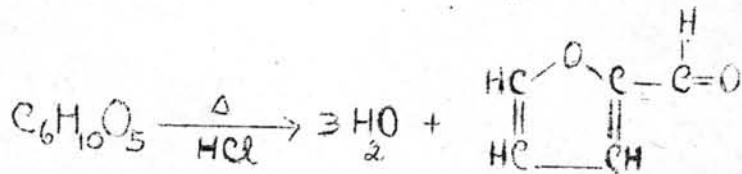




ผลการวิจัย และการอภิปรายผลการวิจัย

1. การทำกราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณนีโอมีซิน

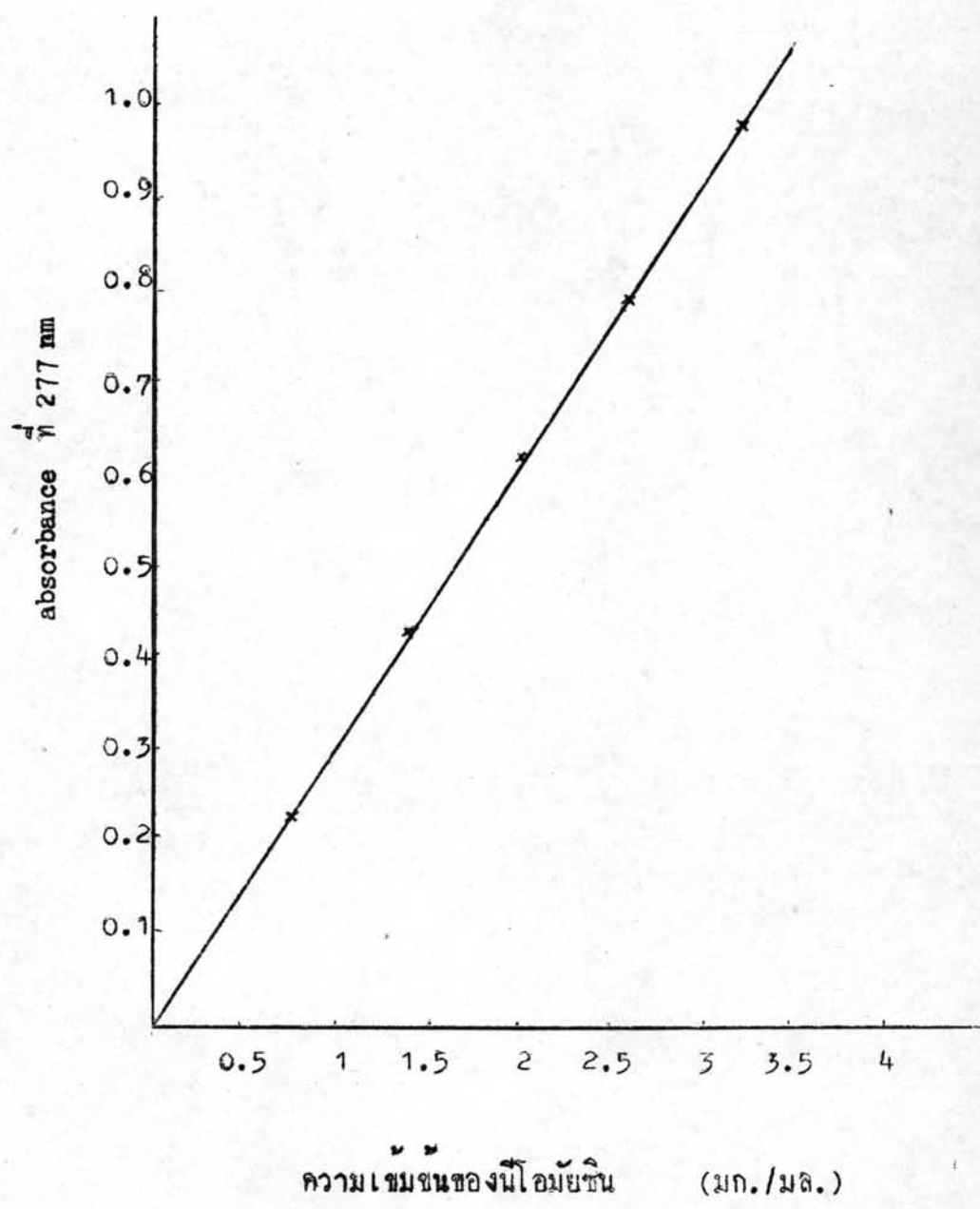
ผลการวิจัยได้กราฟมาตรฐาน เป็นเส้นตรงกึ่งรูปที่ 6 แสดงว่า absorbance ของ furfural ที่เกิดขึ้นซึ่งวัดที่ 277nm มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณ นีโอมีซิน ในสารละลาย โดยวิเคราะห์ตามวิธีที่กล่าวไว้ในวิธีดำเนินการวิจัย ทั้งนี้โดยอาศัยหลักเกณฑ์ที่ว่า นีโอมีซิน ซัลเฟต เมื่อต้มกับกรดแรม จะให้แอลดีไฮด์ ซึ่งคือ เฟอฟูราล⁽²⁹⁾ เพราะในสูตรโครงสร้างของ นีโอมีซิน รูปที่ 5 จะประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต เช่น D-ribose เมื่อถูกไฮโดรไลต์ ควบกรดเกลือ จะให้เฟอฟูราลเกิดขึ้น ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้⁽³⁶⁾



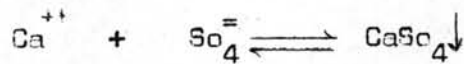
Furfural or Furaldehyde

D-ribose เป็น pentose เมื่อต้มกับกรดเกลือจะสูญเสียน้ำและได้ heterocyclic aldehyde furfural การเกิดเฟอฟูราล เป็นปริมาณที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้

ในการวิเคราะห์นี้ได้เปลี่ยน แปลงไปจากเอกสารที่อ้างอิงไปบ้างโดยใช้กรดเกลือ แทนกรดกำมะถัน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างซัลเฟต ไอออน กับ แคลเซียม ไอออน เกิดเป็นเกลือแคลเซียม ซัลเฟต ซึ่งไม่ละลาย ทำให้การวิเคราะห์หาปริมาณ นีโอมีซินไม่ถูกต้อง ในกรณีที่เติม แคลเซียม คลอไรด์ เป็นอิดิเคโทรไลต์ในการช่วยปลดปล่อย นีโอมีซิน จาก นีโอมีซิน-แคลซ์ แอคซอบเบค ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้⁽³⁷⁾



รูปที่ 6 เส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของนิโคตินิก และ absorbance ที่ 277 nm



การเอาตัวอย่างแช่น้ำแข็งให้เย็นก่อนเติมกรดเกลือ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิด ปฏิกิริยา ไฮโดรไลต์ ขึ้นก่อนเขื่อน้ำเคือด และเพื่อให้การไฮโดรไลต์ ของทุกตัวอย่างเกิดขึ้นพร้อมกัน และเมื่อครบจนครบ 1 ชั่วโมง เอาตัวอย่างแช่น้ำแข็งให้เย็นอีกครั้ง เพื่อไม่ให้เกิดปฏิกิริยา ไฮโดรไลต์ อีกต่อไป และเป็นการป้องกันไม่ให้ เพอฟูราลระเหยหายไป

การไฮโดรไลต์ ใช้เวลา 1 ชั่วโมง แทนที่จะใช้เวลา 1 ชั่วโมง 40 นาที ตามเอกสารที่อ้างอิง เพราะผู้วิจัยได้ทดลองดูแล้ว การใช้เวลา 1 ชั่วโมง เพียงพอที่จะได้ปริมาณ เพอฟูราล ที่มี absorbance อยู่ในช่วงที่พอเหมาะ ถ้าไฮโดรไลต์ นานถึง 1 ชั่วโมง 40 นาที เพอฟูราลที่ได้เข้มข้น จนวัด absorbance ได้ค่าสูงเกินไป ทำให้อ่านค่าได้ไม่แน่นอน

ในการไฮโดรไลต์นี้ เมื่อเกิดเพอฟูราล เติมตัวอย่างไม่มีสีจะเกิดเป็น สีเหลืองและสีจะเข้มมากขึ้น ตามปริมาณเพอฟูราล ที่เกิดมากขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ของ นีโอมัยซิน ในตัวอย่างนั่นเอง.

2. การเตรียม นีโออิมัยซิน-เคลย์ แอคซอบเบค

ผลการวิจัยรูปที่ 7 ปริมาณ นีโออิมัยซินของตัวควบคุม (control) คือนีโออิมัยซิน - ซัลเฟต 0.5% ในน้ำ เท่ากับ 3.2 มก./มล.

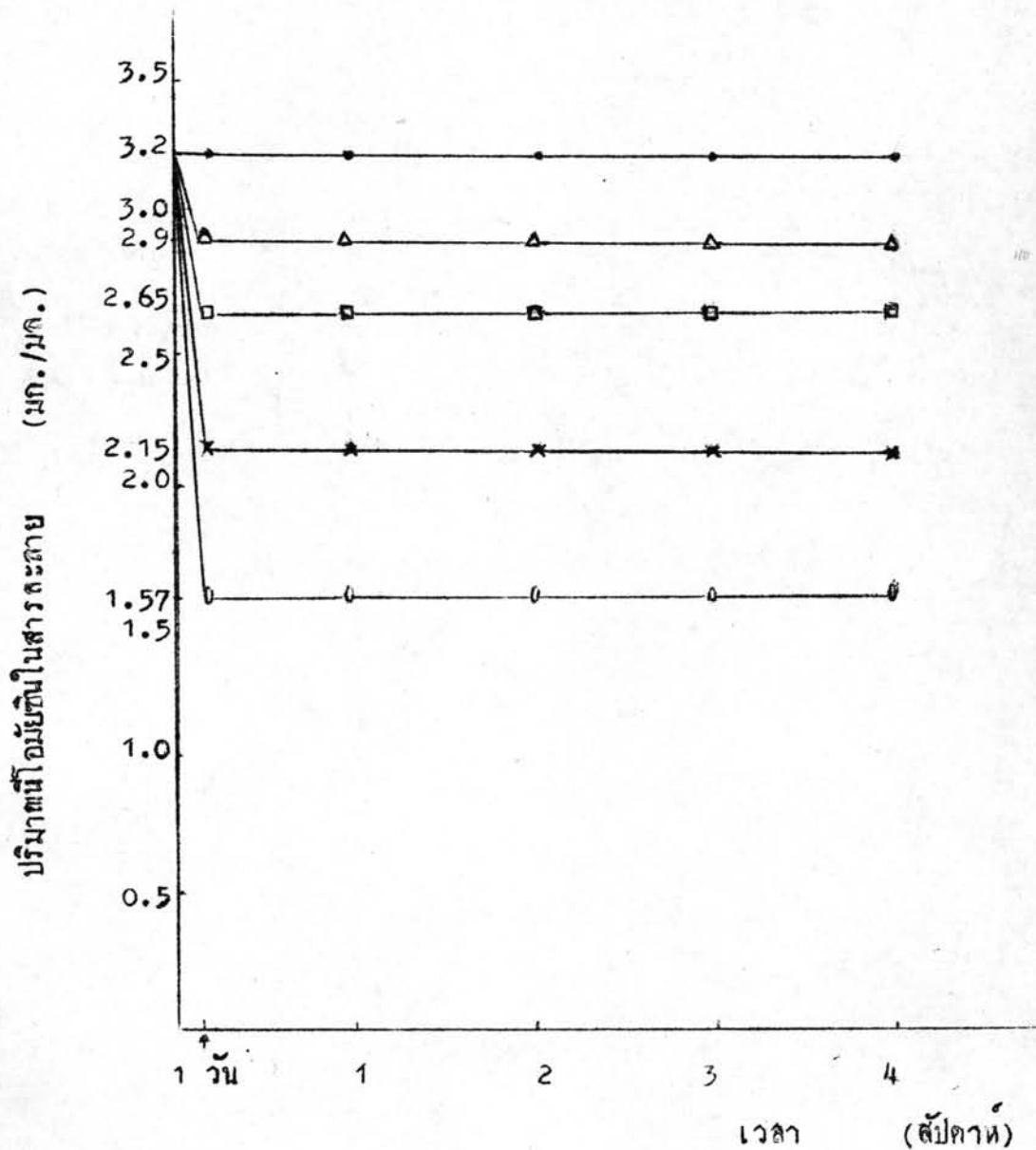
เมื่อเตรียม นีโออิมัยซิน-เคลย์ แอคซอบเบค โดยใช้ นีโออิมัยซิน ซัลเฟต 0.5% เคลย์ 1% วิเคราะห์หาปริมาณ นีโออิมัยซิน ตามวิธีที่ใช้ในการทำกราฟมาตรฐาน ปรากฏว่า ปริมาณ นีโออิมัยซินลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม

