจะเติมไนเตรตและไนไตรต์ปนลงไปด้วยเสมอ เพราะเกลือโซเดียมหรือโปแตสเซียมไนเตรตและเกลือไนไตรต์มีคุณสมบัติเป็นสารถนอมอาหาร(preservative) สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Clostridium botulinum* ซึ่งมีพิษร้ายแรงและการเติมเกลือไนเตรตลงในเนื้อสัตว์นั้นจะทำให้เนื้อเบื่อย่อย มีสีแดงเข้มหนาน และรสชาติชวนรับประทาน แต่ไนเตรตและไนไตรต์เป็นสารก่อให้เกิดอันตรายทั้งโดยทางตรงและทางอ้อมต่อมนุษย์และสัตว์

ผงถ่านกัมมันต์จัดเป็นยาแก้พิษจำแนกตามการออกฤทธิ์จัดอยู่ใน Mechanical antidotes เป็นยาดูดซับที่ใช้ได้ผลดีและปลอดภัยที่สุด มีคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษต่างๆได้มากน้อยแตกต่างกัน เช่น ผงถ่านกัมมันต์ 1 กรัม สามารถดูดซับ Strychnine nitrate ได้ 950 มิลลิกรัม ซึ่งการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ยังขึ้นกับหลายปัจจัย

จากคุณสมบัติในการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ ได้นำมาศึกษาประสิทธิภาพของผงถ่านกัมมันต์ต่อการดูดซับไนเตรตและไนไตรต์ โดยศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับอุณหภูมิ ปริมาตรและความเข้มข้นของสารละลายของไนเตรตและไนไตรต์ เพื่อหาความเหมาะสมของการนำผงถ่านกัมมันต์มาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพ



วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับไนเตรต (NO_3^-) และไนไตรต์ (NO_2^-) ของผงถ่านกัมมันต์ใน ความเข้มข้นและปริมาตรที่ต่างกันของสารละลาย
2. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับไนเตรต (NO_3^-) และไนไตรต์ (NO_2^-) ของผงถ่านกัมมันต์ ที่ใช้ระยะเวลาในการอบ และการทิ้งระยะเวลาก่อนนำมาใช้แตกต่างกัน



ตรวจเอกสาร

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

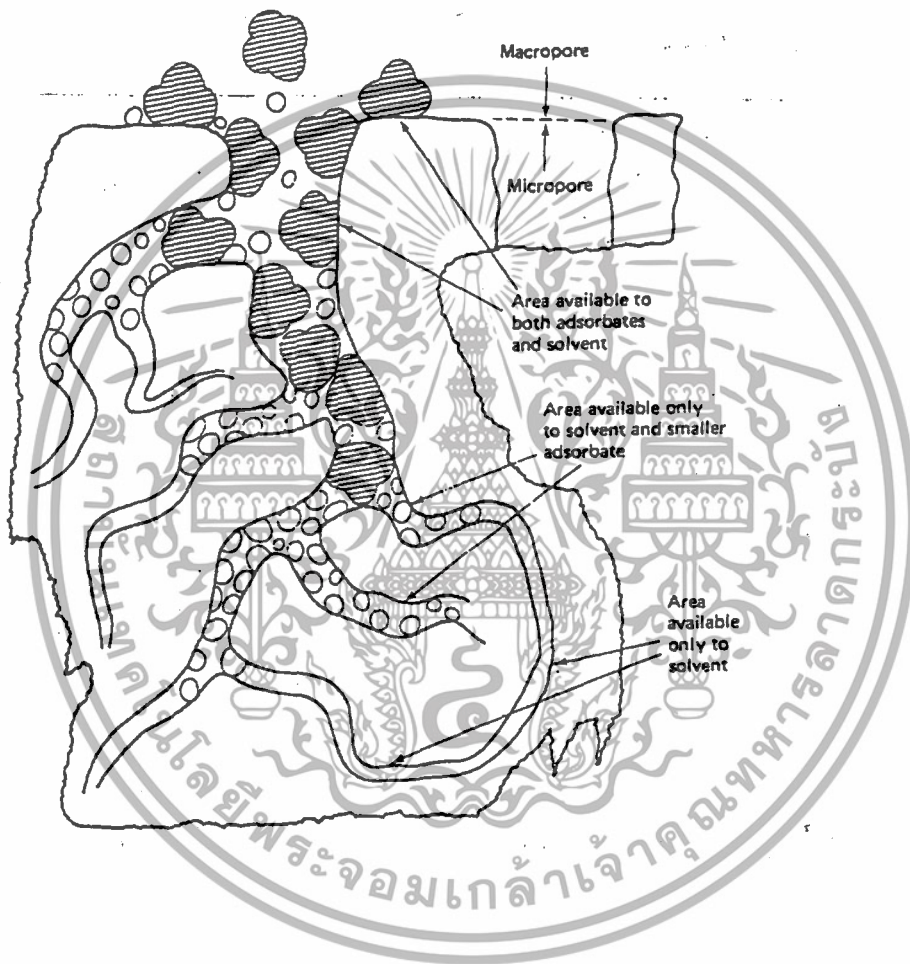
ถ่านกัมมันต์ เป็นถ่านที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นพิเศษ เพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการทำให้มีรูพรุน หรือโพรงภายในเนื้อคาร์บอนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ (ภาพที่ 1) รูพรุนหรือโพรงมีขนาดตั้งแต่ 20 \AA - $20,000 \text{ \AA}$ รูปลักษณ์ของถ่านมีรูปร่างไม่แน่นอน เป็นผลึกภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับสารต่างๆได้ดี พื้นที่ผิวอยู่ระหว่าง 500-2,000 ตารางเมตรต่อกรัม ใช้สำหรับดูดกลิ่น ดูดสี หรือสารปนเปื้อนอื่นๆ ความพรุนของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้น เป็นผลเนื่องจากการกระตุ้นด้วยสารเคมี หรือกระตุ้นทางกายภาพ ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผลึก (elementary crystallites) เพิ่มขึ้น การกระตุ้นที่เหมาะสมจะทำให้ได้รูพรุนจำนวนมากทำให้ถ่านมีพื้นที่ภายใน (Internal surface area) เพิ่มขึ้นและสามารถดูดซับกลิ่นและสีได้มากกว่าถ่านธรรมชาติ

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ ประกอบด้วย graphite ซึ่งผิวหน้าของถ่านกัมมันต์ เป็น nonpolar แต่จะมี carbon oxygen complexes เกิดขึ้นเสมอที่ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์ และการเรียงตัวของอะตอม อยู่ในลักษณะ hexagonal จึงทำให้ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์ เป็น polar เล็กน้อย และมีความสามารถละลายได้ดีในสารที่เป็น polar ด้วยกัน แต่เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวมากกว่าสารอย่างอื่น ซึ่งมีพื้นผิวหน้าเป็น polar มากกว่า เช่น silica gel จึงทำให้ดูดซับพวกสารได้มากกว่า แต่อย่างไรก็ดีแล้วแต่ ในการใช้ activated carbon ในอุตสาหกรรมนั้น จะต้องคำนึงถึง พื้นผิวหน้าของสารดูดซับ มากกว่าความเป็น polar ของพื้นที่ผิวหน้านั้น

ปัจจุบันพบว่า มีการนำถ่านกัมมันต์มาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย เช่น ใช้ในกระบวนการกำจัดน้ำทิ้ง โดยการดูดซับใช้แยกสิ่งสกปรกทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และอนินทรีย์ เช่น COD, BOD, สี, กลิ่น, รส, สารฆ่าแมลง, ABS ฯลฯ (เสริมพล, 2524) ใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำดื่ม เพื่อกำจัดความขุ่น สี กลิ่น และรส ทำให้น้ำมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ใช้ในการดูดซับ ion ของโลหะและสารประกอบเชิงซ้อนหลายชนิด และใช้มากในงานอุตสาหกรรม เช่น ใช้ในการฟอกสีน้ำตาลหยาบ การฟอกสีผงชูรส การปรับปรุงคุณภาพน้ำ คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับ จะแตกต่างกันที่ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

วัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่ใช้สังเคราะห์มีหลายชนิด เช่น ชานอ้อย (Bagases) เมล็ดพืช (Cereals) และเลือด (Blood) เป็นต้น (ชนิดของวัตถุดิบที่มีการศึกษาเพื่อใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ แสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 1 รูปตัดขวางแสดงถึงโพรงหรือช่องว่างภายใน activated carbon

ตารางที่ 1 วัสดุดิบต่างๆ ที่ได้มีการศึกษาใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์

ชานอ้อย (Bagases)	วัชพืชทะเล (Kelp and Seawood)
กากของบีท (Beet-sugar sludges)	เขม่า (Lampblack)
เลือด (Blood)	กากหนัง (Leather waste)
กระดูก (Bones)	ลิกนิน (Lignin)
สารจำพวกแป้ง (Carbohydrates)	ถ่านลิกไนท์ (Lignite)
เมล็ดพืช (Cereals)	กากน้ำตาล (Molasses)
ถ่านหิน (Coal)	เปลือกลูกหูก (Nut shell)
กากมะพร้าว (Coconut shells)	หินน้ำมัน (Oil shell)
เมล็ดกาแฟ (Coffee beans)	ถ่านหินชนิดร่วน (Peat)
ซังข้าวโพด (Comcobs and corn stalks)	กากกรดปิโตรเลียม (Petroleum and sludge)
เปลือกเมล็ดฝ้าย (Cotonsed hull)	ถ่านหินน้ำมัน (Petroleum coak)
ของเสียจากโรงกลั่นสุรา (Distillery waste)	ของเสียจากเยื่อกระดาษ (Pulp-millwaste)
ปลา (Fish)	กากเบตัสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ (Potassium ferrocyanide residue)
ฝุ่นจากปล่องไฟ (Flue dust)	ของเสียจากยาง (Rubber waste)
เมล็ดผลไม้ (Fruit pits)	ขี้เลื่อย (Sawdust)
แกรไฟต์ (Graphyte)	
ไม้ (Wood)	

ที่มา : Faust D.S. and Aly M.O., 1987. Adsorption process for water treatment.

การผลิตถ่านกัมมันต์ สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรง หรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ จะพิจารณาจากอินทรีย์วัตถุ (วัตถุดิบที่มีคาร์บอน ไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ)

อินทรีย์วัตถุที่ใช้ เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ สามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

1. พวกเซลลูโลสที่มาจากพืช เช่น แกลบ, กะลามะพร้าว, ชีลื้อย, ชานอ้อย, ชังข้าวโพด
2. พวกถ่านหิน เช่น ลิกไนต์, พีต (Peat), บิทูมินัส (Bituminous)
3. วัตถุดิบที่มาจากสัตว์ เช่น กระดูก เลือด

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ในรูปของถ่านนั้นพบว่า ส่วนมากใช้ถ่านที่ได้จากการเผาอินทรีย์วัตถุ ซึ่งเรียกกันว่า “ ถ่านสังเคราะห์ ” (artificial char) เป็นส่วนใหญ่ อาจใช้ส่วนที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น แกรไฟต์ แอนทราไซต์

ถ่านที่ได้จากอินทรีย์วัตถุ (artificial char) แบ่งออกตามอินทรีย์วัตถุที่นำมาใช้ได้ 2 ประเภท (ถ่าน หรือวัตถุดิบอินทรีย์เหล่านี้ยังไม่มีคุณสมบัติในการดูดซับ) คือ (เกศรา และคณะ, 2532)

1. Hard artificial char (ถ่านแข็ง) เช่น ถ่านน้ำตาล, ถ่านที่ได้จากเมล็ดผลไม้ (fruit pit char), ถ่านไม้เผาที่ความดันสูง (high-pressure wood charcoal)
2. Soft artificial char (ถ่านอ่อน) เช่น ถ่านไม้, ถ่านชานอ้อย, ถ่านแกลบ, ถ่านหินน้ำมัน (oil shale char), ถ่านกากน้ำตาล (molasses char)

โดยทฤษฎีแล้ว อินทรีย์วัตถุทุกชนิดสามารถนำมาทำถ่านกัมมันต์ได้ แต่คุณสมบัติในการดูดซับหรือดูดกลิ่นจะแตกต่างกัน นอกจากนี้แล้ว อุณหภูมิ และเวลาในการทำการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) และกระบวนการกระตุ้น (Activation) มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติการดูดซับ และดูดสีของถ่านกัมมันต์ได้ด้วยเหตุนี้ ถ่านกัมมันต์จึงมีมากมายหลายชนิด

ชนิดของถ่านกัมมันต์ (เกศรา และคณะ, 2532)