ปริมาณนีโออิมัยซิน เมื่อใช้ร่วมกับเคลย์แต่ละชนิดจะเหลืออยู่ไม่เท่ากัน แต่ปริมาณของ นีโออิมัยซินจาก 24 ชั่วโมง จนถึง 1 เดือน คงที่ แสดงว่าเคลย์แต่ละชนิดกักจับนีโออิมัยซิน จนเกิดสมดุลได้ในเวลา 24 ชั่วโมง

การที่ปริมาณนีโออิมัยซินลดลงไม่เท่ากัน แสดงว่าเคลย์แต่ละชนิดกักจับนีโออิมัยซินได้ ต่างกัน เคลย์ที่ทำให้มีนีโออิมัยซินอยู่ในสารละลายมาก แสดงว่ากักจับ นีโออิมัยซินได้น้อย ดังนั้นจากรูปที่ 7 คาโอลินกักจับนีโออิมัยซินได้น้อยที่สุด ทำให้มีนีโออิมัยซินอยู่ในสารละลาย มากที่สุด คือ 2.9 มก./มล. ส่วนวิกัมกักจับ นีโออิมัยซินได้มากที่สุด ปริมาณนีโออิมัยซินในสาร ละลายน้อยที่สุดคือ 1.57 มก./มล. ส่วนเบนโทไนท์ และแอคติเวท แอทธาพัลจ์ ๓ กักจับ นีโออิมัยซินได้น้อยกว่าวิกัมตามลำดับ

ฉะนั้นเมื่อใช้เคลย์ในปริมาณเท่ากันคือ 1% มันจะกักจับนีโออิมัยซินซึ่งปริมาณเท่ากัน คือ 0.5% ได้มากน้อยตามลำดับดังนี้ วิกัม > เบนโทไนท์ > แอคติเวท > แอทธาพัลจ์ ๓ > คาโอลิน ทำให้มีนีโออิมัยซินอยู่ในสารละลายคือ 1.57, 2.15, 2.65, และ 2.9 มก./มล. ตามลำดับซึ่งน้อยกว่าตัวควบคุมคือ 3.2 มก./มล.

การที่เคลย์สามารถกักจับ นีโออิมัยซินได้เนื่องจากใน crystal lattice ของ เคลย์ประกอบด้วย Tetrahedral sheet และ Octahedral sheet เป็นโครงสร้าง หลัก ดังกล่าวมาแล้วในบทนำการเปลี่ยนแปลงในส่วนประกอบ ของโครงสร้างเช่น Al^{+3}



รูปที่ 7 แสดงปริมาณไนโตรเจนในสารละลายเมื่อเตรียม นีโอเมซิน-เคลย์ แอคซอบเบต เป็นเวลา 1 เดือน โดยใช้ นีโอเมซิน ซัลเฟต 0.5% เคลย์ 1%

- เครื่องหมาย:
- = ตัวควบคุม (สารละลาย นีโอเมซิน ซัลเฟต 0.5%)
 - △ = นีโอเมซิน-แคลเซียม แอคซอบเบต
 - = นีโอเมซิน-แอคทีเวท แอททาฟัลจิท แอคซอบเบต
 - × = นีโอเมซิน-เบนโทไทน์ แอคซอบเบต
 - = นีโอเมซิน-วิตามิน แอคซอบเบต

ถูกแทนที่ด้วย Mg^{+2} ซึ่งมีจำนวนประจุบวกต่ำกว่า ทำให้ขาดประจุบวก หรือมีประจุลบเกินมา ใน crystal lattice เกิดการชดเชยโดยการดูดซับประจุบวกอื่น ๆ ที่อยู่โดยรอบประจุบวกที่เคลย์ดูดซับนี้ สามารถแลกเปลี่ยนกับประจุบวกอื่น ๆ ได้ (20) การแลกเปลี่ยนนี้ ไม่ใช่แค่เฉพาะกับสาร อนินทรีย์ประจุบวก แต่กับสารอินทรีย์ประจุบวกก็เกิดได้เช่นเดียวกัน ถ้ามันละลายน้ำได้ (19)

นีโออัมมัยซิน ซัลเฟต เป็นยาที่มีประจุบวก (15, 17) ละลายน้ำได้ มีอมีโน กรุป ในโครงสร้าง เมื่อเติมลงใน suspension ของเคลย์ในน้ำ นีโออัมมัยซิน ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ประจุบวก จะไปแทนที่ประจุบวกที่อยู่บนผิวของเคลย์ นั่นคือเกิดการดูดซับโดยการแลกเปลี่ยน (exchange adsorption) ขึ้น เข้าใจว่า อมีโน กรุป จะไปติดแน่นที่ประจุลบที่ผิวของเคลย์ ส่วนที่เหลือของสารอินทรีย์ประจุบวก ก็จะติดตั้งตัวมันเองที่พื้นผิวของเคลย์นั้น การดูดซับจะเกิดขึ้นจนสมดุล ได้เป็น "clay-organic complex" (20)

การที่นีโออัมมัยซิน ถูกดูดซับโดยเคลย์ ได้มากน้อยต่างกัันนั้นเนื่องจาก เคลย์ มี base exchange capacity ต่างกัน พวก montmorillonite มีมากที่สุด คือ 60-100 mEq / 100 กรัมของเคลย์, แอทธาพัลไลท์ 25-30 mEq / 100 กรัมของเคลย์ ส่วน คาร์โอลินท์ มี 3-15 mEq / 100 กรัมของเคลย์ (19) วิกัม และ เบนโทไนท์เป็นพวก montmorillonite จึงดูดซับนีโออัมมัยซินได้มากกว่า แอคติเวท แอทธาพัลไลท์ ตามลำดับ การที่วิกัม ดูดซับ นีโออัมมัยซิน ได้มากกว่า เบนโทไนท์ และเบนโทไนท์ดูดซับ มากกว่า แอทธาพัลไลท์นั้นได้ผลตามการทดลองของ McGinity และ Hill (14)

การดูดซับยาที่มีประจุบวก ของวิกัม นั้น จากการทดลองของ Wai และ Banker (38) เขากล่าวว่าที่แลกเปลี่ยนประจุ จะกระจายอยู่โดยตลอด ในพื้นผิวข้างในของเคลย์ และการแลกเปลี่ยนประจุบวก เกิดภายในอนุภาคของเคลย์ การจับโมเลกุลของสารอินทรีย์โดยทางกายภาพของเคลย์ ระหว่าง silica-alumina-silica-layers อาจทำให้เกิดการติดแน่นของสารอินทรีย์ประจุบวก โดยเคลย์

จากผลการทดลอง วิกัม สามารถดูดซับน้ำไอomyxin ได้มากที่สุด และมากกว่า bentonite ซึ่งเป็นพวก montmorillonite เช่นกัน นอกจากนี้โดยผลตามที่มีผู้ทดลองแล้ว ผู้วิจัยเข้าใจว่าอาจเนื่องจากวิกัม พองตัวไ้มากกว่า เบนโทไนท์ คือดูดซับน้ำไ้มากกว่า (26) ทำให้โมเลกุลของน้ำไอomyxin ซึ่งละลายอยู่ในสารละลาย เข้าไปสัมผัสกับตำแหน่งที่แลกเปลี่ยนประจุบวก ภายในอนุภาคของ วิกัมไ้มากกว่า เบนโทไนท์ และ น้ำไอomyxin มี strong affinity ต่อตำแหน่งแลกเปลี่ยนประจุบวก ของวิกัมไ้มากกว่า เบนโทไนท์

สำหรับเบนโทไนท์ มีผู้วิจัยกันไ้มากกว่า พวกเบสทางอินทรีย์ สามารถเกาะติดกับตำแหน่งแลกเปลี่ยนเบส บน bentonite lamina (13, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45)

เบนโทไนท์ จัดเป็นส่วนประกอบที่มีมากที่สุดไ้มากที่สุดในพวก montmorillonite group มีส่วนประกอบ $(OH)_4Al_4Si_8O_{20}H_2O$ อลูมิเนียมบางส่วนมักถูกแทนที่ด้วยแมกนีเซียม หรือ เหล็ก (21) การเกิดการแทนที่ (substitution) นี้เองทำให้เกิดเป็นประจุลบใน lattice ซึ่งทำให้เกิดการดูดซับพวกประจุบวกขึ้น พบว่าโซเดียมไอออนเป็นประจุบวกที่ถูกดูดซับ ในธรรมชาติมากที่สุด (19) นอกจากนี้ยังมีประจุบวกอื่น ๆ เช่น Ca^{+2} , K^+ และ Mg^{+2} พบว่าโซเดียมมีปริมาณมากที่สุดสำหรับแลกเปลี่ยนกับประจุบวกอื่น ๆ (23)

ดังนั้นเมื่อเติมสารละลายน้ำไอomyxin ซัลเฟต ลงใน dispersion ของเคลย์ น้ำไอomyxin ซึ่งเป็นยาประจุบวก จึงเกิดการดูดซับโดยแลกเปลี่ยนกับประจุบวกที่ เบนโทไนท์ มีอยู่ มีผู้ศึกษาถึงปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนเบส ของ เบนโทไนท์ กล่าวว่า เบสที่ไปแทนที่ไม่เพียงแต่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของอนุภาค แต่จะเป็นส่วนประกอบทางเคมีของผลึกควย และปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนจะเกิดขึ้นทันที ที่มีการสัมผัสระหว่างเคลย์กับสารละลายของพวกประจุบวก (21)

พวก montmorillonite ตำแหน่งในการแลกเปลี่ยนส่วนใหญ่จะอยู่ข้างในพื้นผิวของอนุภาค (46) และมีตำแหน่งแลกเปลี่ยนประจุบวกกระจายทั่วทั้งภายในและภายนอก unit layer ของพื้นผิว (20) มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนเบส มากที่สุดในจำพวกเคลย์ ควบกัน ฉะนั้นวิกัม และเบนโทไนท์ ซึ่งเป็นพวก montmorillonite จึงสามารถดูดซับน้ำไอomyxinไ้มากกว่าแอกติเวท แอททาพัลไลต์ และคาโอลิน

แอกติเวท แอทธาพัลไลท์มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน ประจุบวก น้อยกว่าเบนโทไนท์ และวิกัม แต่มีมากกว่า คาร์โอลิน⁽²¹⁾ ideal formula ของ แอทธาพัลไลท์ ซึ่งกล่าวโดย Bradley คือ $(OH_2)_4 (OH)_2 Mg_5 Si_8 O_{20} \cdot 4H_2O^{(6)}$ การเปลี่ยนแปลงในส่วนประกอบทำให้เกิดเป็นประจุลบในโครงสร้าง ซึ่งต้องทำให้สมดุลย์โดยไอออนประจุบวกใน channel⁽³²⁾

แอทธาพัลไลท์ มีโครงสร้างเป็นเส้นยาว มีช่อง (channel) ซึ่งมีพื้นที่พอที่จะรับโมเลกุลโคหลายขนาด ในธรรมชาติเคลย์พวกนี้จะมีโมเลกุลของน้ำ บรรจุอยู่อย่างหลวม ๆ และมีพวกประจุบวกที่สามารถแลกเปลี่ยนได้เล็กน้อย พบว่า มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 0.25-0.3 meq/กรัม⁽⁴⁶⁾ มากกว่าคาร์โอลินจึงถูกจัดเป็นโอมีนซินได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับ Barr และ Arnista⁽⁷⁾ ได้วิจัยพบว่าแอกติเวท แอทธาพัลไลท์มีความสามารถในการดูดซับ แอลคาลอยด์ มากกว่า คาร์โอลิน 5-8 เท่า

สำหรับคาร์โอลิน อนุภาคอยู่ในลักษณะเป็นแผ่น พบว่า ชอบดูดซับไฮดรอกซิล ไอออน ทำให้มีประจุลบและมีแรงดึงดูดพวกประจุบวกที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมของมัน⁽¹⁹⁾ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของ คาร์โอลิน คอนซางต่ำ คือ 1-10 meq/กรัม⁽²⁰⁾ มีผู้กล่าวว่าในพวกคาร์โอลินท์ การแลกเปลี่ยนเบส เกิดขึ้นบริเวณขอบที่แตกออกของแผ่นคาร์โอลินท์ การเกิดความไม่สมดุลย์ทำให้ต้องการไอออนจากภายนอก ฉะนั้นพวกคาร์โอลินจะมีเฉพาะผิวภายนอกที่มีการแลกเปลี่ยนเกิดขึ้น⁽⁴⁶⁾ เนื่องจากคาร์โอลินไม่มีที่สำหรับประจุบวกภายในชั้น ประจุบวกที่มาชดเชยทั้งหมด จะต้องถูกดูดซับที่พื้นผิวภายนอก ของ unit layer ของอนุภาค⁽²⁰⁾ จากเหตุผลที่กล่าวมานี้จึง ทำให้คาร์โอลินดูดซับนีโอมีนซินน้อยที่สุด

จากผลการวิจัยข้อนี้ การใช้นีโอมีนซินร่วมกับเคลย์ ทำให้ฤทธิ์ของยาลดลงได้ เพราะเกิดการดูดซับ ขึ้น

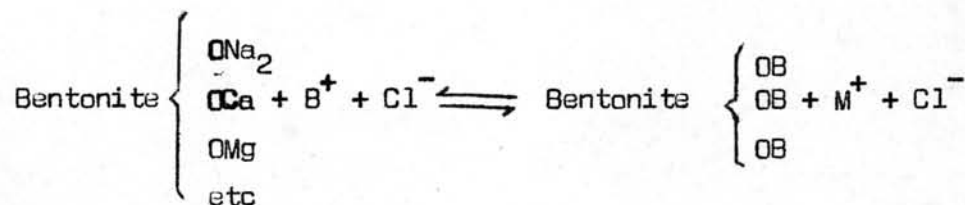
3. การเติมอิเล็กโทรไลต์ ลงใน นีโออัมยีน-เคลย์ แอคซอบเบค

เมื่อเตรียม นีโออัมยีน-เคลย์ แอคซอบเบค ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้ว เติมอิเล็กโทรไลต์ ชนิดต่าง ๆ ที่มีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ประมาณ 100, 200, 300, 400, 500 mEq/L ความล้าคัม ทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดสมมูลย์เต็มที่ ตามการทดลองของ McGinity และ Hill⁽¹⁴⁾ เมื่อเติมอิเล็กโทรไลต์ทิ้งไว้ 4 ชั่วโมงก็เกิดสมมูลย์แล้ว เพราะปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนจะเกิดขึ้นทันที ที่เคลย์สัมพันธ์กับสารละลายของประจุบวก^(21,23) นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทดลองดูก่อนแล้ว พบว่า เมื่อเติมอิเล็กโทรไลต์ลงไปเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ปริมาณ นีโออัมยีน ในสารละลายคงที่แสดงว่า อิเล็กโทรไลต์ปล่อยนีโออัมยีนออกจาก นีโออัมยีน-เคลย์ แอคซอบเบค ในเวลา 6 ชั่วโมง ก็เกิดสมมูลย์แล้ว และทดลอง อิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในการวิจัยไม่มี absorbance ที่ 277 nm.

3.1 เติมอิเล็กโทรไลต์ลงใน นีโออัมยีน-เบนโทไนท์ แอคซอบเบค

ผลการวิจัยรูปที่ 8 พบว่าอิเล็กโทรไลต์ทุกชนิดสามารถปล่อย นีโออัมยีน ออกจาก นีโออัมยีน-เบนโทไนท์ แอคซอบเบค ได้โดยที่ปริมาณของ นีโออัมยีนใน สารละลายเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม และ นีโออัมยีน มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณ อิเล็กโทรไลต์ที่ใช้

การที่อิเล็กโทรไลต์ สามารถเข้าไปแทนที่ นีโออัมยีนได้ เพราะว่าการที่เบนโทไนท์ ดูดซับ นีโออัมยีน ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ประจุบวก เพราะเกิดแลกเปลี่ยนกับประจุบวก ที่ เบนโทไนท์ มีอยู่ค้ำปฏิกิริยาตามที่ Smith ได้กล่าวไว้⁽³⁹⁾



B เป็นเบส ทางอินทรีย์ M อาจเป็นแคลเซียม, โซเดียม, แมกนีเซียม หรือ เบส ที่สามารถถูกแทนที่ไค ของซิลิเกต ปฏิกิริยาข้างบนนี้จะเกิดขึ้นได้มาก เมื่อพวกเกลืออินทรีย์มีการแตกตัวสูง และการไม่ละลายของ organic silicate

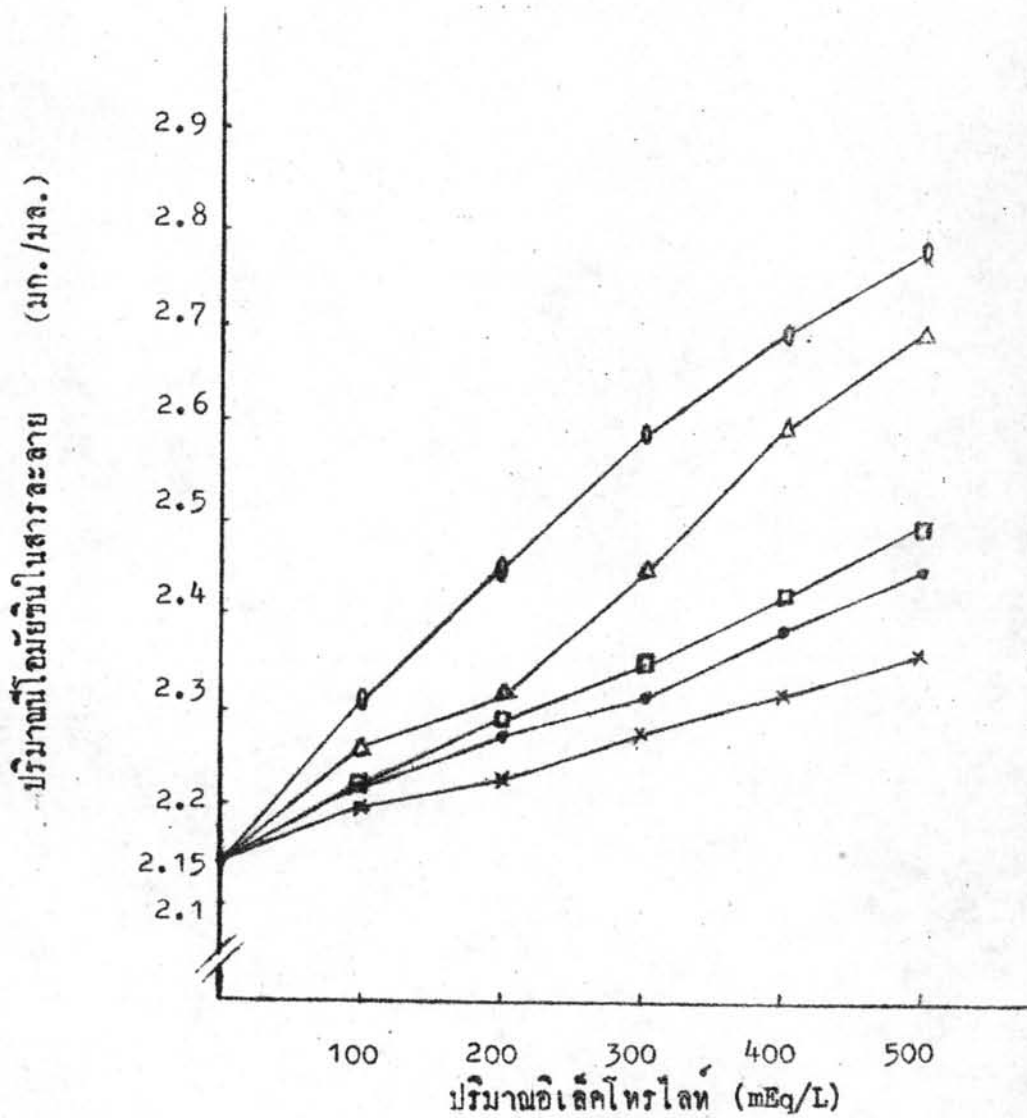
จากสมการข้างบนนี้จะเห็นว่า อินทรีย์อิเล็กโทรไลต์เกิดขึ้นใน ปฏิกิริยา สมการนี้กลับไปได้ ฉะนั้นเมื่อเติมหรือเพิ่มปริมาณ อิเล็กโทรไลต์ ให้เพียงพอ สมการจะกลับมาจากซ้ายมือ ทำให้ปริมาณของอินทรีย์เบส ในสารละลายเพิ่มขึ้น