ชนิดของถ่านกัมมันต์ สามารถแบ่งออกโดยใช้หลักต่างๆมากมาย ขึ้นอยู่กับความสะดวกของผู้ใช้ ตัวอย่างการแบ่งชนิดของถ่านกัมมันต์ ได้แก่

ก. แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

1. Chemical activated carbon ถ่านกัมมันต์นี้ใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น เช่น $ZnCl_2$, H_3PO_4 ถ่านพวกนี้มักเป็นถ่านที่มีขนาดของรูพรุนขนาดใหญ่
2. Physical activated carbon คือ ถ่านที่ใช้ก๊าซเป็นตัวออกซิไดซ์เป็นตัวกระตุ้น เช่น ไอน้ำ, CO_2 ถ่านพวกนี้มีขนาดของรูพรุนเล็ก นิยมใช้ในการดูดแก๊ส และไอระเหย

ข. แบ่งตามขนาดของรูพรุนบนผิวของถ่านกัมมันต์

1. Micro pores เป็นถ่านกัมมันต์ที่รัศมีของรูพรุน ประมาณ 1.5 nm. มักนำไปใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการดูดซับแก๊สและไอระเหย
2. Transitional pores เป็นถ่านกัมมันต์ที่รัศมีของรูพรุนประมาณ 1.5-100 nm. มักนำไปใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic reaction)
3. Macro pores เป็นถ่านกัมมันต์ที่รัศมีของรูพรุน มากกว่า 100 nm. มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสีและการผลิตยา

ค. แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ที่ได้

1. ความหนาแน่นต่ำ ถ่านประเภทนี้ มักใช้ประโยชน์ในสถานะที่เป็นสารละลาย เช่น ฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือการทำให้ น้ำตาลบริสุทธิ์
2. ความหนาแน่นสูง ถ่านประเภทนี้ ใช้ในการดูดแก๊ส หรือไอระเหย

ง. แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูด

1. Gas adsorbents หมายถึง ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดแก๊สพิษ กลิ่น และไอของสารอินทรีย์ ส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นถ่านประเภท hard artificial char
2. Colour adsorbents หมายถึง ถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวฟอกสี ส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ที่เกิดจากการเผาถ่านประเภท soft artificial char
3. Metal adsorbents หมายถึง ถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวแยกพวกโลหะต่างๆ เช่น ถ่านที่ใช้ในการแยกทองเงิน แพลทินัม จากแร่

นอกจากนี้การแบ่งชนิดของถ่านกัมมันต์ยังแบ่งตามคุณสมบัติ 2 ประการ คือ

1. ลักษณะของการดูดซับ (Adsorption Characteristic)
2. ลักษณะทางกายภาพ (Physical Form)

1. ลักษณะของการดูดซับ

ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับได้ และกลั่นได้ในสภาพของแข็งและก๊าซ ดังนั้นสามารถแบ่งตามลักษณะของการดูดซับได้ 2 ชนิดดังนี้

- Gas-Adsorbent Activated Carbon

ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้โดยมากใช้ในการทำให้ก๊าซบริสุทธิ์

- Liquid- Adsorbent Activated Carbon

ใช้ในการฟอกสี หรือทำให้ของเหลวบริสุทธิ์ และมีลักษณะเหลว

ข้อแตกต่างของ Gas-adsorbing และ Liquid-adsorbing คือ การกระจายขนาดของรู (pore size) gas-adsorbing carbon มีมากที่สุดในรูปแบบ micro pore และยังอาจอยู่ในรูป macro pore แต่มีปริมาณไม่มากนัก สำหรับ liquid-adsorbing carbon จะมีขนาดของรูอยู่ในช่วง transition

2. ลักษณะทางกายภาพ

ถ่านกัมมันต์ สามารถแบ่งตามลักษณะทางกายภาพ ออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Poeder Activated Carbon หรือ PAC)
2. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon หรือ GAC)

1) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (PAC)

PAC มักจะผลิตจากวัตถุดิบจำพวกเศษไม้ หรือเศษถ่าน หรือผลิตจากการผสมซึ่งเกี่ยวข้องกับสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) PAC มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10-50 ไมครอนหรือน้อยกว่า การเติม PAC อาจกระทำพร้อมกับการเติมโคแอกกูแลนต์ก็ได้ คาร์บอนที่ใช้แล้วจะรวมตัวอยู่กับตะกอนแขวนลอยในน้ำกลายเป็นฟล็อก ซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำได้ โดยการตกตะกอนหรือการกรอง ด้วยเหตุนี้ PAC จึงนิยมเติมก่อนกระบวนการตกตะกอน หรือกระบวนการกรองน้ำ

ความสามารถในการดูดซับของ PAC ขึ้นอยู่กับวิธีการบดด้วย เช่น การบดถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องบดแบบลูกหิน (Ballmill) จะได้ถ่านกัมมันต์มีลักษณะเม็ดเล็ก ๆ ทั่วประเทศ ความสามารถในการดูดซับน้อยกว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการบดด้วยเครื่องบดแบบกรอง (pulverizer) ซึ่งได้ถ่านกัมมันต์แบบเม็ดยาวเรียวยาว

ข้อดีของถ่านกัมมันต์ชนิดผง

1. คาร์บอนผงมีราคาถูกกว่าแบบเม็ดประมาณ 2-3 เท่า
2. การดูดซับเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลหรือคอลลอยด์สามารถสัมผัสกับผิวของคาร์บอนได้ง่าย

ข้อเสียของถ่านกัมมันต์ชนิดผง

1. การทำรีเจนเนอเรชัน (Regeneration) ซึ่งเป็นการฟื้นฟูอำนาจให้กับ PAC ที่เสื่อมแล้ว มักสิ้นเปลือง และไม่คุ้มค่า ดังนั้นการใช้ PAC จึงเป็นแบบใช้แล้วทิ้งเลย
2. แม้ว่า PAC สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนให้เหลือน้อยได้ แต่ถ้าต้องการกำจัดสิ่งปนเปื้อนให้หมด ต้องใช้คาร์บอนปริมาณมาก ซึ่งไม่คุ้มค่า โดยปกติไม่ควรใช้คาร์บอนผงเกินกว่า 25-50 มก./ล.
3. การใช้ PAC ในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย และผสมตัวกับน้ำได้ยาก มีบางส่วนจะลอยเหนือน้ำ (Edwin, 1958)

2.) ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (GAC)

GAC ผลิตจากถ่านที่ผลิตจากวัสดุดิบจำพวกถ่านโค้ก กะลามะพร้าว เมล็ดผลไม้เป็นต้น ลักษณะเมล็ดที่ได้อาจจะได้จากการบดวัสดุขนาดใหญ่ หรือการอัดเอาถ่านกัมมันต์ผ่านแม่แบบออกมาเป็นแท่งแล้วตัดเป็นท่อนทรงกระบอกเท่าๆกัน GAC มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของเม็ดทรายกรองน้ำแข็งแต่เปราะและเบากว่าทราย

GAC ที่ใช้และเสื่อมแล้ว สามารถนำไปทำรีเจนเนอเรชัน (Regeneration) และนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ถือว่าเป็นข้อดีอีกประการหนึ่งของคาร์บอนแบบ GAC แต่อย่างไรก็ตาม การทำรีเจนเนอเรชันทุกครั้งต้องมีคาร์บอนสูญเสียไปประมาณ 5% เพราะการทำรีเจนเนอเรชัน ต้องเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงมาก ทำให้คาร์บอนส่วนปนกลายเป็นผงละเอียดจนใช้การไม่ได้ (มันลิน, 2538)

GAC จะนิยมใช้มากกว่า PAC ที่รูปแบบเหมาะสมต่อการใช้ มีราคาแพงกว่าที่สามารถนำมาฟื้นฟู (regenerated) และนำกลับมาใช้ได้ อีก ความสามารถในการดูดซับจะขึ้นกับค่า pH ถ้า pH ลด จะสามารถดูดซับได้มาก ในทางเดียวกัน ถ้า pH สูง จะสามารถดูดซับได้น้อย และประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นได้อีก เพื่อความเข้มข้นของโลหะเพิ่มขึ้น (Harrison, 1981)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติบางอย่างของคาร์บอน ทั้ง 2 ชนิด

Property	Granular Carbon		Powdered Carbon
	Nuchar WV-W	Nuchar WV-G	Aqua (PAC)
Surface area(m ² /g)	900 (min)	1100 (min)	
Particle size	8×30	12×40	8-9 microns
Uniformity coefficient	1.8(max)	1.8 (max)	
Effective size (mm.)	0.85-1.05	.055-0.75	
Apparent density (lb/ft ³)	35-37	27-29	36±4
Iodine number (mg/g)	850 (min)	1050 (min)	800±100
Particle density (g/cm ³)	1.45-1.55	1.30-1.40	1.4-1.5
Sieve analysis:			99-100
through 100 mesh (%)			97-99
through 200 mesh (%)			92-98
through 300 mesh (%)			



การวัดคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

การที่คาร์บอนต้องมีพื้นที่ผิวสูงก็เพื่อให้สามารถดูดโมเลกุลจำนวนมากๆมาเกาะติดผิวได้ พื้นที่ผิวจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดสมรรถนะของคาร์บอน คาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (ตร.เมตร / กรัม) สูง จึงมีอำนาจหรือขีดความสามารถในการดูดซับ (Adsorptive Capacity) สูงตามไปด้วย การวัดพื้นที่ผิวของคาร์บอนกระทำโดยการหาปริมาณไนโตรเจนที่ถูกคาร์บอนดูดซับไว้ วิธีวัดสมรรถนะของคาร์บอนอาจกระทำได้โดยการวัด Iodine Number (ค่าการดูดซับ Iodine) หรือ Molass Number (ค่าการดูดซับ Molass) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวของคาร์บอน

Iodine Number แสดงถึงสมรรถนะของคาร์บอนในการกำจัดสารที่มีโมเลกุลเล็ก (ขนาดใหญ่กว่า 10°A)

Molass Number แสดงถึงสมรรถนะของคาร์บอนในการกำจัดสารที่มีโมเลกุลใหญ่ (ขนาดใหญ่กว่า 28°A)

ในระบบประปานิยมใช้ Iodine Number มากกว่า Molass Number หรือพารามิเตอร์อื่นๆ ทั้งนี้เพราะน้ำดิบมักมีสารโมเลกุลเล็กมากกว่าโมเลกุลใหญ่ (สนั่น, 2538)

ขั้นตอนที่เกิดขึ้นระหว่างการดูดติดผิว

- ก. การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าหาคาร์บอนหรือสารดูดติดผิวในกรณีของคาร์บอนแบบผง การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกวนน้ำจนทำให้เกิดความปั่นป่วน
- ข. Film Diffusion เมื่อโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้ามาถึงคาร์บอนซึ่งตามปกติมีฟิล์มของน้ำห่อหุ้มอยู่โดยรอบคล้ายเยื่อต่างๆ โมเลกุลต้องแทรกตัวผ่านฟิล์มน้ำให้ได้จึงจะเข้าถึงผิวคาร์บอนได้
- ค. Pore Diffusion เนื่องจากคาร์บอนมีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ที่โพรง หรือช่องว่างภายใน (ดูภาพที่ 1) โมเลกุลของตัวถูกละลาย จึงต้องแทรกตัวเข้าไปถึงช่องว่างภายในคาร์บอน จึงมีการดูดติดผิวเกิดขึ้น
- ง. โมเลกุลต้องเกาะติดบนผิวคาร์บอนโดยไม่หลุด

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดติดผิว

ขณะที่มีการดูดติดผิว โมเลกุลของตัวถูกทำลายจะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บน ถ่านกัมมันต์ หรือสารดูดติดผิว (Adsorbent) อื่นๆ โมเลกุลส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่ภายในโพรงของคาร์บอน และมีเพียงบางส่วนน้อยที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาคาร์บอน เกิดขึ้นได้จนถึงจุดสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยมากเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่บนคาร์บอน

สมดุลของการดูดติดผิวของคาร์บอนเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ จึงใช้ในการกำหนดขีดความสามารถของระบบดูดติดผิว เช่น ทำให้รู้วาระบบดูดติดผิวสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากน้อยเพียงใด สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งที่ต้องกล่าวคือ จลศาสตร์ของระบบซึ่งอธิบายถึงอัตราเร็วของการดูดติดผิว นั่นคือ เมื่อรู้ว่าการดูดติดผิวจะเกิดขึ้นได้เท่าไร ยังต้องรู้อัตราของสารดูดติดผิว เพื่อให้รู้ว่าการดูดติดผิวจะเกิดขึ้นได้ภายในเวลาเท่าใด จลศาสตร์ ของระบบ จึงช่วยกำหนดเวลากักน้ำ (หรือเวลาสัมผัส) ของถังคาร์บอน ซึ่งเท่ากับเป็นการกำหนดขนาดของถังคาร์บอน นั้นเอง

อัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดติดผิวของคาร์บอนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ความปั่นป่วน

อัตราเร็วในการดูดติดผิวอาจขึ้นอยู่กับ Film Diffusion หรือ Pore Diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบคาร์บอนจะมีความหนา(เพราะไม่ถูกรบกวน)และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาคาร์บอน ทำให้ Film Diffusion เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดติดผิว ในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูงทำให้น้ำไม่อาจสะสมตัว จนเป็นฟิล์มหนาเป็นผลให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าไปหาคาร์บอนได้รวดเร็วกว่า การเคลื่อนที่เข้าไปในโพรง กรณีนี้ Pore Diffusion จะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดติดผิว ด้วยเหตุนี้ อัตราเร็วในการดูดติดผิวของคาร์บอนจึงขึ้นอยู่กับ Pore Diffusion เพราะระบบของคาร์บอนมีความปั่นป่วนสูง (เช่น มีการกวนน้ำในถังผสม) แต่อัตราเร็วของการดูดติดผิว คาร์บอนแบบเม็ดมักขึ้นอยู่กับ Film Diffusion ทั้งนี้เนื่องจากการใช้คาร์บอน แบบเม็ดมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกับการใช้ถังกรองทราย ซึ่งมีความปั่นป่วนเกิดขึ้นภายในถัง อยู่ในระดับต่ำ

2. ขนาดและพื้นที่ผิวของคาร์บอน

คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของคาร์บอน คือขนาดและพื้นที่ผิว ขนาดของคาร์บอนมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วของการดูดติดผิวในทางลบ กล่าวคือ อัตราดูดติดผิวเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของคาร์บอน ดังนั้น คาร์บอนผงจึงมีอัตราเร็วในการดูดติดผิวสูงกว่าคาร์บอนเม็ด ส่วนพื้นที่ผิวของคาร์บอนนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการดูดติดผิว (Adsorptive Capacity) นั่นคือ คาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลได้มากกว่าคาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวน้อย และเนื่องจากพื้นที่ผิวส่วนใหญ่ของคาร์บอนได้มาจาก ช่องว่างหรือโพรงภายใน ขนาดของคาร์บอนจึงมีบทบาทน้อยในการกำหนดพื้นที่ผิว คาร์บอน ทั้งแบบผงและแบบเม็ดจึงมีพื้นที่

ผิวต่อหน่วยน้ำหนักใกล้เคียงกัน ซึ่งหมายถึงการมีความสามารถในการดูดซับผิวใกล้เคียงกันด้วยแต่อัตราไม่เท่ากัน

3. ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับบนผิวคาร์บอน

เมื่อมีการดูดซับผิวเกิดขึ้นโมเลกุลจะถูกดึงออกจากน้ำ และไปเกาะติดบนผิวของของแข็ง สารที่ละลายน้ำได้ (หรือแตกตัวเป็นไอออน) ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้ อย่างเหนียวแน่นจึงเป็นสารที่ยากต่อการดูดซับผิว สารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อย มักสามารถเกาะติดบนผิวคาร์บอนได้ดี แต่เกณฑ์ดังกล่าวไม่ได้เป็นจริงเสมอไปเพราะสารที่ละลายน้ำได้น้อยหลายชนิดเกาะติดผิวคาร์บอนได้ยาก ตัวอย่างเช่น Amines : Di-N-Propylamine, Butylamine แต่ในทางตรงกันข้ามการดูดซับผิวอาจเกิดขึ้นได้ง่ายกับสารที่ละลายน้ำได้ดี ตัวอย่างเช่น Glycols : Ethylene glycol , Diethylene Glycol ด้วยเหตุนี้จึงไม่อาจกล่าวได้เต็มที่มีความสัมพันธ์แน่นอนในเชิงปริมาณระหว่างความสามารถในการดูดซับผิวและความสามารถในการละลายน้ำ

4. ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของคาร์บอน

ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับผิว ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของคาร์บอน พบว่าการดูดซับผิวจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อมีสารขนาดเล็กกว่าโพรงเล็กน้อยหรือโมเลกุลของสารที่ดูดเข้าไปแต่ละชนิด เส้นผ่าศูนย์กลางมีผลต่อโครงสร้าง ถ้ามีรูขนาดเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของสาร โมเลกุลไม่สามารถเข้าไปในรูได้ ดังนั้น สำหรับหลายๆโมเลกุล พื้นผิวที่จะดูดซับต้องมีรูที่มีขนาดใหญ่พอที่โมเลกุลจะเข้าไป เพราะแรงดึงดูดระหว่างสารและคาร์บอนจะมีมากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในโพรงก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้าง

5. พีเอช

พีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับผิวด้วย ความสามารถในการดูดซับผิวเพิ่มขึ้นที่ พีเอชต่ำ ในทางเดียวกันเมื่อพีเอชสูง ความสามารถในการดูดซับผิวจะลดลง (Harrison, 1981) นอกจากนี้ ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวคาร์บอนได้ดี

6. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับผิว กล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิและลดลงตามการลดของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดซับผิว จะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูงและจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำทั้งนี้เพราะการดูดซับผิวเป็นปฏิกิริยาแบบ Exothermic

การฟื้นคุณภาพของถ่านดูดซึ่ม (Carbon Regeneration)

เมื่อถ่านดูดซึ่มถูกใช้งานไปนานๆ พอรุนของถ่านจะถูกดูดตันด้วยโมเลกุลของสิ่งสกปรกทำให้ถ่านหมดประสิทธิภาพในการดูดซึ่ม เนื่องจากถ่านดูดซึ่มมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้น เพื่อที่จะลดราคาค่าใช้จ่ายในการกำจัดจะต้องนำถ่านดูดซึ่มที่หมดประสิทธิภาพ (Exhausted Carbon) มาฟื้นคุณภาพเพื่อนำกลับไปใช้งานอีก (เสริมพล,2524) คาร์บอนเม็ดที่ใช้แล้ว สามารถนำไปทำรีเจนเนอเรชันได้ตลอดไป แต่ทุกๆครั้งที่มีการทำรีเจนเนอเรชันต้องเติมคาร์บอนใหม่จำนวนหนึ่ง เพื่อทดแทนคาร์บอนที่กลายเป็นผงในระหว่างการฟื้นอำนาจ การสูญเสียคาร์บอนไม่ควรเกิน 5% ของคาร์บอนทั้งหมด

การฟื้นคุณภาพทำได้โดยการนำถ่านไปกำจัดโมเลกุลของสิ่งสกปรกที่อุดอยู่ในรูของถ่านดูดซึ่มทำได้หลายวิธีเช่น Chemical Regeneration หรือ Thermal Regeneration การฟื้นคุณภาพโดยวิธี Chemical Regeneration คาร์บอนจะถูกสารเคมีทำลายหรือ Oxidise ดูดซับสารไม่บริสุทธิ์ สารประกอบที่พบเมื่อทำการฟื้นคุณภาพประกอบด้วย NaOH,HCl,NaOCl และH₂O₂ วิธีนี้ได้ผลแต่เพียงบางส่วนเท่านั้น ในการทำให้ความสามารถของถ่านกลับมาคืนดีดังเดิม และวิธีที่ใช้กันทั่วไปคือ Thermal Regeneration (Donald,1979)

วิธีการทำรีเจนเนอเรชันมีขั้นตอนต่างๆดังนี้ (มันลิน,2538)

- ก. นำคาร์บอนเม็ดที่เสื่อมแล้วไปสะเด็ดน้ำให้แห้งและนำไปอบให้ระเหยน้ำจนได้คาร์บอนแห้ง ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 15 นาทีเป็นอย่างน้อย
- ข. นำคาร์บอนแห้งมาเผาในเตาแบบ Multiple Hearth ที่อุณหภูมิประมาณ 800-900 °C ภายใต้บรรยากาศที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนและความชื้น ขั้นตอนนี้เป็นการสร้างปฏิกิริยาไพโรไลซิส (Pyrolysis) เพื่อกำจัด Adsorbate ที่เกาะติดบนผิวคาร์บอนและสร้างปฏิกิริยา ออกซิเดชัน ให้กับสารที่เหลือจากปฏิกิริยาไพโรไลซิส Adsorbateที่ถูกเผาจะกลายเป็นก๊าซซึ่งต้องระบายทิ้งออกจากเตาเผา ปฏิกิริยาไพโรไลซิส และ ออกซิเดชัน ใช้เวลา 5 และ 10 นาทีตามลำดับ
- ค. นำคาร์บอนไปทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วในถังน้ำเย็น
- ง. ล้างคาร์บอนที่เย็นแล้วเพื่อกำจัดส่วนที่เป็นฝุ่นผง ออกไปจากส่วนที่เป็นเม็ด
- จ. คาร์บอนที่ล้างแล้วสามารถนำไปใช้ใหม่ได้



ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

แม้ว่าโมเลกุลของสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เกาะติดผิวคาร์บอนได้เป็นอย่างดี แต่ถ่านกัมมันต์ก็ไม่สามารถดูดซับ คอลลอยด์ หรือโมเลกุลบางชนิดให้มาติดที่ผิวได้เช่น โมเลกุลขนาดเล็ก (โมเลกุลที่มีคาร์บอนน้อยกว่า 3 อะตอม) และโมเลกุลแบบโพลาร์ (Polar Molecule) ตัวอย่างของโมเลกุลที่คาร์บอนไม่จับ ได้แก่ แอลกอฮอล์ธรรมดา, กรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก และน้ำตาล

โมเลกุลที่คาร์บอนจับไม่ได้ มักเป็นโมเลกุลที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย แต่ในทางตรงกันข้าม โมเลกุลที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากมักสามารถเกาะติดผิวคาร์บอนได้ ถ่านกัมมันต์มีประโยชน์ดังต่อไปนี้

1. กำจัดสี กลิ่น และรส ซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ เช่น กรดฮิวมิก (Humic Acid) และกรดฟัลวิก (Fulvic acid)
2. กำจัดคลอรีนในน้ำ บางครั้งจำเป็นต้องเติมคลอรีนจำนวนมาก เพื่อให้ได้ผลอย่างเฉียบพลันในการฆ่าเชื้อโรค จึงทำให้มีคลอรีนตกค้างในน้ำมากเกินไป กรณีนี้แก้ไขโดยบรรจุถ่านกัมมันต์แบบเม็ดไว้ในถังและปล่อยให้ น้ำไหลผ่านชั้นคาร์บอน
3. กำจัดโลหะหนักต่างๆถึงคาร์บอนแบบเม็ดสามารถกำจัดปรอทและเงินได้หมด และสามารถลดความเข้มข้นของโลหะอื่นๆ เช่น ตะกั่ว ทองแดง ฯลฯ จนเหลือถึงระดับที่ยอมรับได้ใต้น้ำดื่ม
4. กำจัดสารฆ่าแมลง (Pesticide) โดยปกติ กรรมวิธีทำความสะอาดน้ำแบบธรรมดาซึ่งได้แก่ การตกตะกอน และการกรอง มักไม่สามารถกำจัดสารฆ่าแมลงชนิดต่างๆยกเว้น ดีดีที ซึ่งอาจถูกกำจัดได้เพียงบางส่วน ถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 แบบ สามารถกำจัดสารฆ่าแมลงชนิดต่างๆได้อย่างดี ปริมาณผงคาร์บอนที่ใช้สูงประมาณ 5-20 มก./ล.
5. กำจัดผงซักฟอก กรรมวิธีทำความสะอาดน้ำแบบธรรมดาและคลอรีนกำจัดผงซักฟอกออกจากน้ำได้น้อยมาก ผงคาร์บอนที่เติมก่อนการตกตะกอนในปริมาณประมาณ 12.5-25 มก./ล. สามารถกำจัดผงซักฟอกได้ 50% แต่ถ้าต้องการกำจัดผงซักฟอกให้ได้ถึง 90% หรือมากกว่า จะต้องใช้คาร์บอนแบบเม็ด ซึ่งบรรจุเป็นถังและให้น้ำไหลผ่าน
6. กำจัดฟีนอลและสารประกอบฟีนอล โดยทั่วไปคาร์บอนจับฟีนอลต่างๆได้ดีแม้กระทั่งคาร์บอนที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์จนเสื่อมแล้ว ก็ยังสามารถจับฟีนอลได้ ถ้าต้องการจับฟีนอลให้หมดต้องใช้คาร์บอนแบบเม็ด
7. กำจัดสารไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนเหมาะสำหรับกำจัดไฮโดรคาร์บอนแบบลูกโซ่อิ่มตัว (Saturated Chain Hydrocarbon)
8. เป็นสารดูดซับสารพิษที่ใช้ได้ผลดีที่สุดและปลอดภัยที่สุด