ปฏิกิริยาข้างบนนี้ช่วยอธิบายได้ว่า ทำไมอิเล็กโทรไลต์ ที่เติมลงไปจึงมีอิทธิพลปล่อยนีโอมีซิน ออกจาก นีโอมีซิน-เบนโทไนท์ แอควอบเบค และ ดับเบิลยูชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในการวิจัย ก็ย่อมมีปฏิกิริยาเหมือนกัน และเมื่อเพิ่มอิเล็กโทรไลต์มากขึ้น โอกาสที่เข้าไปแทนที่ นีโอมีซิน ที่ถูกปล่อยออกมาก็ย่อมเพิ่มขึ้นด้วย

การดูดซับพวกอิเล็กโทรไลต์จากสารละลายโดยตัวดูดซับที่เป็นของแข็งนั้น อนุภาคของของแข็งจะมีชั้นของไอออนที่ถูกดูดซับอยู่แล้วในสารละลาย ดังนั้นการดูดซับอิเล็กโทรไลต์ จึงเป็นการแลกเปลี่ยนการดูดซับ ระหว่างไอออน ในสารละลายและพวกที่อยู่บนพื้นผิว (47)

อิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในการวิจัย คือ อลูมิเนียม คลอไรด์, แมกนีเซียม คลอไรด์, แคลเซียม คลอไรด์, โพแทสเซียม คลอไรด์ และ โซเดียม คลอไรด์ เมื่อละลายน้ำอิเล็กโทรไลต์ พวกนี้จะแตกตัวให้อิออนประจุบวก คือ Al^{+3} , Mg^{+2} , Ca^{+2} , K^+ และ Na^+ ตามลำดับ (2)

จะเห็นว่า Al^{+3} ซึ่งมีวาเลนซ์สาม ปล่อย นีโอมีซินได้มากที่สุด รองลงมาคือ Mg^{+2} และ Ca^{+2} ซึ่งมีวาเลนซ์สอง ส่วน K^+ และ Na^+ ซึ่งมีวาเลนซ์หนึ่ง ปล่อย นีโอมีซินได้น้อยที่สุด



รูปที่ 8 อิทธิพลของอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนไอออน
จากไอออน-เบนโทไนต์ แอซซอบเบค โดยโซเดียมไอออน ซัลเฟต 0.5% เบนโทไนต์ 1%

- เครื่องหมาย :
- = อลูมิเนียม คลอไรด์
 - △ = แมกนีเซียม คลอไรด์
 - = แคลเซียม คลอไรด์
 - = โปแตสเซียม คลอไรด์
 - × = โซเดียม คลอไรด์

รูปที่ 8 แสดงว่า อิเล็กโทรไลต์เกิดการแลกเปลี่ยนการดูดซับ นีโอมัยซินจาก เบนโทไนท์มากน้อย ตามลำดับ คือวาเลนซ์สาม > วาเลนซ์สอง > วาเลนซ์หนึ่ง เป็นไปตาม Schulze-Hardy rule ซึ่งกล่าวถึงอิทธิพลของวาเลนซ์ของไอออน ต่อการดูดซับว่า ไอออน ที่มีจำนวนวาเลนซ์สามจะดูดซับได้มากกว่า ไอออน วาเลนซ์สอง และ วาเลนซ์หนึ่ง ตามลำดับ (48) McGinity และ Hill ก็พบว่า Mg^{+2} จะปล่อย นีโอมัยซิน จากเคลย์ได้มากกว่า Na^{+} (14)

ในนีโอมัยซิน-เบนโทไนท์ แอคซอมเบค นีโอมัยซินจะถูกดูดซับโดย เบนโทไนท์ ทำให้มีปริมาณนีโอมัยซิน เหลืออยู่ในสารละลาย 2.15 มก./มล. เมื่อเติมอิเล็กโทรไลต์ลงไป ปริมาณนีโอมัยซินเพิ่มขึ้นตามปริมาณของอิเล็กโทรไลต์ ที่เพิ่มขึ้น เมื่อให้อิเล็กโทรไลต์ ชนิดต่าง ๆ ถึง 500 meq/L ปริมาณของ นีโอมัยซินจะเพิ่มขึ้นดังต่อไปนี้ (รูปที่ 8)

อลูมิเนียม คลอไรด์	ทำให้ปริมาณนีโอมัยซินเพิ่มขึ้น	0.63 มก./มล.
แมกนีเซียม คลอไรด์	" "	0.54 มก./มล.
แคลเซียม คลอไรด์	" "	0.33 มก./มล.
โปแตสเซียม คลอไรด์	" "	0.30 มก./มล.
โซเดียม คลอไรด์	" "	0.20 มก./มล.

∴ จะเห็นว่าการแทนที่นีโอมัยซิน โดยอิเล็กโทรไลต์จะได้ผลดังนี้ $Al^{+3} > Mg^{+2} > Ca^{+2} > K^{+} > Na^{+}$ นอกจากเป็นไปตามอิทธิพลของวาเลนซ์ของไอออน ตามที่กล่าว มาแล้ว ยังสอดคล้องกับ Hendricks ซึ่งกล่าวถึงลำดับการดูดซับพวกไอออนประจุบวกของ montmorillonite ว่า $Brucine^{+} > H^{+} > La^{+3} > Ca^{+2} > K^{+} > Li^{+}$ (30)

จากผลการทดลองไอออน ของอิเล็กโทรไลต์ ที่มีประจุบวกเท่ากันแทนที่ นีโอมัยซินได้ ไม่เท่ากันคือ $Mg^{+2} > Ca^{+2}$ และ $K^{+} > Na^{+}$ มีผู้กล่าวว่าปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของไอออนของอิเล็กโทรไลต์ และความเข้มข้นของไอออนในสารละลายที่มาสัมผัส พบว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ hydrated ion จะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการแทนที่หรือแลกเปลี่ยน ดังนั้น K^{+} มีเส้นผ่าศูนย์กลางของ hydrated ion มากกว่า Na^{+}

จึงมีผลต่อปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนกับพวกอินทรีย์ไอออนมากกว่า และ เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ ไอออน ในสารละลาย ปริมาณที่พวกอินทรีย์ไอออนถูกดูดซับจะลดน้อยลง⁽⁴⁵⁾ เส้นผ่าศูนย์กลางกลาง $K = 4.15 \text{ \AA}$, $Na = 3.55 \text{ \AA}$.⁽⁴⁹⁾

การแลกเปลี่ยนไอออนตาม Hofmeister หรือ lyotropic series สำหรับพวกประจุบวก กล่าวว่ายิ่งมีน้ำหนักอะตอมของไอออนสูงขึ้น ยิ่งถูกจับโดยตัวแลกเปลี่ยนได้มั่นคงขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนสำหรับ ไอออนที่มีจำนวนวาเลนซ์หนึ่ง จะเป็นดังนี้ คือ $Li < Na < K < NH_4 < Rb < Cs$ และพวกไอออนที่มีจำนวน วาเลนซ์สูงจะเป็น $Mg < Ca < Sr < Ba < La$ ⁽¹⁹⁾

นอกจากนี้ยังมีผู้กล่าวว่า การแทนที่ของประจุบวกอันหนึ่งโดยประจุบวกอีกอันหนึ่งนั้นพบว่า $H^+ > Ba^{++} > Sr^{++} > Ca^{++} > Mg^{++} > Cs^+ > Rb^+ > K^+ > Na^+ > Li^+$ นั่นคือ K^+ จะถูกแทนที่ด้วยความเข้มข้นที่เทียบเท่ากันโดย Ca^{++} มากกว่าโดย Li^+ ซึ่งขึ้นอยู่กับ การ hydration ของ ไอออน⁽⁵⁰⁾

ตามการวิจัยของ Wiegner พบว่าประจุบวกที่มีจำนวน วาเลนซ์หนึ่งและสอง มีรัศมีของไอออนใหญ่กว่าและ hydrated ใต่น้อยกว่าจะแลกเปลี่ยนได้ดีกว่าอะตอมขนาดเล็กที่ hydrated ได้มากกว่า ฉะนั้น K^+ มีขนาดใหญ่กว่า Na^+ และเกิด hydrated น้อยกว่า - โขเคียมจึงแลกเปลี่ยนได้ดีกว่า ดังนั้นการแลกเปลี่ยนของประจุบวกที่มี วาเลนซ์หนึ่งและสอง ก็อยู่ในลำดับดัง Hofmeister Lyotropic series ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น⁽⁴⁹⁾

การที่ degree of hydration ของไอออนมาเกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่อนุภาคของเคลย์ ก็เนื่องจาก electrokinetic potential ที่เกิดจาก diffuse electrical double layer ของ colloidal micelle ของอนุภาคพวกเคลย์

ไ้กล่าวมาแล้วว่าเคลย์มีประจุลบ ซึ่งประจุนี้อาจเนื่องจากการดูดซึมไอออนประจุลบที่พื้นผิวหรือเนื่องจากความไม่สมคูลย์ใน crystal lattice ดังนั้นเพื่อสมคูลย์ประจุอนุภาคของเคลย์จึงมีแนวโน้มที่จะดูดซับประจุบวกที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมของมัน ดังนั้นเมื่อเอาอนุภาคของเคลย์มาแขวนตะกอนในน้ำอีก ประจุบวก ที่มีอยู่จะ hydrate ซึ่งขึ้นอยู่กับ วาเลนซ์ และ degree of hydratability จะแตกตัวออกไปในระยະที่แน่นอน จากพื้นผิวของอนุภาคจึงเกิด diffuse electrical double layer เกิดเป็น colloidal micelle (19)

ตัวอย่างโครงสร้างของ colloidal micelle ที่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวก รูปที่ 9(49) micelle เป็น complex ที่มีกรดซิลิซิก, อลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์, อลูมิเนียม ซิลิเกต

M คือ ประจุที่ถูกดูดซับ และแตกตัวออกไปเป็นระยະที่แน่นอน จากผิวของอนุภาคเคลย์

จะเห็นว่าประจุภายใน และ ประจุภายนอกทำให้เกิด electrokinetic potential ซึ่งค่าของมันจะมากยิ่งขึ้น ถ้าประจุภายนอกจับกับประจุภายในหลวมมากขึ้น

จาก Helmholtz formula (49)

$$\text{potential} = \frac{ed}{Dr^2}$$

เมื่อ e คือประจุบวกอนุภาค

d = ระยะทางของชั้นในกับชั้นนอก

r = รัศมีของอนุภาค

D = Dielectric constant

ค่า $e/r^2 = \text{electrical density}$ จะคงที่

∴ ค่า potential จะขึ้นอยู่กับ d ระยะทางนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเท่ากันต่อการ hydration ของไอออน ถ้าประจุบวกภายนอก hydrate มาก โอกาสที่มันจะเข้าไปใกล้ชั้นในลดน้อยลง และระยะ d ก็มากขึ้น ดังนั้นค่า potential สูงขึ้นและแรงดึงดูดของประจุบวกกับ micelle ลดน้อยลง ดังนั้นการ hydration ของอนุภาคเพิ่มขึ้น ค่า potential เพิ่มขึ้น

พบว่าพวกที่มีรัศมีไอออนเล็กจะ hydrate ได้มาก ดังนั้น Wiegner จึงกล่าวว่า รัศมีของไอออนยิ่งเล็ก การ hydration จะมากยิ่งขึ้นรวมทั้ง sheath ของโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นระยะทางระหว่างชั้นในและชั้นนอกจะมากขึ้น การที่ไอออนติดอยู่กับอนุภาคของเคลย์จึงลดน้อยลง

พวกประจุบวกวาเลนซ์สอง จะแลกเปลี่ยนได้ดีกว่าประจุบวก วาเลนซ์หนึ่ง เพราะ hydrate น้อยกว่า การแทนที่ของ ไอออนโดยการแลกเปลี่ยนยังขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างชั้นในกับชั้นนอก เช่นเดียวกับขึ้นอยู่กับ การ hydration

ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนเบสของ micelle ของเคลย์ที่มีประจุบวก วาเลนซ์หนึ่ง ซึ่ง solvated ได้มาก กับไอออน ที่มีประจุบวก วาเลนซ์สูงกว่าแต่ solvated น้อยกว่า รูปที่ 10(19)

(ก) อนุภาคของเคลย์พรอมคาย diffuse electrical double layer เกิดจากการแตกตัวของไอออนประจุตรงกันข้าม (counter ion) ที่ถูกดูดซับไว้

(ข) อนุภาคของเคลย์พรอมคาย diffuse double layer ซึ่งลดความหนาแน่น เนื่องจากการแลกเปลี่ยนประจุบวก วาเลนซ์หนึ่งซึ่ง solvated ได้มากกับประจุบวกที่มี วาเลนซ์สูงกว่าแต่ solvated น้อยกว่า

มีผู้กล่าวว่า ถ้าปริมาณของเคลย์ จำนวนเท่ากัน ถูกอ้อมด้วยเบสบางอย่างเมื่อใส่สารละลายพวก คลอไรด์ของ Na, K, Mg, Ca หรือ H (13,21) ปริมาณของ base ที่ถูกแทนที่จะอยู่ในลำดับดังนี้คือ $Na < K < Mg < Ca < H$

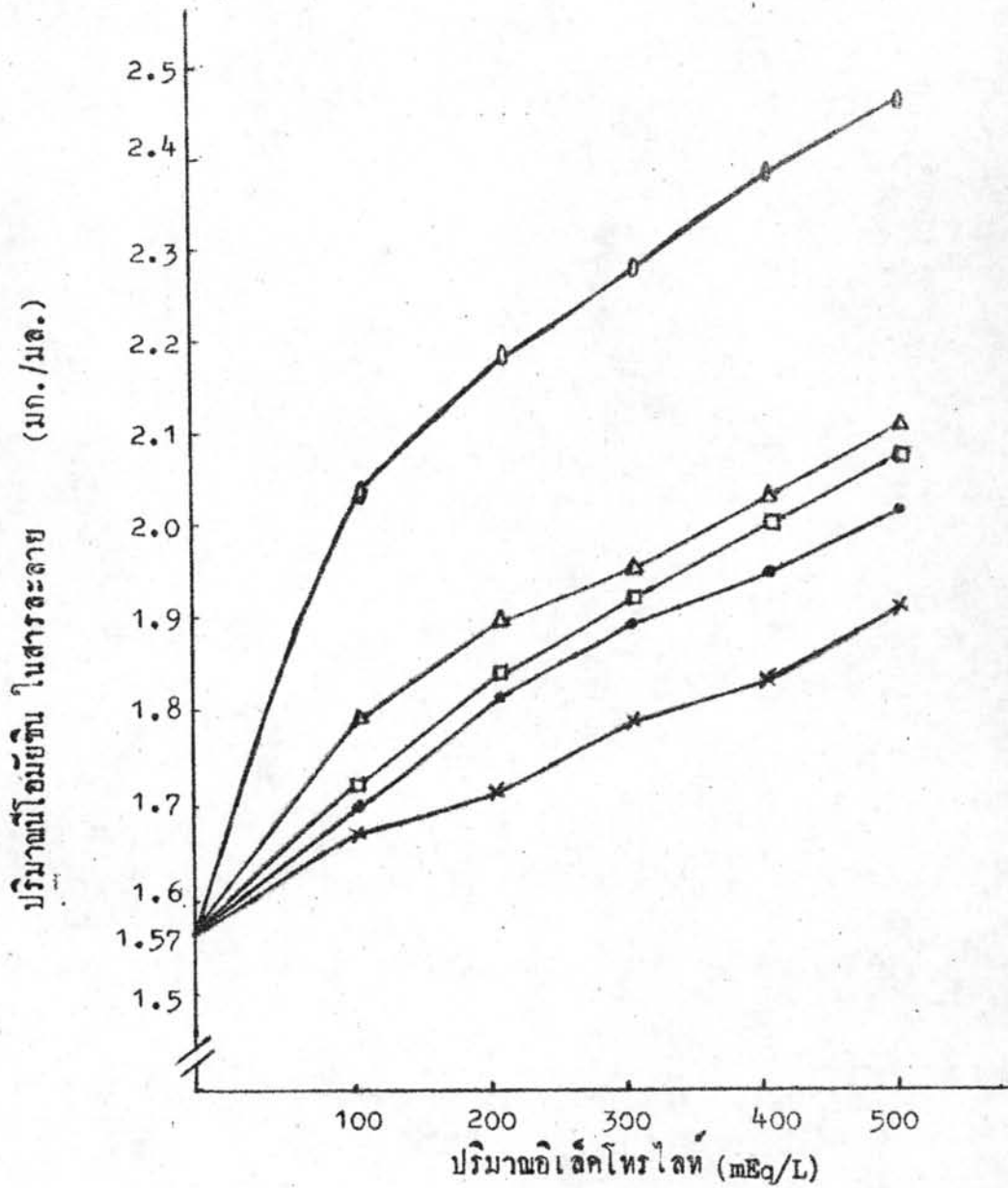
จากผลการทดลองปล่อย นีโอมีซิน จากเบนโทไนท์ $Na^+ < K^+$ ได้ผลการทดลองตามลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น แต่พวกประจุบวก วาเลนซ์สอง ได้ผลตรงข้าม คือ $Mg^{+2} > Ca^{+2}$ ซึ่งผลนี้ไม่เฉพาะ กับ เบนโทไนท์เท่านั้น วิกัม, แอคทิเวท แอททาพัลไลท์ และ คาโอลิน ได้ผลเช่นเดียวกัน

ฉะนั้น นอกจาก valence และ การ hydration ของไอออนแล้วซึ่ง เอาจ่างในที่นี้ ไม่ได้ เพราะ Mg^{+2} hydrated ได้มากกว่า Ca^{+2} (49) ควรจะแทนที่ นี้ไอออนนี้ได้น้อยกว่า Ca^{+2} แต่เมื่อผลการวิจัยได้ $Mg^{+2} > Ca^{+2}$ ฉะนั้น มีเหตุผลเดียวที่จะกล่าวอ้างในที่นี้คือ ขนาดของไอออน เนื่องจาก แมกนีเซียมมีรัศมี ของไอออน น้อยกว่า แคลเซียมคือ $Mg = 0.65 \text{ \AA}$, $Ca = 0.99 \text{ \AA}$ (2, 51) การที่ Mg^{+2} มีขนาดเล็กกว่า Ca^{+2} ทำให้สามารถเข้าไปสัมผัสที่ตำแหน่งแลกเปลี่ยนซึ่งอยู่ใน unit layer ของพื้นผิวได้มากกว่า Ca^{+2} เนื่องจากความแลกเปลี่ยนขนาดของไอออน ก็นับว่าสำคัญ ถ้ามันใหญ่กว่า โอกาสที่จะเข้าไปในตำแหน่งแลกเปลี่ยนก็ย่อมยากกว่าไอออน ที่มีขนาดเล็กกว่า (19, 48)

เหตุผลที่กล่าวมาเกี่ยวกับขนาดของไอออนนี้ สามารถใช้ได้กับ Al^{+3} เพราะนอกจากเป็นพวกประจุบวกวาเลนซ์สาม ถูกควบคุมได้มากที่สุดตาม Schulze-Hardy rule แล้ว Al^{+3} มีรัศมีของไอออนน้อยที่สุดในจำพวก อิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในการวิจัย คือ 0.50 \AA (2) มันยอมเข้าไปสัมผัสที่ตำแหน่ง แลกเปลี่ยนได้ดีกว่าประจุบวกอื่น ๆ และเข้าไปแทนที่ไอออนได้ดีกว่าประจุบวกอื่น ๆ ด้วย ซึ่ง Hendrick (30) ได้กล่าวถึงประจุบวกที่สำคัญที่สามารถเข้าไปอยู่ในตำแหน่งแลกเปลี่ยนตามขนาดของไอออน ที่จะจับกับออกซิเจนได้ Al^{+3} สามารถเข้าไปอยู่ได้ทั้งใน Tetrahedral และ Octahedral เพราะมีขนาดเล็กนั่นเอง

ในการทดลองเติม อิเล็กโทรไลต์เพื่อให้พวกอนุภาคคอลลอยด์ ที่มีประจุลบตกตะกอนพบว่า อลูมิเนียม คลอไรด์ ใช้ได้ดีกว่า แมกนีเซียม คลอไรด์ 10 เท่า และมากกว่าโซเดียมคลอไรด์ 500 เท่า (2) แสดงว่า Al^{+3} จะถูกควบคุม โดยอนุภาคคอลลอยด์ประจุลบได้ดีกว่า Mg^{+2} และ Na^{+2} เป็น 10 และ 500 เท่า ตามลำดับ

Al^{+3} จึงแทนที่ไอออนได้มากที่สุด ตามเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



รูปที่ 11 อิทธิพลของอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนไนโตรเจนจาก
ไนโตรเจน-วิกัม แอครอเบค โคโยไนท์ไนโตรเจน ซัลเฟต 0.5% วิกัม 1%

เครื่องหมาย :

○ = อลูมิเนียมเคลือบ คาร์บอน

Δ = แมกนีเซียมเคลือบ คาร์บอน

□ = แคดเมียมเคลือบ คาร์บอน

● = โพลีแพลตตินัมเคลือบ คาร์บอน

× = สังกะสีเคลือบ คาร์บอน

3.2 การเติมอิเล็กโทรไลต์ลงในน้ำไอมีซิน-วิกัม แอคซอบเบค

ผลการวิจัยรูปที่ 11 วิกัมคูดซ์น้ำไอมีซินไคมากที่สุดจึงเหลือน้ำไอมีซินอยู่ใน สารละลาย น้อยที่สุด คือ 1.57 มก./มล.