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดติดผิว

ขณะที่มีการดูดติดผิว โมเลกุลของตัวถูกทำลายจะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บน ถ่านกัมมันต์ หรือสารดูดติดผิว (Adsorbent) อื่นๆ โมเลกุลส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่ภายในโพรงของคาร์บอน และมีเพียงบางส่วนน้อยที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาคาร์บอน เกิดขึ้นได้จนถึงจุดสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยมากเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไม่เกาะจับอยู่บนคาร์บอน

สมดุลของการดูดติดผิวของคาร์บอนเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ จึงใช้ในการกำหนดขีดความสามารถของระบบดูดติดผิว เช่น ทำให้รู้ว่าระบบดูดติดผิวสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากน้อยเพียงใด สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งที่ต้องกล่าวคือ จลศาสตร์ของระบบซึ่งอธิบายถึงอัตราเร็วของการดูดติดผิว นั่นคือ เมื่อรู้ว่าการดูดติดผิวจะเกิดขึ้นได้เท่าไร ยังต้องรู้อัตราของตัวดูดติดผิว เพื่อให้รู้ว่าการดูดติดผิวจะเกิดขึ้นได้ภายในเวลาเท่าใด จลศาสตร์ ของระบบ จึงช่วยกำหนดเวลากักน้ำ (หรือเวลาสัมผัส) ของถังคาร์บอน ซึ่งเท่ากับเป็นการกำหนดขนาดของถังคาร์บอน นั้นเอง

อัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดติดผิวของคาร์บอนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ความปั่นป่วน

อัตราเร็วในการดูดติดผิวอาจขึ้นอยู่กับ Film Diffusion หรือ Pore Diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบคาร์บอนจะมีความหนา(เพราะไม่ถูกรบกวน) และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาคาร์บอน ทำให้ Film Diffusion เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดติดผิว ในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูงทำให้น้ำไม่อาจสะสมตัว จนเป็นฟิล์มหนาเป็นผลให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าไปหาคาร์บอนได้รวดเร็วกว่า การเคลื่อนที่เข้าไปในโพรง กรณีนี้ Pore Diffusion จะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดติดผิว ด้วยเหตุนี้ อัตราเร็วในการดูดติดผิวของคาร์บอนจึงขึ้นอยู่กับ Pore Diffusion เพราะระบบของคาร์บอนผามีความปั่นป่วนสูง (เช่น มีการกวนน้ำในถังผสม) แต่อัตราเร็วของการดูดติดผิว คาร์บอนแบบเม็ดมักขึ้นอยู่กับ Film Diffusion ทั้งนี้เนื่องจากการใช้คาร์บอน แบบเม็ดมีลักษณะการใช้ งานที่คล้ายกับการใช้ถังกรองทราย ซึ่งมีความปั่นป่วนเกิดขึ้นภายในถัง อยู่ในระดับต่ำ

2. ขนาดและพื้นที่ผิวของคาร์บอน

คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของคาร์บอน คือขนาดและพื้นที่ผิว ขนาดของคาร์บอนมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วของการดูดติดผิวในทางลบ กล่าวคือ อัตราดูดติดผิวเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของคาร์บอน ดังนั้น คาร์บอนผงจึงมีอัตราเร็วในการดูดติดผิวสูงกว่าคาร์บอนเม็ด ส่วนพื้นที่ผิวของคาร์บอนนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการดูดติดผิว (Adsorptive Capacity) นั่นคือ คาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลได้มากกว่าคาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวน้อย และเนื่องจากพื้นที่ผิวส่วนใหญ่ของคาร์บอนได้มาจาก ช่องว่างหรือโพรงภายใน ขนาดของคาร์บอนจึงมีบทบาทน้อยในการกำหนดพื้นที่ผิว คาร์บอน ทั้งแบบผงและแบบเม็ดจึงมีพื้นที่

ผิวต่อหน้าหน้าใกล้เคียงกัน ซึ่งหมายถึงการมีความสามารถในการดูดติดผิวใกล้เคียงกันด้วยแต่อัตราไม่เท่ากัน

3. ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดติดบนผิวคาร์บอน

เมื่อมีการดูดติดผิวเกิดขึ้นโมเลกุลจะถูกดึงออกจากน้ำ และไปเกาะติดบนผิวของของแข็ง สารที่ละลายน้ำได้ (หรือแตกตัวเป็นไอออน) ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้ อย่างเหนียวแน่นจึงเป็นสารที่ยากต่อการดูดติดผิว สารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อย มักสามารถเกาะติดบนผิวคาร์บอนได้ดี แต่เกณฑ์ดังกล่าวไม่ได้เป็นจริงเสมอไปเพราะสารที่ละลายน้ำได้น้อยหลายชนิดเกาะติดผิวคาร์บอนได้ยาก ตัวอย่างเช่น Amines : Di-N-Propylamine, Butylamine แต่ในทางตรงกันข้ามการดูดติดผิวอาจเกิดขึ้นได้ง่ายกับสารที่ละลายน้ำได้ดี ตัวอย่างเช่น Glycols : Ethylene glycol , Diethylene Glycol ด้วยเหตุนี้จึงไม่อาจกล่าวได้เต็มที่มีความสัมพันธ์แน่นอนในเชิงปริมาณระหว่างความสามารถในการดูดติดผิวและความสามารถในการละลายน้ำ

4. ขนาดของสารที่ถูกดูดติดบนผิวของคาร์บอน

ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดติดผิว ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของคาร์บอน พบว่าการดูดติดผิวจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อมีสารขนาดเล็กกว่าโพรงเล็กน้อยหรือโมเลกุลของสารที่ดูดเข้าไปแต่ละชนิด เส้นผ่าศูนย์กลางมีผลต่อโครงสร้าง ถ้ามีรูขนาดเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของสาร โมเลกุลไม่สามารถเข้าไปในรูได้ ดังนั้น สำหรับหลายๆโมเลกุล พื้นผิวที่จะดูดซับต้องมีรูที่มีขนาดใหญ่พอที่โมเลกุลจะเข้าไป เพราะแรงดึงดูดระหว่างสารและคาร์บอนจะมีมากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในโพรงก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้าง

5. พีเอช

พีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อการดูดติดผิวด้วย ความสามารถในการดูดติดผิวเพิ่มขึ้นที่ พีเอชต่ำ ในทางเดียวกันเมื่อพีเอชสูง ความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลง (Harrison, 1981) นอกจากนี้ ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวคาร์บอนได้ดี

6. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดติดผิว กล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิและลดลงตามการลดของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดติดผิว จะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูงและจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำทั้งนี้เพราะการดูดติดผิวเป็นปฏิกิริยาแบบ Exothermic

ความสำคัญของไนเตรตและไนไตรต์

ไนเตรตและไนไตรต์พบว่าเป็นวัตถุเจือปนอยู่ในอาหาร ทั้งโดยเจตนาหรือไม่เจตนาของผู้ผลิตหรือผู้ปรุง เกลือไนเตรตเป็นส่วนประกอบของบูยอนินทรีย์โปตัสเซียมไนเตรต บูยค่างควา ฉะนั้นบริเวณเกษตรกรรมที่มีการใส่บูยประเภทนี้จะทำให้ดิน, น้ำ, พืช และเนื้อสัตว์ที่อยู่ในบริเวณเพาะปลูกนั้นมีปริมาณไนเตรตเพิ่มมากขึ้นด้วยพืชผักที่ถูกรดด้วยบูยทางใบจะมีสารไนเตรตตกค้างมากหลังการเก็บเกี่ยว ไนเตรตเป็นบูยที่บำรุงใบและการเจริญของพืชพวกใบ นอกจากนี้ในอาหารพืชผักแล้ว เราอาจได้รับไนเตรตโดยทางอ้อม เช่น ทางน้ำดื่ม น้ำประปา น้ํานม และ อาหารสัตว์ ผลไม้ เช่น กัลยหอม และสตอเบอรี่ มีปริมาณไนเตรตสูงกว่าผลไม้อื่นที่กินทั่วๆไปซึ่งมีไนเตรตปริมาณสูงจะผลิตน้ํานมที่มีไนเตรตถึง 0.05 มิลลิกรัม ต่อ 100 มิลลิกรัม

อาหารที่เก็บไว้นานๆ รักษาสภาพในรูปต่างๆ และที่จำหน่ายในท้องตลาด ได้แก่ อาหารจำพวกเนื้อ เช่น เนื้อกระป๋อง, ปลากระป๋อง, หมูแฮม, หมูเบคอน, แหนม, กุนเชียง, เนื้อเค็มแห้ง, ปลาเค็ม, ไส้กรอกชนิดต่างๆ และปลาร้า ผู้ผลิตมักจะเติมเกลือไนเตรตและไนไตรต์ปนลงไปด้วยเสมอ เพราะเกลือโซเดียมหรือโปตัสเซียมไนเตรตและเกลือไนไตรต์เป็นสารกันบูดและสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Clostridium botulinum* ซึ่งมีพิษร้ายแรง การเติมเกลือไนเตรตลงในเนื้อสัตว์นั้นจะทำให้เนื้อเปื่อยยุ่ย มีสีแดงเข้มทนนาน และรสชาติขรึบประทาน (ไมตรี, 2531) ทั้งนี้เนื่องจากไนไตรต์สามารถเปลี่ยนเป็นไนไตรต์ออกไซด์ (NO) ซึ่งทำปฏิกิริยากับไมโอโกลบิน (myoglobin) ซึ่งเป็นเม็ดสีในเนื้อได้เป็นไนไตรซิลไมโอโกลบิน (nitrosyl myoglobin) ซึ่งมีสีแดงที่อยู่ตัว (ศิริรัตดา และคณะ , 2528) จากการทดลองพบว่า ผู้ผลิตจะต้องใส่เกลือไนไตรต์ประมาณ 20-50 มิลลิกรัม ต่อเนื้อสัตว์ 1 กิโลกรัม จึงจะทำให้เกิดสีแดง และมีกลิ่นรสดีพอที่จะจำหน่ายได้ (ไมตรี , 2531)

การที่ไนเตรตอาจถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรต์ที่เป็นพิษต่อร่างกายได้ กระทรวงสาธารณสุขจึงได้มีประกาศการกำหนดปริมาณของไนเตรตในอาหารว่าไม่ควรสูงกว่า 500 มิลลิกรัม ส่วนไนไตรต์ เนื่องจากตัวมันเองเป็นพิษต่อร่างกายโดยตรงระดับปริมาณไนไตรต์ในอาหารจึงถูกกำหนดไม่เกิน 125 มิลลิกรัม ซึ่งต่ำกว่าระดับของไนเตรต (สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค , 2535) ระดับปริมาณไนเตรตและไนไตรต์ที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนดขึ้นนี้เป็นค่าเดียวกับที่องค์การอาหารและเกษตรกรรมแห่งสหประชาชาติ (FAO) และประเทศอื่นๆ ได้กำหนดไว้ (Walker, 1975)

การเปลี่ยนไนเตรตเป็นไนไตรต์

การเปลี่ยนไนเตรตเป็นไนไตรต์ในอาหารอาจเพิ่มขึ้นได้โดยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่

1. ปริมาณของไนเตรตที่อยู่ในอาหาร

อาหารจำพวกผักที่ได้รับการให้ปุ๋ยไนเตรตอย่างเต็มที่หรือมากเกินไป ปริมาณไนเตรตที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์หรือโปรตีนจะตกค้างในเซลล์ของผักมาก ดังนั้นจึงคำนึงถึงการเลือกผักที่จะนำมาใช้ต้มเป็นน้ำซุบให้แก่ทารกอายุต่ำกว่า 6 เดือน เพราะปริมาณไนเตรตที่ออกมาในน้ำซุบอาจเป็นอันตรายต่อเด็กได้ง่าย คือ ทำให้มีเมธิโมโกลบินเพิ่มมากในเลือด (methemoglobinemia) หรือในน้ำดื่มถ้าในน้ำดื่มมีไนเตรตมากกว่า 10 ppm. อาจทำให้ทารกได้รับอันตรายจากการเกิดเมธิโมโกลบินในเลือด (อุษณา,2527)

2. อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บอาหาร

อุณหภูมิที่ห้องมักจะเหมาะสมสำหรับการเปลี่ยนไนเตรตเป็นไนไตรต์ได้ดีกว่าอุณหภูมิในตู้เย็นหรือที่ 4 องศาเซลเซียส แต่การแช่เย็นให้แข็งจะห้ามปฏิกิริยารีดักชันได้ดีที่สุด เราอาจเก็บอาหารที่มีไนเตรตไว้ในตู้เย็นได้นานถึง 1 เดือนโดยเปลี่ยนเป็นไนไตรต์เพียงเล็กน้อย แต่ถ้าไม่เก็บในตู้เย็นเพียง 3-4 วันไนไตรต์จะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน จากข้อแตกต่างเหล่านี้อธิบายได้ว่าแบคทีเรีย *E.coli* และ *Pseudomonas* ซึ่งมีเอนไซม์ nitrate reductase จะทำงานน้อยลงที่อุณหภูมิต่ำๆ

3. ปริมาณออกซิเจน

การเก็บอาหารไว้ในที่สูญอากาศจะลดการเปลี่ยนไนเตรตให้เป็นไนไตรต์ได้ และระดับไนไตรต์ที่มีอยู่เดิมก็จะลดลงด้วย

4. การทำให้อาหารสุก

การทอด การย่าง และการต้มจะลดปริมาณไนไตรต์ได้ประมาณ 20-90% แต่ถ้าใช้ภาชนะอะลูมิเนียมในการปรุงอาหารกลับทำให้ไนเตรตเปลี่ยนเป็นไนไตรต์มากขึ้น

เมตะบอลิซึมของไนเตรตและไนไตรต์

เกลือไนเตรตหรือไนไตรต์จะถูกดูดซึมผ่านชั้นมิวโคซาของกระเพาะได้ บางส่วนของไนเตรตจะเข้าสู่ลำไส้เล็ก และถูกเปลี่ยนแปลงโดยแบคทีเรียหลายชนิด กลายเป็นไนไตรต์ออกไซด์หลายชนิด (N_2O_5 , NO_2 , NO) ไฮดรอกซีลามีน (NH_2-OH) และแอมโมเนียบางส่วนของไนไตรต์จะถูกขับออกมาทางต่อมน้ำลาย แล้วถูกกลืนเข้าไปใหม่อีก

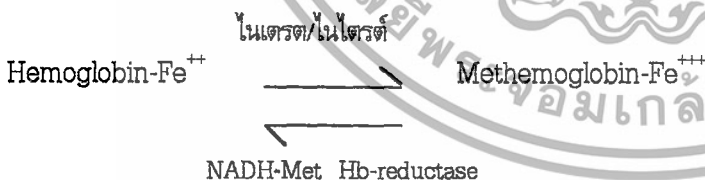
ความเป็นพิษของไนเตรตและไนไตรต์

ไนเตรตในระดับที่ร่างกายได้รับจากการรับประทานอาหารมักจะไม่เป็นโทษกับร่างกาย เพราะส่วนใหญ่ร่างกายจะกำจัดไนเตรตออกทางปัสสาวะ (Fudge and Truman, 1973) แต่ไนเตรตอาจเป็นโทษกับร่างกายได้หากถูกเปลี่ยนให้เป็นไนไตรต์ ซึ่งมีพิษมากกว่าไนเตรต การเปลี่ยนไนเตรตเป็นไนไตรต์อาจเกิดได้โดยเชื้อจุลินทรีย์ในสภาวะที่เหมาะสม เช่นในกระเพาะอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง พวก วัว ควาย หรือในกระเพาะของเด็กของเด็กวัยต่ำกว่า 6 เดือน ซึ่งมีความเป็นกรดน้อย (Fudge and Truman, 1973) หรือในที่อื่นๆ

เป็นต้น ในสภาวะดังกล่าว เชื้อจุลินทรีย์จะช่วยเปลี่ยนไนเตรตให้เป็นไนไตรต์ได้ดี แม้ว่าตั้งไนเตรตเองจะไม่เป็นพิษแต่เนื่องจากไนเตรตอาจถูกเปลี่ยนเป็นสารที่มีพิษได้ดังนั้นไนเตรตจึงจัดว่าเป็นสารที่มีพิษต่อร่างกายโดยทางอ้อม

ส่วนไนไตรต์ที่เป็นพิษต่อร่างกายโดยตรง ทำให้เกิดความเป็นพิษเฉียบพลัน คือ ทำให้เกิดอาการเมธฮีโมโกลบินีเมีย (methemoglobinemia) อาการนี้เกิดจากการที่ไนไตรต์ถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด เข้าไปทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับเฟอร์รัสไอออน (ferrous, Fe^{2+}) โดยการออกซิไดซ์ ในฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ถูกเปลี่ยนเป็นเฟอร์ริกไอออน (ferric ion, Fe^{3+}) ทำให้ฮีโมโกลบินเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เรียกว่า "เมธฮีโมโกลบิน" (methaemoglobin) ซึ่งไม่สามารถจับกับออกซิเจนได้ การนำพาแก๊ซออกซิเจนไปสู่เซลล์ลดลง (ศิริรัตนา และคณะ, 2528)

ถ้าปริมาณเมธฮีโมโกลบินเพิ่มมากขึ้นกว่า 20% ของฮีโมโกลบินทั้งหมด ผู้ป่วยจะมีอาการไม่สบาย เนื่องจากการขาดออกซิเจนอย่างเห็นได้ชัด เช่น อาการตัวเขียว อ่อนเพลีย หายใจหอบถี่ ปวดศีรษะ หัวใจเต้นแรงและมีจังหวะเร็วกว่าปกติ อย่างไรก็ตามร่างกายก็พยายามจะปรับระดับฮีโมโกลบินให้สูงขึ้นโดยเปลี่ยนมาจากเมธฮีโมโกลบินนั่นเอง ในเม็ดเลือดแดงของผู้ใหญ่มีเอนไซม์ชนิดหนึ่งชื่อ เอ็นเอ็ดเอช-เมธฮีโมโกลบินรีดักเตส (NADH-methemoglobin reductase) ซึ่งสามารถเปลี่ยนเมธฮีโมโกลบินให้คืนกลับเป็นเมธฮีโมโกลบินอย่างเดิมดังนี้



ความเป็นพิษของไนเตรตและไนไตรต์ในร่างกายขึ้นอยู่กับปริมาณและการทำงานของ NADH-Met Hb-reductase ในเด็กที่อายุต่ำกว่า 3 เดือน เม็ดเลือดแดงยังไม่มีเอนไซม์ดังกล่าว และอีกอย่างหนึ่งฮีโมโกลบิน เอฟ (Hb-F) ในเด็กคลอดใหม่ มีอยู่ถึง 60-80% จะถูกออกซิไดซ์ด้วยไนไตรต์ได้ดี และง่ายกว่าฮีโมโกลบิน-เอ (Hb-A) ฉะนั้น เมธฮีโมโกลบินจะเกิดขึ้นมากในเด็ก และมีความรุนแรงกว่าในผู้ใหญ่ที่ได้รับไนเตรตหรือไนไตรต์ในอัตราส่วนต่อน้ำหนักร่างกายเท่ากัน

องค์การอนามัยโลกได้ประกาศเตือนให้ระวังพิษของไนเตรตและไนไตรต์ 4 ข้อ

1. การขงนมผงสำหรับทารกควรใช้น้ำที่มีปริมาณไนเตรตน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย หากไม่มีน้ำบริสุทธิ์หรือน้ำที่ดื่อกว่าที่กำหนด ควรหันมาใช้ น้ำนมแม่หรือนมสดจากสัตว์ดีกว่า
2. ผักหรือผลไม้ที่จะนำมาผสมสำหรับเลี้ยงทารกควรมีปริมาณไนเตรตต่ำ และไม่ควรมีการเติมไนไตรต์หรือไนเตรตลงในอาหารเลี้ยงทารกโดยเด็ดขาด
3. หากมีความจำเป็นที่จะใส่สารไนเตรตและไนไตรต์ลงในอาหารสำเร็จรูปสำหรับเลี้ยงทารกเพื่อถนอมรักษา หรือถนอมการเจริญเติบโตของเชื้อ *Clostridium botulinum* ควรจะใส่สารลงไปให้น้อยที่สุด เช่นเดียวกับกรณีใส่ในเนื้อกระป๋องหรือปลากระป๋อง
4. น้ำประปาไม่ควรจะมีปริมาณไนเตรตและไนไตรต์เกิน 45 มิลลิกรัมต่อลิตรนี้ เป็นมาตรฐานน้ำดื่มตามระดับสากล

นอกจากการเพิ่มปริมาณของเมธิโมโกลบินจะทำให้หัวใจต้องสูบน้ำโลหิตมากขึ้นเป็นการชดเชยเช่นภาวะการขาดออกซิเจนในกระต่าย พิษของไนเตรตและไนไตรต์ทำให้คลื่นหัวใจ (EKG) เปลี่ยนแปลงผิดปกติไป ช่วงคลื่น Q-T จะสั้นลงและความสูงของคลื่นจะลดลง บางทีกลายเป็นลบ

พิษเรื้อรังของไนเตรตและไนไตรต์ เนื่องจากการรับสารพิษนี้เข้าไปทีละน้อย นานๆ อาจมีผลทำให้เส้นเลือดโคโรนารี (coronary) ที่ไปเลี้ยงหัวใจมีผนังบางลงแต่ขยายขนาดใหญ่ขึ้น มีกลุ่มเซลล์เกาะกินและเป็นพังผืดบนเนื้อเยื่อหัวใจ หลอดลมมักจะขยายและมีถุงลมโป่งพอง (ไมตรี, 2531)

พิษเรื้อรังยังพบกับสัตว์เคี้ยวเอื้องพวก วัว ควาย และผลของไนเตรตที่เกิดขึ้นจะไปยังยังการเจริญเติบโต ลดการผลิตน้ำนมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และทำให้เกิดการทำแท้ง (abortion) (Hubbert and Hagstad, 1991)

นอกจากนี้ไนไตรต์ยังทำปฏิกิริยากับสารประกอบประเภทเอมีน (amines) หรือเอไมด์ (amides) กลายเป็นสารประกอบไนโตรโซ (nitroso compounds) ซึ่งจัดว่าเป็นพิษต่อร่างกายอย่างร้ายแรง เพราะเป็นสารก่อมะเร็งและอาจก่อมะเร็งและอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะต่างๆทางพันธุกรรม (Rubin, 1977., Shank and Newbeme, 1976., Wolff and Wasserman, 1972.)

พิษของไนเตรตกับสัตว์ สัตว์จะได้รับไนเตรตจากพืชอาหารสัตว์ การเกิดสภาวะแห้งแล้งทำให้ความเข้มข้นของไนเตรตเพิ่มขึ้น ยังมาจากแหล่งน้ำที่มีไนเตรตสูง และจากการกินพืชที่มีการสะสมไนเตรตจากแหล่งน้ำนั้น พิษของไนเตรตจะเกิดขึ้นเหมือนกัน ในพวกสัตว์เคี้ยวเอื้องทุกชนิด ทั้งโค กระบือ แพะ แกะ โดยไนเตรตจะถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรต์ที่ระบย่อยอาหาร ไนไตรต์ที่เกิดขึ้นจะไปช่วยเปลี่ยนแปลงขบวนการขนส่งออกซิเจนของเลือดให้ลดลง ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการตาย อาการของสัตว์ที่ได้รับพิษจากไนเตรตจะเกิดอาการทั้งอ่อนเพลีย เซื่องซึม อ้าปากน้ำลายไหล เกร็งไปทั้งตัว ทมดแรง หายใจเร็ว ล้มลงนอน เจาะเลือดมาดูจะพบว่ามีสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งคล้ายฮีโมโกลบิน (Methemoglobin) เยื่อหุ้มมีสีคล้ำเกือบเทา ระดับที่จะบอกว่ามีปริมาณไนเตรตที่จำนวนเท่าใดในพืชอาหารสัตว์ โดยทั่วไปแล้วจะกำหนดว่า ปริมาณไนเตรตที่พบถ้า 0.5% ยังไม่เกิดปัญหาภัยกับสัตว์เลี้ยง แต่ถ้าปริมาณมากเกินกว่า 1.5% จะทำให้สัตว์ตายได้ (สุลิซล, 2533)

อาการพิษ (เกิดจากการรับประทาน) (อุษณา, 2527)

พิษจากไนเตรต ถ้ารับประทานโซเดียม หรือโปแตสเซียมไนเตรตมากเกินไป จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อทางเดินอาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเดิน (ถ้าอาการรุนแรงจะถ่ายเป็นเลือด) ปวดท้อง เวียนศีรษะ หน้ามืด กล้ามเนื้ออ่อนเปลี้ย บัสสาวะมีเลือดและอัลบูมิน บัสสาวะน้อย ชัก คอแลปส์ โคม่า และในที่สุดจะถึงแก่ความตาย

พิษจากไนไตรต์ จะทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ท้องเดิน เสียต้อ ง หน้าและคอแดง เวียนศีรษะ หัวหมุน หน้ามืด จิตใจสับสน หลอดเลือดส่วนปลายขยาย ความดันเลือดลดลง หัวใจเต้นเร็ว เป็นลม หน้าเขียวตัวเขียว เกิดเมธิโมโกลบินในเลือด จึงทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน ม่านตาขยาย เลือดตามปลายนิ้วมือเดินไม่สะดวก โคม่า และในที่สุดจะตาย เนื่องจากภาวะการหายใจและหัวใจวาย

การรักษา (พิษที่เกิดจากการรับประทาน)

พิษจากไนเตรต ควรปฏิบัติดังนี้

1. ทำให้สารพิษนั้นดูดซึมช้าลง ด้วยการให้ดื่มน้ำ, นม หรือผงถ่าน (activated charcoal) แล้วจึงล้างกระเพาะ หรือทำให้อาเจียน และให้ยาถ่ายโซเดียมซัลเฟต
2. ให้ออกซิเจน และเครื่องช่วยหายใจเมื่อจำเป็น
3. ถ้ามีอาการชักเกิดขึ้น ให้ระงับอาการชักด้วยยาบาร์บิทูเรต นอกจากนี้ก็คอยป้องกันมิให้เกิดอันตรายต่อไต

พิษจากพวกไนไตรต์ ควรปฏิบัติดังนี้

4. รีบล้างกระเพาะแล้วให้ยาถ่าย เพื่อช่วยขจัดสารพิษที่อยู่ในกระเพาะอาหารและลำไส้
5. ให้ออกซิเจนและเครื่องช่วยการหายใจเมื่อจำเป็น และถ้ามีอาการหน้าเขียวตัวเขียวมาก ให้รีบถ่ายเลือดทันที
6. รักษาเมธิโมโกลบินในเลือด ด้วยการให้ไวตามินซีและเมทิลีนบลู 1% (Methylene blue) ขนาด 1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ฉีดเข้าทางหลอดเลือด
7. คอยควบคุมน้ำและอิเล็กโตรไลต์ที่อยู่ในภาวะสมดุลย์ ในการรักษาห้ามใช้ epinephrine

หมายเหตุ

การใช้ผงถ่าน (Activated charcoal) เป็นยาดูดซับที่ใช้ได้ผลดีที่สุด และปลอดภัยที่สุด และมีคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษต่างๆ ได้ เช่น Strychnine nitrate มีปริมาณที่ถูกดูดซับมากที่สุด คือ 950 มิลลิกรัม

ขนาดที่ผู้ใหญ่ใช้รับประทาน ครั้งละ 1-2 ช้อนโต๊ะ (30-50 กรัม) ผสมกับน้ำ 8 ออนซ์
เด็กใช้รับประทาน ครั้งละ 30 กรัม หรือ 1 ช้อนโต๊ะ (อุษณา, 2527)

ผลของสุขภาพด้านอื่นๆ

จากการค้นคว้าโภชนาการของสัตว์เลี้ยงซึ่งให้เห็นความผิดปกติของสัตว์ทดลองทำได้รับไนเตรต หรือไนไตรต์มากดังต่อไปนี้

1. สัตว์มีอาการขาดวิตามิน A เนื่องจากความเป็นพิษของไนเตรตที่มีต่อเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับเมตาโบลิซึมของวิตามิน A นอกจากนี้ไนไตรต์ยังทำลายคาโรทีน ขณะที่สารดังกล่าวอยู่ในระบบทางเดินอาหารด้วย
2. สัตว์มีความต้องการไอโอดีนมากขึ้น แต่เดิมเคยมีความต้องการเพียง 35 ppb. หากร่างกายได้รับไนเตรตมากๆ ความต้องการไอโอดีนของสัตว์จะเพิ่มเป็น 200 ppb.
3. ไนไตรต์ยังอาจเป็นสาเหตุของความผิดปกติในร่างกายอีกหลายอย่าง เช่น หัวใจเต้นเร็วกว่าปกติ
4. ไนไตรต์ ทำปฏิกิริยากับ amine ในร่างกายได้ nitrosamine ซึ่งเชื่อกันว่า เป็นสารชนิดหนึ่งที่ก่อให้เกิดมะเร็งในสิ่งมีชีวิต



อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

- Funnel
- Beaker 10,100,250,1000,4500 ml.
- Cylinder 10,100.250 ml.
- Volumetric flask 250,500,1000 ml.
- Test tube
- Pipette 1,5,10 ml.
- Retort stand
- Spatula
- Amber bottle
- Stirring rod
- Hot air oven
- เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ขนาด 12.5 ซม.

สารเคมี

- Activated charcoal ยี่ห้อ Fluka ชนิด Power (PAC), particle size 75% < 40 $\mu\text{g}/\text{ml}$
- Sodium hydroxide
- Hydrochloric acid (1.2 N, 2.4 N)
- Sulfuric acid Conc.
- Sodium nitrite
- Potassium nitrate
- Salicylic acid
- Sulfanilamide
- N-(1-naphthyl) ethylenediamine dihydrochloride
- Distilled water

การเตรียมสารเคมีทดสอบ

1. Salicylic acid 5% : ละลาย Salicylic acid 5 g. ใน H_2SO_4 เข้มข้น จำนวน 95 ml. เก็บไว้ในขวดสีชา (ใช้ได้ภายใน 7 วัน)

2. Sodium hydroxide 4M. : ละลาย NaOH 160 g. ในน้ำกลั่น 1000 ml.

3. NED reagent : ละลาย N-1 naphthyl ethylene diamine dihydrochloride 0.3 g. ใน 0.12 N. HCl 100 ml. เก็บไว้ในขวดสีชา

4. Sulfanilamide reagent : ละลาย Sulfanilamide 0.5g. ใน 2.4N. HCl 100 ml. เก็บไว้ในขวดสีชา



การทดลอง

เตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรตและไนไตรต์ที่ความเข้มข้นดังนี้ คือ

Standard solution NO_3^- 0.06 และ 10.0 ppm.

Standard solution NO_2^- 0.06 และ 10.0 ppm.

วิธีการเตรียมสารละลาย

การเตรียมสารละลายไนเตรต (NO_3^-)

1. อบ KNO_3 ในตู้อบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง เสร็จแล้วเก็บไว้ใน desiccator
2. ชั่ง KNO_3 ที่อบแล้ว 1 g. ละลายด้วยน้ำกลั่น 1,000 ml. เก็บไว้ใน Volumetric flask ขนาด 1,000 ml. จะได้ stock solution NO_3^- 1,000 $\mu\text{g./ml}$.
3. Pipette stock solution จำนวน 50 ml. ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 500 ml. แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ จะได้ intermediate solution NO_3^- 100 $\mu\text{g./ml}$.
4. Pipette intermediate solution เข้มข้น 100 $\mu\text{g./ml}$. จำนวน 10 ml. ใส่ Volumetric flask ขนาด 100 ml. แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ จะได้ working solution 10.0 $\mu\text{g./ml}$ NO_3^-
5. Pipette working solution เข้มข้น 10.0 $\mu\text{g./ml}$. จำนวน 27 ml. ใส่บีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 4,500 ml. คนให้เข้ากัน จะได้ working solution 0.06 $\mu\text{g./ml}$ NO_3^-

การเตรียมสารละลายไนไตรต์ (NO_2^-)

1. อบ NaNO_2 ในตู้อบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง เสร็จแล้วเก็บไว้ใน desiccator
2. ชั่ง NaNO_2 ที่อบแล้ว 1 g. ละลายด้วยน้ำกลั่น 1,000 ml. เก็บไว้ใน Volumetric flask ขนาด 1,000 ml. จะได้ stock solution NO_2^- 1,000 $\mu\text{g./ml}$.
3. Pipette stock solution จำนวน 50 ml. ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 500 ml. แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ จะได้ intermediate solution NO_2^- 100 $\mu\text{g./ml}$.
4. Pipette intermediate solution เข้มข้น 100 $\mu\text{g./ml}$. จำนวน 10 ml. ใส่ Volumetric flask ขนาด 100 ml. แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ จะได้ working solution 10.0 $\mu\text{g./ml}$ NO_2^-
5. Pipette working solution เข้มข้น 10.0 $\mu\text{g./ml}$. จำนวน 27 ml. ใส่บีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 4,500 ml. คนให้เข้ากัน จะได้ working solution 0.06 $\mu\text{g./ml}$ NO_2^-

ปริมาณของสารละลายมาตรฐาน แต่ละความเข้มข้นที่ใช้ทำการทดลองมีปริมาตร 50, 100 และ 200 ml. ปริมาณ activated carbon ที่ใช้ทำการทดลอง คือ 1.5 g. เท่ากัน



วิธีการทดลอง

1. ตวงสารละลาย แต่ละความเข้มข้นจำนวน 50, 100 และ 200 ml. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 ml.
2. เติม activated carbon จำนวน 1.5 g. ใส่ในสารละลายแต่ละบีกเกอร์ แล้วคนด้วยแท่งแก้วนานประมาณ 5 นาที
3. กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42
4. นำสารละลายที่กรองได้ไปพัฒนาสีด้วยสารทดสอบ Sulfanilamide และ N-1-naphthyl ethylene diamine dihydrochloride
5. นำสารละลายที่พัฒนาสีแล้วไปวัดค่า absorbance ด้วย spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 410 nm. เพื่อตรวจวิเคราะห์ไนเตรต และ 520 nm. เพื่อตรวจวิเคราะห์ไนไตรต์
6. คำนวณปริมาณไนเตรตและไนไตรต์ที่ถูกดูดซับโดย Activated carbon แล้วคำนวณเป็น $\mu\text{g}/\text{ml}$ และคำนวณค่าความแตกต่างทางสถิติ

การพัฒนาสีและตรวจวิเคราะห์ไนเตรต

1. Pipette สารละลายมาตรฐานเข้มข้น 0.06, 10.0 $\mu\text{g}/\text{ml}$. จำนวน 1 ml. ใส่ลงในหลอดทดสอบ หลอดละความเข้มข้น
2. เติม Salicylic acid 5% จำนวน 1 ml. ลงในแต่ละหลอดทดสอบ เขย่าให้เข้ากันโดยใช้ Vortex mixer แล้วตั้งทิ้งไว้ 20 นาที
3. เติม 4 M NaOH จำนวน 10 ml. เขย่าให้เข้ากันโดยใช้ Vortex mixer ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที
4. นำสารละลาย ซึ่งพัฒนาสีแล้วไปวัดค่า absorbance โดยใช้เครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 410 nm.
5. นำค่าที่วัดได้ไปคำนวณหาปริมาณไนเตรตที่ถูกดูดซับโดย activated carbon

การพัฒนาสีและตรวจวิเคราะห์ไนไตรต์

1. Pipette สารละลายมาตรฐานเข้มข้น 0.06, 10.0 $\mu\text{g}/\text{ml}$. จำนวน 1 ml. ใส่ลงในหลอดทดสอบ หลอดละความเข้มข้น
2. เติม Sulfanilamide จำนวน 2 ml. ลงในแต่ละหลอดทดสอบ เขย่าให้เข้ากันโดยใช้ Vortex mixer แล้วตั้งทิ้งไว้ 15 นาที
3. เติม N-1 naphthyl ethylenediamine dihydrochloride จำนวน 2 ml. เขย่าให้เข้ากันโดยใช้ Vortex mixer ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที
4. นำสารละลาย ซึ่งพัฒนาสีแล้วไปวัดค่า absorbance โดยใช้เครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 520 nm.
5. นำค่าที่วัดได้ไปคำนวณหาปริมาณไนไตรต์ที่ถูกดูดซับ โดย activated carbon

ผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ ไนเตรต และ ไนไตรต์ ที่ถูกดูดซับโดยผงถ่านกัมมันต์ พบว่า การใช้ผงถ่านกัมมันต์จำนวน 1.5 กรัม ไนเตรต และ ไนไตรต์ จะถูกดูดซับในสารละลายที่มีความเข้มข้น 10 $\mu\text{g/ml}$. มากกว่าที่ความเข้มข้น 0.06 $\mu\text{g/ml}$. ซึ่งแสดงว่า ความเข้มข้นของสารละลาย มีอิทธิพล ต่อการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ และที่ความเข้มข้นต่ำ 0.06 $\mu\text{g/ml}$. ปริมาตรของสารละลาย ระยะเวลาในการอบ และการทิ้งเวลาก่อนนำมาใช้ จะมีผลต่อการดูดซับ ของไนเตรตและไนไตรต์ ที่แตกต่างกัน อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ปัจจัยดังกล่าวจะมีผลต่อการดูดซับ ไนเตรต และ ไนไตรต์ ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง (10 $\mu\text{g/ml}$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $p = 0.05$ โดยที่เวลาในการอบ 90 นาที และนำมาใช้ทันที ผงถ่านกัมมันต์ดูดซับไนเตรต และ ไนไตรต์ มากที่สุด ปริมาตรของสารละลายที่ 200 ml. การดูดซับมีปริมาณมากกว่าที่ปริมาตร 100 และ 50 ml. โดยไนเตรต และ ไนไตรต์ จะถูกดูดซับ ในปริมาณ 4.071 $\mu\text{g/ml}$. และ 0.8163 $\mu\text{g/ml}$. ตามลำดับในปริมาตรของสารละลายที่ 200 ml. ซึ่งการดูดซับไนเตรต และ ไนไตรต์ ในปริมาตรของสารละลายที่ 200, 100 และ 50 ml. มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p = 0.05$ และที่ปริมาตร 50 ml. ไนเตรต และ ไนไตรต์ จะถูกดูดซับน้อยที่สุด ทั้งความเข้มข้นต่ำและสูง แต่ปริมาณ การดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ในความเข้มข้นต่ำและสูง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $p = 0.05$

ทั้งนี้ รายละเอียดการดูดซับไนเตรต และ ไนไตรต์ ในปริมาณ และ ความเข้มข้นที่ต่างกันของสารละลาย และ ในระยะเวลาที่ใช้ในการอบ และ การทิ้งเวลาก่อนนำมาใช้ที่ต่างกัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณการดูดซับไนเตรตโดย Activated Carbon จำนวน 1.5 กรัม ในขนาดความเข้มข้น 0.06 และ 10.0 $\mu\text{g/ml}$ และในปริมาตร 50, 100 และ 200 ml ของสารละลายไนเตรต

ความเข้มข้นของ สารละลาย (ppm.)	เวลาก่อนนำไปใช้ (นาที)	เวลาในการอบ (นาที)	การดูดซับในแต่ละปริมาตร ของสารละลาย ($\mu\text{g/ml}$)		
			50 ml	100 ml	200 ml
0.06	$T_2=0$	$T_1=30$	0.0505 j	0.0538 j	0.0547 j
		$T_1=60$	0.0535 j	0.0547 j	0.0565 j
		$T_1=90$	0.0579 j	0.0586 j	0.0599 j
	$T_2=30$	$T_1=30$	0.0444 j	0.0493 j	0.0495 j
		$T_1=60$	0.0495 j	0.0506 j	0.0538 j
		$T_1=90$	0.0513 j	0.0527 j	0.0572 j
10.00	$T_2=0$	$T_1=30$	2.247 hi	2.463 ghi	3.0887 defg
		$T_1=60$	3.213 i	3.642 i	3.892 ghi
		$T_1=90$	3.928 cgef	3.982 abcd	4.071 abc
	$T_2=30$	$T_1=30$	1.825 abcd	2.020 efgh	2.499 abc
		$T_1=60$	2.499 abc	2.942 ab	3.12 a
		$T_1=90$	3.244 bcde	3.598 abcde	3.705 abcd

T_1 =ระยะเวลาในการอบ T_2 =ระยะเวลาในการนำออกมาใช้

ค่าที่กำกับด้วยอักษรเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ค่าที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $p=0.05$

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณการดูดซับไนไตรต์โดย Activated Carbon จำนวน 1.5 กรัม ในขนาดความเข้มข้น 0.06 และ 10.0 $\mu\text{g/ml}$ และในปริมาตร 50, 100 และ 200 ml ของสารละลายไนไตรต์

ความเข้มข้นของ สารละลาย (ppm)	เวลาก่อนนำไปใช้ (นาที)	เวลาในการอบ (นาที)	การดูดซับในแต่ละปริมาตร ของสารละลาย ($\mu\text{g/ml}$)		
			50 ml	100 ml	200 ml
0.06	$T_2=0$	$T_1=30$	0.0081 k	0.0106 k	0.0159 k
		$T_1=60$	0.0110 k	0.0159 k	0.0178 k
		$T_1=90$	0.0159 k	0.0188 k	0.0197 k
	$T_2=30$	$T_1=30$	0.0072 k	0.0095 k	0.0131 k
		$T_1=60$	0.0108 k	0.0145 k	0.0167 k
		$T_1=90$	0.0140 k	0.0185 k	0.0190 k
10.00	$T_2=0$	$T_1=30$	0.4811 ij	0.5366 hi	0.6046 fg
		$T_1=60$	0.6328 j	0.7132 ij	0.7755 hi
		$T_1=90$	0.7608 ef	0.7880 cd	0.8163 abc
	$T_2=30$	$T_1=30$	0.4385 gh	0.4725 fg	0.5099 fg
		$T_1=60$	0.5654 abc	0.6048 ab	0.6175 a
		$T_1=90$	0.6901 de	0.7241 bcd	0.7683 abc

T_1 =ระยะเวลาในการอบ

T_2 =ระยะเวลาในการนำออกมาใช้

ค่าที่กำกับด้วยอักษรเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ค่าที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $p=0.05$

ตารางที่ 3 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ในสารละลายไนเตรต

SOURCE	df	Sum of square	Mean Square	F-test	F.05	F.01
Treatment	35	386.246	11.036	50.904**	1.55	1.86
A	11	380.876	34.625	159.714**	1.91	2.47
B	2	0.892	0.446	2.058 ^{ns}	3.07	4.79
AB	22	4.077	0.204	0.939 ^{ns}	1.66	2.03
ERROR	108	23.414	0.217			
TOTAL	143	409.660	2.865			

CV = 28.80%

** = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $p=0.01$

^{ns} = แตกต่างทางสถิติอย่างไม่มีนัยสำคัญ

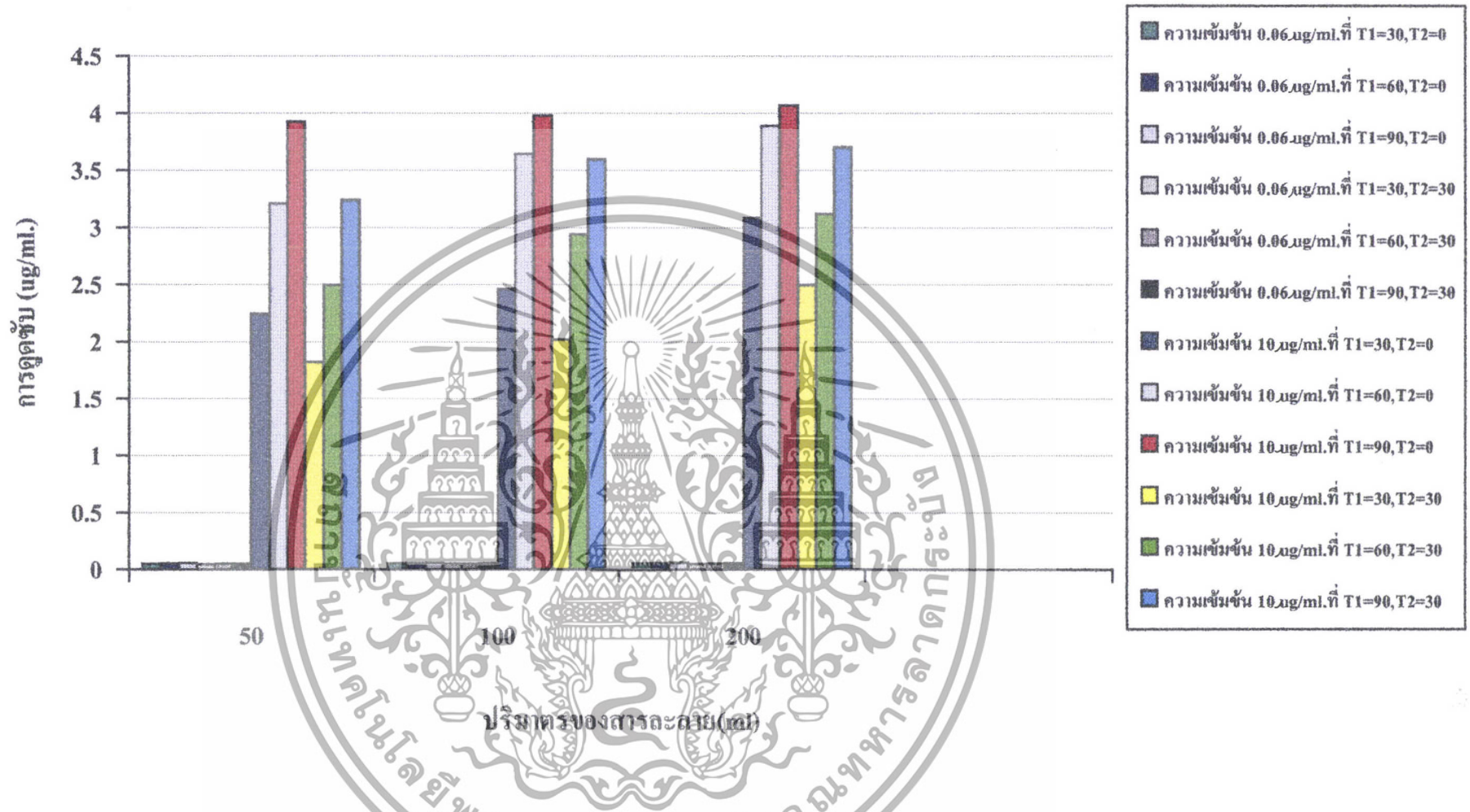
ตารางที่ 4 แสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ในสารละลายไนไตรต์

SOURCE	df	Sum of square	Mean Square	F-test	F.05	F.01
Treatment	35	15.036	0.430	232.939 **	1.55	1.86
A	11	14.929	1.357	735.908 **	1.91	2.47
B	2	0.053	0.029	14.365**	3.07	4.79
AB	22	0.054	0.002	1.326 ^{ns}	1.66	2.03
ERROR	108	0.199	0.002			
TOTAL	143	15.235				

CV = 13.14%

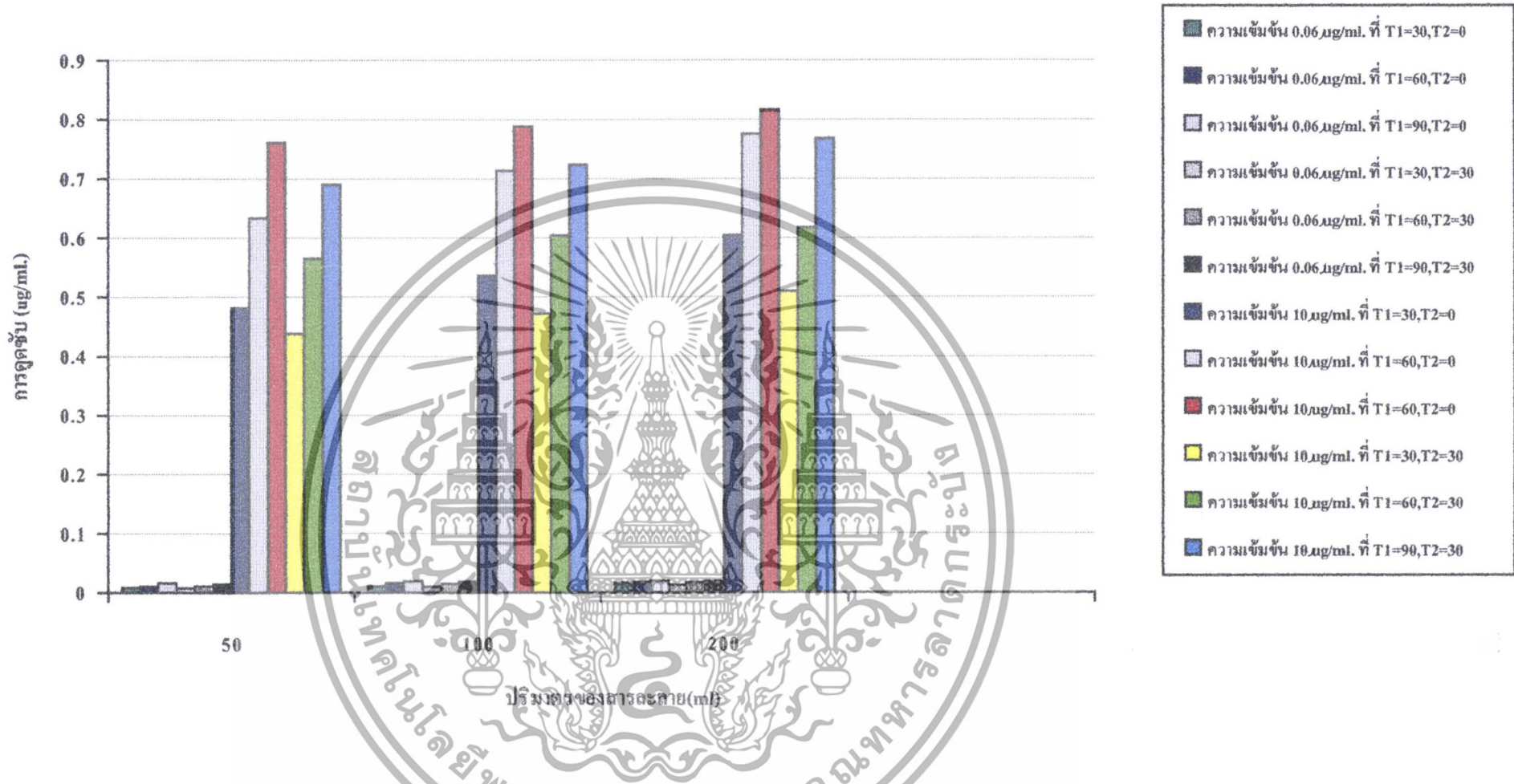
** = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $p=0.01$