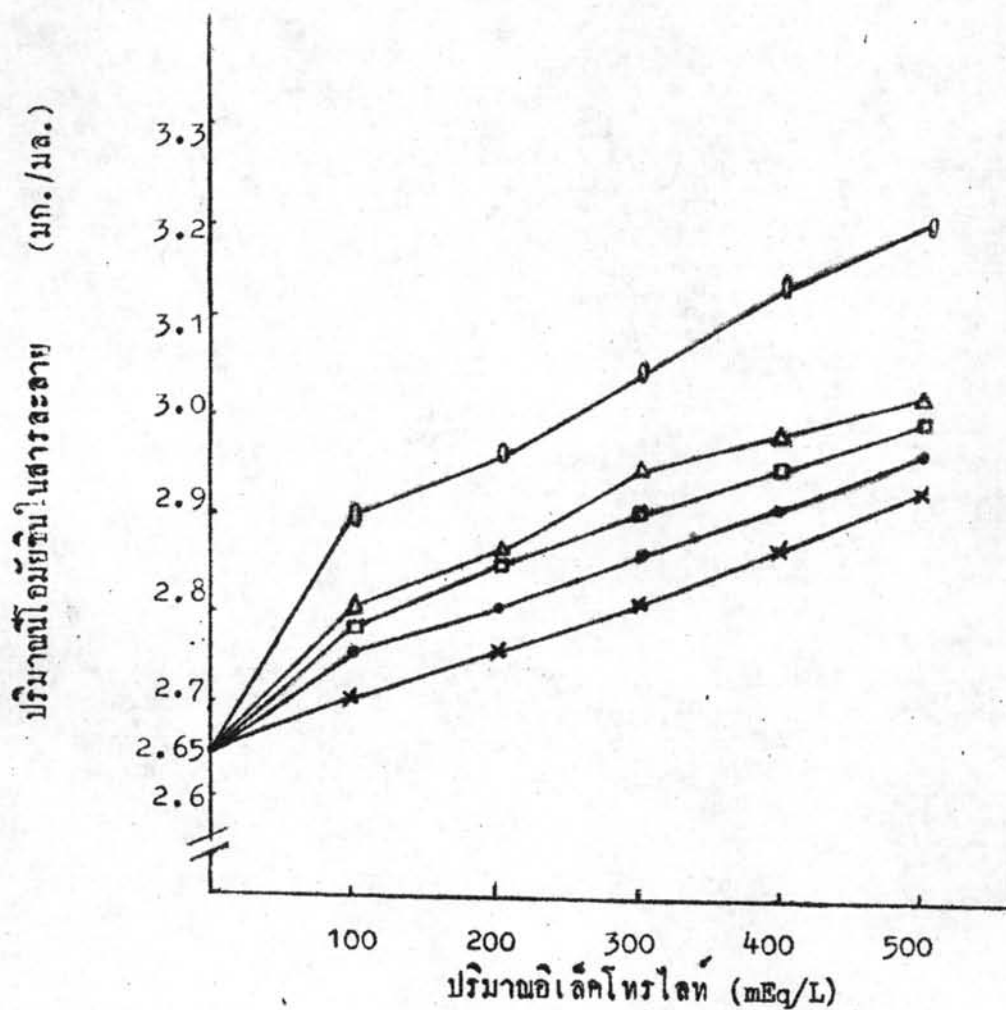
การเติมอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีความเข้มข้น 100, 200, 300, 400 และ 500 meq/L ลงไปในน้ำไอมีซิน-วิกัม แอคซอบเบค พบว่าปริมาณน้ำไอมีซินเพิ่มขึ้นตามปริมาณ ของอิเล็กโทรไลต์ที่เพิ่มขึ้น เมื่อเติมอิเล็กโทรไลต์ 500 meq/L ได้ปริมาณน้ำไอมีซินเพิ่มขึ้นต่อไปนี้.

อลูมิเนียม คลอไรด์	ปริมาณน้ำไอมีซินเพิ่มขึ้น	0.91 มก./มล.
แมกนีเซียม คลอไรด์	" " "	0.55 มก./มล.
แคลเซียม คลอไรด์	" " "	0.53 มก./มล.
โปแตสเซียม คลอไรด์	" " "	0.48 มก./มล.
โซเดียม คลอไรด์	" " "	0.36 มก./มล.

การที่อิเล็กโทรไลต์ประจุบวกสามารถ แทนที่น้ำไอมีซินได้และเมื่อเพิ่มจำนวน อิเล็กโทรไลต์ มากขึ้น ก็แทนที่ไคมากขึ้นเกิดปฏิกิริยาเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายในเรื่อง การเติมอิเล็กโทรไลต์ในน้ำไอมีซิน - เบนโทไนท์ แอคซอบเบค

การปลดปล่อยน้ำไอมีซินไคผล เช่นเดียวกับในเบนโทไนท์ คือ $Al^{+3} > Mg^{+2} > Ca^{+2} > Na^{+}$ เหตุผลเช่นเดียวกับที่อธิบายในเรื่องเบนโทไนท์ แต่การที่อิเล็กโทรไลต์พวกนี้ สามารถปลดปล่อยน้ำไอมีซินออกมาไคมากกว่าในเบนโทไนท์ (ยกเว้น Mg^{+2} ไคปริมาณเท่ากัน) อาจเนื่องจากวิกัมคูดซ์ น้ำไอมีซินไคมากกว่า เบนโทไนท์ และวิกัมคูดซ์น้ำไคมากกว่า เบนโทไนท์⁽²⁶⁾ ฉะนั้นโอกาสที่อิเล็กโทรไลต์ ประจุบวกในสารละลายจะเข้าไปสัมผัสกับ ตำแหน่งแลกเปลี่ยนย้อมมีมากกว่าในเบนโทไนท์ แมวจะเป็นพวก montmorillonite เช่นกัน ฉะนั้น จึงแทนที่น้ำไอมีซินไคมากกว่า เพราะปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุบวกในเคลย์ จะเกิดขึ้นทันที⁽²³⁾

จะเห็นว่า Al^{+3} จะปลดปล่อยนีโอมีซินออกมาได้มากกว่าประจุบวกอื่น ๆ และมากกว่าในเบนโทไนท์มาก อาจเนื่องจากการแลกเปลี่ยนประจุบวกเกิดในผิวข้างใน ของวิกัม และโมเลกุลของสารอินทรีย์ จะถูกจับอยู่ระหว่าง silica-alumina-silica layer ตามที่ Wai และ Banker กล่าวไว้ (38) Al^{+3} มีรัศมีของไอออนเล็กที่สุด (2) จึงสามารถเข้าไปแทนที่นีโอมีซินได้มากที่สุด ในขณะที่ประจุบวกอื่น ๆ ขนาดใหญ่กว่าการเข้าไปแทนที่ นีโอมีซินในผิวข้างในย่อมยากกว่า Al^{+3}



รูปที่ 12 อิทธิพลของอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่าง ๆ ต่อการปลดปล่อยไนโอมีซิน จากไนโอมีซิน-แอกติเวท แอททาพัลจ์ โคโยซีนไนโอมีซิน ซัลเฟต 0.5% แอคติเวท แอททาพัลจ์ 1%

เครื่องหมาย :

- = โซเดียมคลอไรด์
- △ = แมกนีเซียมคลอไรด์
- = แคลเซียมคลอไรด์
- = โพแทสเซียมคลอไรด์
- × = สังกะสีคลอไรด์

3.3 การเติมอิเล็กโทรไลต์ลงใน นีโออัมยีน-แอกติเวท แอททาพัลไลท์ แอกซอบเบค

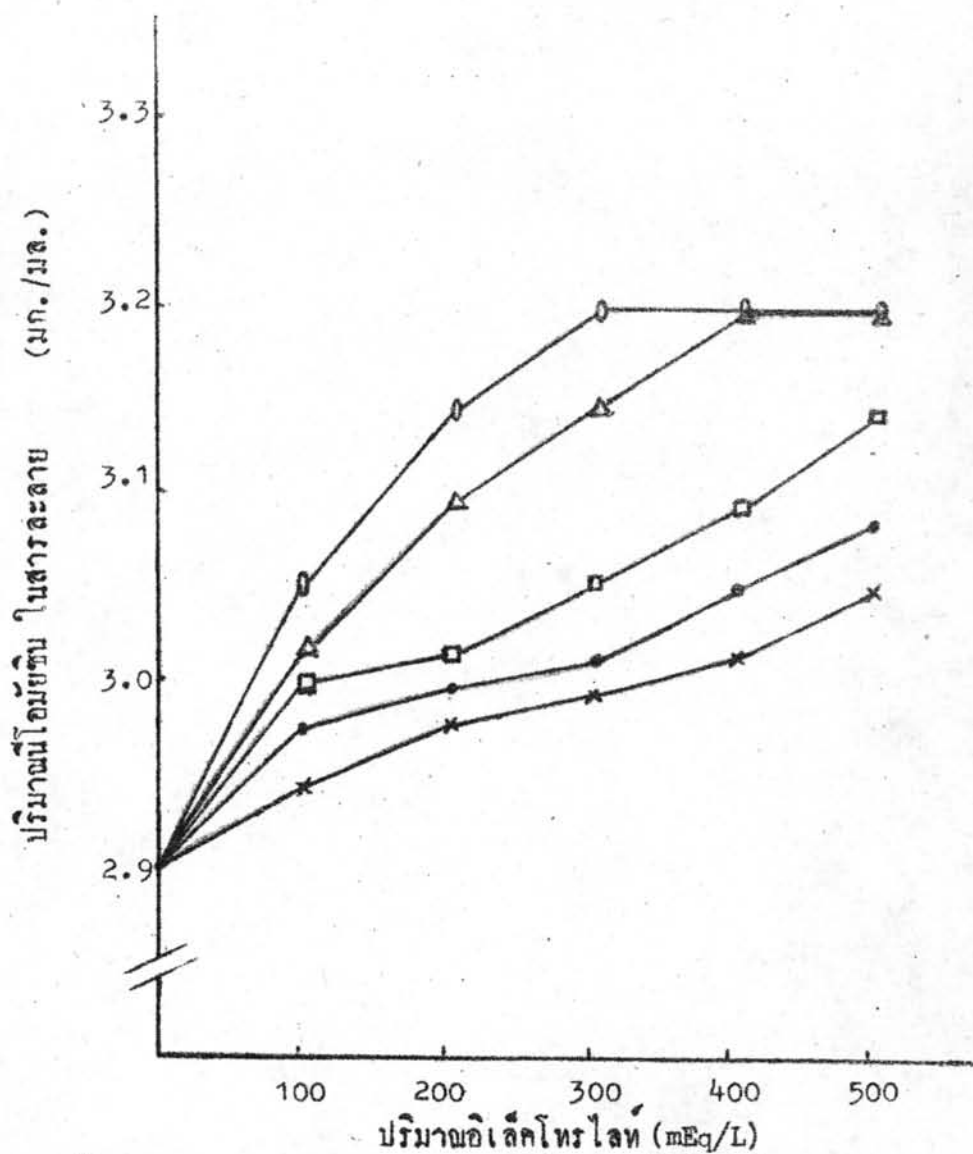
ผลการวิจัยรูปที่ 12 แอกติเวท แอททาพัลไลท์ คุณขัณนีโออัมยีนไค่น้อยกว่า เบนโทไนท์ และวิกัม ซึ่งเป็นพวก montmorillonite เพราะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกน้อยกว่า⁽¹⁹⁾ ดังอภิปรายมาแล้วทำให้มีนีโออัมยีน ในสารละลาย 2.65 มก./มล.

การเติมอิเล็กโทรไลต์ลงไป ในนีโออัมยีน-แอกติเวท แอททาพัลไลท์ เพื่อช่วยปล่อยนีโออัมยีนออกมา ผลการวิจัยได้ผลเช่นเดียวกับเบนโทไนท์ และวิกัมคือ $Al^{+3} > Mg^{+2} > Ca^{+2} > K^+ > Na^+$ ปริมาณนีโออัมยีนที่เพิ่มขึ้น เมื่อเติมอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่าง ๆ 500 mEq/ลิตร

อลูมิเนียม คลอไรด์	ปริมาณนีโออัมยีนเพิ่มขึ้น	0.55 มก./มล.
แมกนีเซียม คลอไรด์	" " "	0.36 มก./มล.
แคลเซียม คลอไรด์	" " "	0.35 มก./มล.
โปแตสเซียม คลอไรด์	" " "	0.31 มก./มล.
โซเดียม คลอไรด์	" " "	0.25 มก./มล.

แอกติเวท แอททาพัลไลท์ มีโครงสร้างเป็นเส้น⁽⁴⁶⁾ unit cell เป็นช่องที่แคบ เป็นที่อยู่ของ รมเลกุลของน้ำ และประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้⁽²⁰⁾ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกน้อย ดังกล่าวมาแล้ว จึงดูดซับนีโออัมยีนไค่น้อย เมื่อเติมอิเล็กโทรไลต์ลงไป ปริมาณนีโออัมยีน ถูกปล่อยออกมามากน้อยกว่าในวิกัม และเบนโทไนท์ ยกเว้น K^+ และ Na^+ ซึ่งไค่ค่าสูงกว่าในเบนโทไนท์เล็กน้อย อาจเนื่องจาก มีช่องที่ใหญ่พอ ที่มีเลกุลหลายขนาด เข้าไปได้⁽³²⁾ ฉะนั้นประจุบวกจึงเข้าไปสัมผัสกับตำแหน่งแลกเปลี่ยน ที่จะปล่อย นีโออัมยีนได้ง่าย โอกาสที่จะแทนที่ นีโออัมยีน มีไค่มาก โดยเฉพาะ Al^{+3} สามารถที่จะปล่อยนีโออัมยีนออกมาได้หมดคือ ทำให้มีปริมาณ นีโออัมยีน ในสารละลายเท่าตัวควบคุม คือ 3.2 มก./มล. เนื่องจาก วิกัมมีไอออน เล็กที่สุด⁽²⁾ จึงเข้าไปในช่องไค่มากกว่าประจุบวกตัวอื่น และแอททาพัลไลท์ ก็ดูดซับ นีโออัมยีนไค่น้อยกว่า เบนโทไนท์ และวิกัม ดังนั้นจึงสามารถปล่อยนีโออัมยีน ออกมา ไค่หมด และเป็นไปตาม Schulze-Hardy rule ง่าย

สำหรับ Mg^{+2} และ Ca^{+2} สามารถปลดปล่อยไอออนออกมาได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน
 คงขึ้นอยู่กับธรรมชาติของมันและ affinity ของ Mg^{+2} และ Ca^{+2} ที่มีต่อตำแหน่งแลกเปลี่ยนใน
 แอทธาพัลไลท์อาจใกล้เคียงกัน ทำให้มีโอกาสปลดปล่อยไอออนออกมาได้ปริมาณเกือบเท่า ๆ กัน
 ปฏิกิริยาการปลดปล่อย ไอออนออกมาจากนี้ ไอออน-แอคทีเวท แอทธาพัลไลท์ แอคซอมเบค
 เมื่อเติมอิเล็กโทรไลต์เช่นเดียวกับการอธิบายในนี้ ไอออน-เบนโทไนท์ แอคซอมเบค เพราะ
 เกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนประจุบวกเช่นเดียวกัน



รูปที่ 13 อิทธิพลของอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนไอ้มขิน
จากไอ้มขิน-คาโอลิน แอคซอมเบค โดยโซเดียมไอ้มขิน ซัลเฟต 0.5% คาโอลิน 1%

- เครื่องหมาย :
- = ออุมิเนียม คลอไรด์
 - △ = แมกนีเซียม คลอไรด์
 - = แคลเซียม คลอไรด์
 - = โพแทสเซียม คลอไรด์
 - × = โซเดียม คลอไรด์

3.4 การเติมอิเล็กโทรไลต์ ลงในน้ำไอมีซิน-คาร์บอลิน แอคซอบเบค

ผลการวิจัยรูปที่ 13 คาร์บอลิน คูคซ์บีน้ำไอมีซิน ไค่น้อยที่สุด เนื่องจากมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุวากนอยที่ต่ำ ในจำพวกเคลย์ ที่ใช้ในการวิจัย (19,46) ทำให้มีน้ำไอมีซินในสารละลายตัวอย่าง 2.9มก./มล.

การเติมอิเล็กโทรไลต์ เพื่อปล่อยน้ำไอมีซิน ปฏิกริยาจะเกิดเช่นเดียวกับที่ Smith กล่าวไว้ ดังที่อธิบายในเรื่องของเบนโทไนท์แล้ว (39)

เมื่อเติมอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่าง ๆ ลงไปในความเข้มข้น 500 mEq/L ปริมาณน้ำไอมีซินที่เพิ่มขึ้นคือ

อลูมิเนียม คลอไรด์	ปริมาณน้ำไอมีซินเพิ่มขึ้น	0.3 มก./มล.
แมกนีเซียม คลอไรด์	" " "	0.3 มก./มล.
แคลเซียม คลอไรด์	" " "	0.25มก./มล.
โปแตสเซียม คลอไรด์	" " "	0.20มก./มล.
โซเดียม คลอไรด์	" " "	0.15มก./มล.

เนื่องจากตำแหน่งแลกเปลี่ยนประจุของ คาร์บอลิน ตามที่ Hendricks. (30)

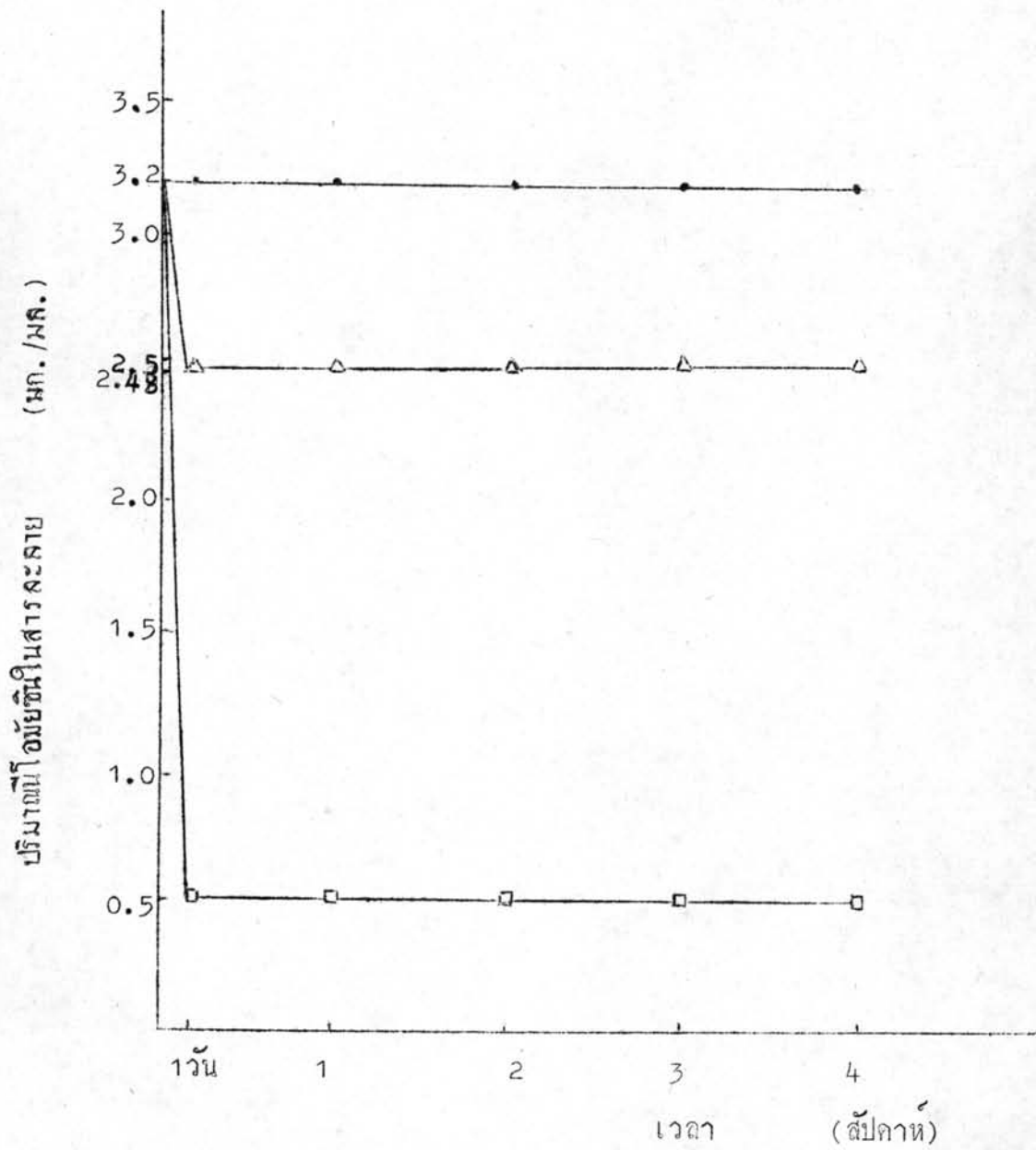
กล่าวไว้จะอยู่ที่ส่วนยอดของ lattice หรือที่ขอบ ซึ่งแตกออก ของแผ่นคาร์บอลินและมีเฉพาะผิวนอกเท่านั้น : ที่มีการแลกเปลี่ยนประจุเกิดขึ้น (46) ฉะนั้นจึงทำให้ Al^{+3} ซึ่งมีผลมากที่สุดเพราะเป็น trivalent สามารถแทนที่ น้ำไอมีซิน ได้มากที่สุดโดยใช้เพียงแต่ 300 mEq/L ก็สามารถปล่อย น้ำไอมีซิน ออกมาได้หมด เท่าที่ควบคุม ฉะนั้นเมื่อใช้ปริมาณ อลูมิเนียม คลอไรด์ 400, 500 mEq/L จึงได้ปริมาณน้ำไอมีซินเท่าเดิม คือ 3.2 มก./มล.