^{ns} = แตกต่างทางสถิติอย่างไม่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบการดูดซับไนเตรตโดยผงถ่านกัมมันต์ จำนวน 1.5 กรัมในปริมาตร 50, 100 และ 200 ml. ซึ่งมีความเข้มข้นของไนเตรต 0.06 และ 10 ug/ml.

T1 = เวลาในการอบ 30, 60 และ 90 นาที และ T2 = เวลาที่อุณหภูมิใช้ 0 และ 30 นาที



รูปที่ 3. แสดงการเปรียบเทียบการดูดซับไนโตรฟูแรนไทด์โดยผงถ่านกัมมันต์ จำนวน 1.5 กรัมในปริมาตร 50, 100 และ 200 ml. ซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรฟูแรนไทด์ 0.06 และ 10.0 µg/ml
 T1 = เวลาในการอบ 30, 60 และ 90 นาที และ T2 = เวลาที่นำมามีใช้ 0 และ 30 นาที

สรุปผล และ วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์จำนวน 1.5 กรัม เท่ากัน คือ ความเข้มข้นของสารละลาย เวลาในการอบผงถ่านกัมมันต์ เวลาที่ทิ้งไว้ก่อนนำมาใช้ และ ปริมาตรของสารละลาย โดยความเข้มข้น ของสารละลายที่มาก (10 $\mu\text{g/ml}$) สารละลายไนเตรต และ ไนไตรต์ จะถูกดูดซับได้มากกว่า สารละลายที่มีความเข้มข้นน้อย (0.06 $\mu\text{g/ml}$.) เวลาในการอบถ่านกัมมันต์ ที่ 90 นาที ไนเตรต และ ไนไตรต์ จะถูกดูดซับได้มากกว่า 60 นาที และเวลาในการอบ 60 นาที ไนเตรต และ ไนไตรต์ จะถูกดูดซับได้มากกว่าอบนาน 30 นาที และหลังจากการอบแล้วนำผงถ่านมาใช้ทันที ผงถ่านกัมมันต์จะดูดซับไนเตรต และ ไนไตรต์ ได้มากกว่าเมื่อทิ้งไว้ 30 นาที ก่อนนำมาใช้ และในสารละลายที่มีปริมาตรมาก(200 ml) ไนเตรต และ ไนไตรต์ จะดูดซับได้มากกว่าสารละลายที่มีปริมาตรน้อยกว่าคือ 100 ml. และ 50 ml. ตามลำดับ



ข้อเสนอแนะ

ความสามารถในการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ ขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลาย เวลาในการอบ เวลา ก่อนนำมาใช้ และ ปริมาตรของสารละลาย จากการทดลองพบว่า การดูดซับจะเกิดมากที่สุด เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นสูง หรือ 10.00 $\mu\text{g/ml}$. เวลาในการอบ 90 นาที แล้วนำมาใช้ทันที และในปริมาตรของสารละลาย 200 ml. ยังพบว่า ความปั่นป่วน ซึ่งเกิดจากการใช้แท่งแก้วคนสารละลายให้เข้ากับผงถ่านกัมมันต์ ก็มีผลต่อการดูดซับ





ตารางภาคผนวกที่ 1 : แสดงค่า absorbance ของไนเตรต โดย activated carbon จำนวน 1.5 กรัม ในขนาดความเข้มข้น 0.06 และ 10.00 $\mu\text{g./ml.}$ และในปริมาตร 50, 100 และ 200 ml. ของสารละลายไนเตรต ที่เวลาในการอบ 30,60และ90 นาที เวลาที่ก่อนนำไปใช้ 0และ30 นาที

ความเข้มข้นของสารละลาย (ppm.)	เวลาที่ก่อนนำไปใช้ (นาที)	เวลาในการอบ (นาที)	ค่า absorbance ในแต่ละปริมาตรของสารละลาย($\mu\text{g./ml.}$)											
			50 ml				100 ml				200 ml			
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4
0.06	T2=0	T1=30	0.013	0.018	0.011	0.012	0.012	0.008	0.009	0.006	0.009	0.007	0.009	0.005
		T1=60	0.011	0.008	0.01	0.008	0.01	0.007	0.007	0.006	0.007	0.006	0.005	0.004
		T1=90	0.003	0.002	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
	T2=30	T1=30	0.02	0.021	0.024	0.027	0.017	0.015	0.017	0.014	0.012	0.015	0.01	0.012
		T1=60	0.015	0.02	0.014	0.013	0.015	0.015	0.012	0.013	0.01	0.009	0.01	0.007
		T1=90	0.014	0.016	0.009	0.012	0.012	0.009	0.01	0.012	0.004	0.002	0.006	0.004
10	T2=0	T1=30	0.109	0.111	0.107	0.107	0.105	0.108	0.106	0.103	0.103	0.101	0.086	0.097
		T1=60	0.1	0.092	0.089	0.099	0.095	0.088	0.085	0.088	0.087	0.082	0.085	0.088
		T1=90	0.095	0.081	0.083	0.081	0.086	0.083	0.084	0.084	0.086	0.08	0.084	0.082
	T2=30	T1=30	0.117	0.111	0.113	0.12	0.11	0.111	0.111	0.118	0.107	0.103	0.199	0.114
		T1=60	0.102	0.106	0.11	0.105	0.099	0.105	0.097	0.097	0.095	0.101	0.097	0.095
		T1=90	0.097	0.092	0.098	0.094	0.096	0.089	0.088	0.088	0.095	0.085	0.088	0.087

ตารางภาคผนวกที่ 2 : แสดงค่า absorbance ของไนไตรต์ โดย activated carbon จำนวน 1.5 กรัม ในขนาดความเข้มข้น 0.06 และ 10.00 µg./ml.

และในปริมาตร 50, 100 และ 200 ml. ของสารละลายไนไตรต์ ที่เวลาในการอบ 30,60และ90 นาที เวลาที่ขนานำไปใช้ 0และ30 นาที

ความเข้มข้นของสารละลาย (ppm.)	เวลาที่ขนานำไปใช้ (นาที)	เวลาในการอบ (นาที)	ค่า absorbance ในแต่ละปริมาตรของสารละลาย(µg/ml.)												
			50 ml				100 ml				200 ml				
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	
0.06	T2=0	T1=30	0.03	0.029	0.024	0.024	0.024	0.028	0.024	0.026	0.023	0.022	0.021	0.025	
		T1=60	0.026	0.027	0.023	0.025	0.022	0.026	0.022	0.021	0.022	0.022	0.02	0.024	
		T1=90	0.023	0.024	0.022	0.022	0.02	0.023	0.021	0.021	0.02	0.022	0.02	0.021	
	T2=30	T1=30	0.031	0.03	0.027	0.028	0.026	0.03	0.026	0.029	0.024	0.028	0.025	0.026	
		T1=60	0.027	0.028	0.026	0.027	0.023	0.028	0.024	0.025	0.022	0.025	0.024	0.024	
		T1=90	0.024	0.026	0.025	0.026	0.021	0.023	0.023	0.024	0.021	0.023	0.022	0.023	
	10	T2=0	T1=30	2.082	2.102	2.108	2.115	2.095	2.095	2.108	2.06	2.062	2.087	2.101	2.048
			T1=60	2.05	2.089	2.041	2.093	2.045	2.075	2.04	2.042	2.029	2.042	2.039	2.037
			T1=90	2.048	2.043	2.035	2.034	2.035	2.041	2.03	2.03	2.033	2.031	2.027	2.02
T2=30		T1=30	2.101	2.106	2.114	2.116	2.102	2.102	2.107	2.096	2.092	2.093	2.106	2.083	
		T1=60	2.09	2.095	2.079	2.064	2.05	2.086	2.092	2.062	2.061	2.078	2.08	2.06	
		T1=90	2.056	2.059	2.049	2.051	2.043	2.051	2.048	2.043	2.041	2.037	2.033	2.035	

บรรณานุกรม

- เกศรา นุตาลัย.2532.การผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพรุในห้องปฏิบัติการ.วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.4 (3):50-86.
- มันสิน ตันจุลเวศม์.2527.วิศวกรรมการประปา เล่ม 2.โรงพิมพ์ ก.วิวรรณ.หน้า 189-219.
- ไมตรี สุทธิจิตต์.2531.สารพิษรอบตัวเรา.โรงพิมพ์ดาวคอมพิวกราฟิค.กรุงเทพฯ.343 หน้า.
- ศิริรัตดา มีนะกนิษฐ และวัลลี สุวจิตตานนท์.2528.ไนเตรต-ไนไตรต์ในผัก. ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.7(2):159-163.
- สุลิซล สิทธิพันธ์.2533.ไนเตรตในพืชอาหารสัตว์.เวทเอนารีนิวส์.10(107):16-17.
- เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์.2524.การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. กรุงเทพฯ.โรงพิมพ์สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.หน้า 261-265.
- สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค.2535.หนังสือรวบรวมบทความ เผยแพร่ความรู้เรื่องการคุ้มครองผู้บริโภค.สำนักพิมพ์สามเจริญพาณิชย์.กรุงเทพฯ.หน้า 46-48.
- อุษณา หงส์อารีรัตน์.2527.พิษและการแก้พิษ.ภาควิชาเภสัชวิทยา คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.หน้า 4.7-4.9.
- AWWA.1974.Standard Committee on Activated Carbon. U.S.A. p.673-679.
- Faust D.S. and Aly M.O.1987.Adsorption process for water treatment.Butterworths Publisher.U.S.A. p.167-168.
- Fudge R. and Truman R.W.1973.Nitrate-nitrite contents of meat product.J.Assoc, Publ.Anal.11:19-26.
- Harrison R.M. and Laxen D.P.H.1981.Leae Pollution Cause and Control.Champman and Hall Ltd.London.p.168.
- Hubbert William T. and Harry V.Hagstad.1991.Food Safety and Quality Assurance.Foods of animal origin.IOWA State University press.U.S.A.152 pp.
- Rubin L.J.1977.Nitrites and nitrosamines in perspective.Can. Int.Fd.Sci.Technol.J.10:A11-A13.
- Shank R.C. and Newberne P.M.1976.Use of comparative metabolism studies in evaluating carsinogenic risk in man.Food cosmet.Toxicol.14:1-8.
- Sunstrom W.Donald and Herbert E.Klei.1979.Wastewater Treatment.Practice Hall, Inc.Englewood Cliffs United states of America.444 pp.
- Taylor windle Edwin.1958.The examination of water and water supplies.London J & A.churchill Ltd.141 pp.
- Walker R.1975.Naturally occuring nitrate/nitrite in foods.J.Sci.Fd.Agric.26:1735-1742.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Wolff I.A. and Wasserman A.E.1972.Nitrates nitrite and nitrosamines.Science.177:15-19.