สำหรับ Mg^{+2} ในการวิจัยจะเห็นว่ามันมีอิทธิพลในการปล่อย น้ำไอมีซินออกจากเคลย์ได้รองจาก Al^{+3} ฉะนั้นเมื่อใช้ถึง 400 mEq/L Mg^{+2} สามารถปล่อย น้ำไอมีซิน ออกจากน้ำไอมีซิน-คาร์บอลิน แอคซอบเบคได้หมดเท่าที่ควบคุม คือ 3.2มก./มล. และเมื่อใช้ Mg^{+2} 500 mEq/L ปริมาณน้ำไอมีซิน จึงเท่าที่ควบคุมเช่นกัน

การที่ Al^{+3} สามารถปล่อยนีโอมีซินออกไซด์หมดเพราะว่าค่าไอออนมีการแลกเปลี่ยนเฉพาะที่วนนอกเท่านั้น ดังกล่าวมาแล้ว Al^{+3} จึงง่ายที่จะเข้าไปแทนที่โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับเบเนโทไนท์ และวิกัมซึ่งมีตำแหน่งแลกเปลี่ยนอยู่ภายใน unit layer ภาย และค่าไอออนก็ดูระดับนีโอมีซินค่อนข้างน้อยมาก จึงเป็นไปได้ที่ Al^{+3} เมื่อใช้แค่ 300 meq/L ก็จะสามารถปล่อยนีโอมีซินออกไซด์หมด

สำหรับ Mg^{+2} เหตุผลก็คงเช่นกันแต่เนื่องจากเป็น divalent ปริมาณที่ใช้ในการปล่อยนีโอมีซินออกไซด์หมดจึงมากกว่า Al^{+3} ซึ่งได้กล่าวมาแล้วว่ามีผู้ทดลองพบว่าอูมิเนียม คลอไรด์ จะมีผลมากกว่าแมกนีเซียม คลอไรด์เป็น 10 เท่าและมากกว่าโซเดียม คลอไรด์ 500 เท่า⁽²⁾

สรุปผลการทดลองได้เช่นเดียวกับเคลย์อื่น ๆ คือ อิทธิพลในการปล่อยนีโอมีซินจะเป็น $Al^{+3} > Mg^{+2} > Ca^{+2} > K^+ > Na^+$ เหตุที่อเล็กซ์โธไรด์ สามารถปล่อยนีโอมีซินได้ แตกต่างกันในเมื่อว่าเลนซี เท่ากันก็เนื่องจากธรรมชาติ ดังอภิปรายในเรื่องของเบเนโทไนท์



รูปที่ 14 แสดงปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่ในสารละลาย เมื่อเตรียมไนโตรเจน-เคลดย์ แอคซอบเบคเป็นเวลา 1 เดือน ใช้ไนโตรเจน ซัลเฟต 0.5% เคลดย์ 8%

- เครื่องหมาย:
- = คั่วควบคุม (ไนโตรเจน ซัลเฟต 0.5%)
 - △ = ไนโตรเจน-คาโอดิน แอคซอบเบค
 - = ไนโตรเจน-แอคทีเวท แอททาพ้อใจท์ แอคซอบเบค

4. การเตรียมนีโอมีซิน-เคลย์ แอคซอบเบค เมื่อเพิ่มปริมาณเคลย์ เป็น 8%

เตรียม นีโอมีซิน-แอคติเวท แอททาพัลใจท์ แอคซอบเบค และนีโอมีซิน-คาโอลิน แอคซอบเบค โดยเพิ่มปริมาณเคลย์เป็น 8% ซึ่งใกล้เคียงกับครึ่งหนึ่งของปริมาณที่ใช้ในตำรับ antidiarrheal suspension เพื่อให้พอเหมาะกับปริมาณนีโอมีซิน วัลเฟค 0.5% (ปรกติในตำรับ antidiarrheal suspension จะใช้ นีโอมีซิน วัลเฟค ประมาณ 1%)

ผลการวิจัยรูปที่ 14 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของแอททาพัลใจท์ และคาโอลินเป็น 8% ปริมาณของนีโอมีซิน ในสารละลายจะลดน้อยลงกว่าน้อยเมื่อใช้เคลย์ 1% อย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมโดยเฉพาะแอททาพัลใจท์ จะควบคุมนีโอมีซิน ได้มากกว่า คาโอลินมาก ทำให้ปริมาณนีโอมีซิน อยู่ในสารละลาย 0.5 มก/มล. ส่วน คาโอลิน ปริมาณนีโอมีซิน 2.48มก/มล. การควบคุมคงที่ คือสมคูลย์ ตั้งแต่ 24 ชั่วโมงเช่นกัน

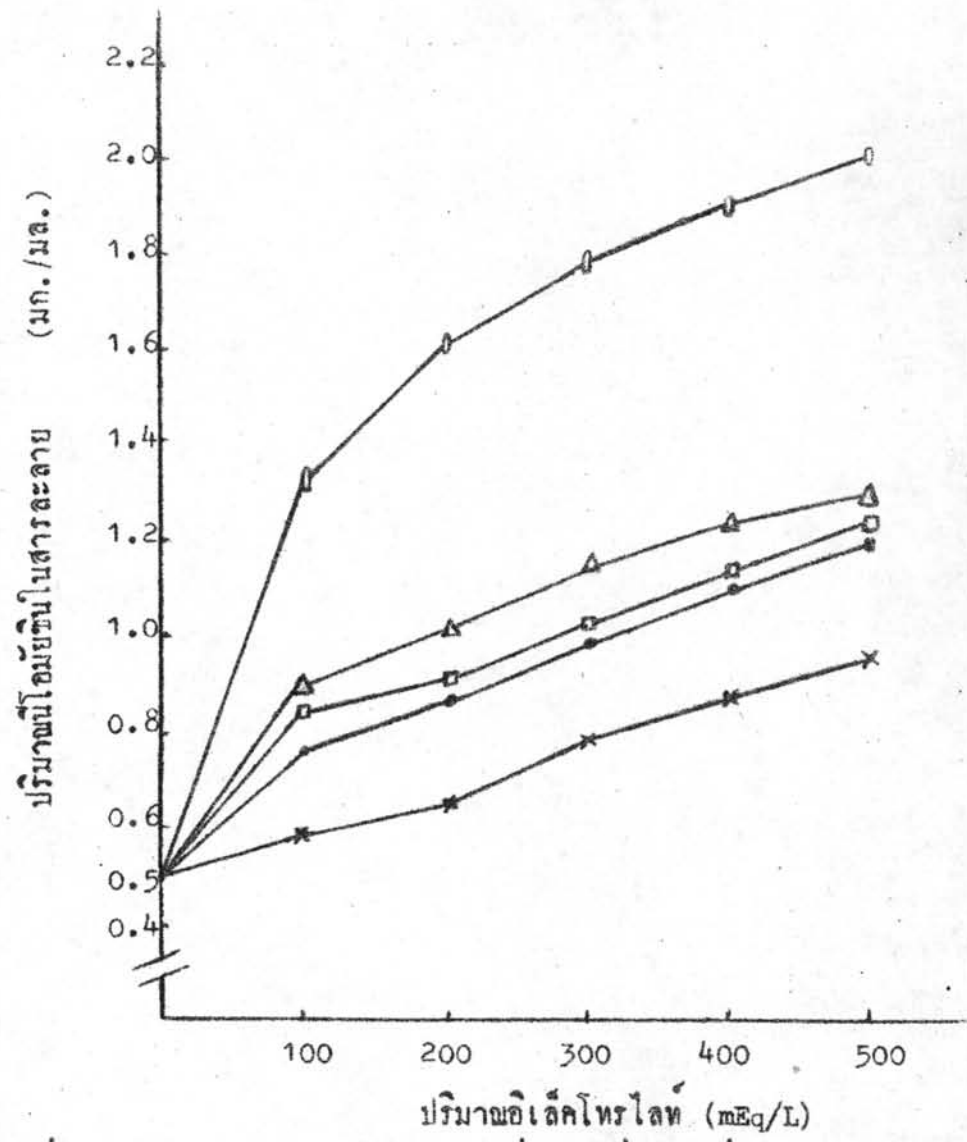
การที่แอคติเวท แอททาพัลใจท์ ควบคุมนีโอมีซินได้มากกว่า จึงมีปริมาณ นีโอมีซิน น้อยกว่า คาโอลิน เหตุผลก็เช่นเดียวกับที่ได้อภิปรายเมื่อใช้เคลย์ 1%

แอคติเวท แอททาพัลใจท์ มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมากกว่า คาโอลิน คือ 25-30 mEq/L 100 กรัม, ของคาโอลิน 3-15 mEq/L 100 กรัม⁽¹⁹⁾ และแอททาพัลใจท์มีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นที่มีช่องใหญ่พอที่จะรับโมเลกุลได้หลายขนาด⁽⁴⁶⁾ ซึ่งช่องนี้เป็นที่อยู่ของโมเลกุลของน้ำ และประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้

ส่วนคาโอลิน มีการแลกเปลี่ยนเฉพาะผิวนอก⁽⁴⁶⁾ ฉะนั้นจึงทำให้คาโอลินควบคุม นีโอมีซิน ได้น้อยกว่าแอททาพัลใจท์ ซึ่งผลการวิจัยก็เช่นเดียวกับที่มีผู้วิจัยไว้แล้วว่า แอคติเวท แอททาพัลใจท์ จะควบคุมพวก แอลคาลอยด์ ได้ดีกว่า คาโอลิน 5-8 เท่า^(6,7)

จะเห็นว่าเมื่อใช้แอกติเวท แอททาพัลจ์ 1% เหลือนีโอมัยซิน อยู่ 2.65 มก./มล. และคาโอดิน 1% มีนีโอมัยซิน อยู่ในสารละลาย 2.9 มก./มล. เมื่อเพิ่มปริมาณของ เคลย์ พวกนี้เป็น 8% แอกติเวท แอททาพัลจ์ ทำให้มี นีโอมัยซิน อยู่ 0.5 มก./มล. และคาโอดิน มี นีโอมัยซิน 2.48 มก./มล. ปริมาณ นีโอมัยซิน ไม่ได้ ลดลงเป็น 8 เท่า เท่ากับจำนวน 8% ของ เคลย์ ที่เพิ่มขึ้น

เพราะค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ของ เคลย์ เหล่านี้ไม่ใช่ตัวเลขที่แน่นอน เป็นค่าประมาณ ฉะนั้นการเพิ่ม เคลย์ ขึ้น 8% จึงไม่จำเป็นที่ นีโอมัยซิน จะต้องถูกดูดซับมากขึ้น 8 เท่า หรือ มี นีโอมัยซิน ในสารละลายคณอยลงกว่าเมื่อใช้ เคลย์ 1% 8 เท่า



รูปที่ 15 อิทธิพลของอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่าง ๆ ต่อการปล่อยไคอแมกนีซียม จากไคอแมกนีซียม-แอกติเวท แอทธาพัสไลท์ แอคซอบเบค โซนไคอแมกนีซียม ซัลเฟต 0.5% แอกติเวท แอทธาพัสไลท์ 8%

- เครื่องหมาย:
- 0 = อลูมิเนียม คลอไรด์
 - Δ = แมกนีเซียม คลอไรด์
 - = แคลเซียม คลอไรด์
 - = โซเดียมคลอไรด์
 - × = โซเดียม คลอไรด์

5. การเติมอิเล็กโทรไลต์ลงในน้ำไอมีซิน-เคลย์ แอคซอมเบค

5.1 การเติมอิเล็กโทรไลต์ลงในน้ำไอมีซิน-แอคทีเวท แอททาพัลไลท์ แอคซอมเบค

ผลการวิจัยรูปที่ 15 แอคทีเวท แอททาพัลไลท์ 8% สามารถดูดซับน้ำไอมีซินได้มาก ปริมาณน้ำไอมีซินในตัวอย่างคือ 0.5 มก/มล. เมื่อเติมอิเล็กโทรไลต์ลงไป ปริมาณน้ำไอมีซิน จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของอิเล็กโทรไลต์ซึ่งเมื่อเติมอิเล็กโทรไลต์ 500 meq/L ได้ปริมาณ น้ำไอมีซินเพิ่มขึ้น ดังนี้

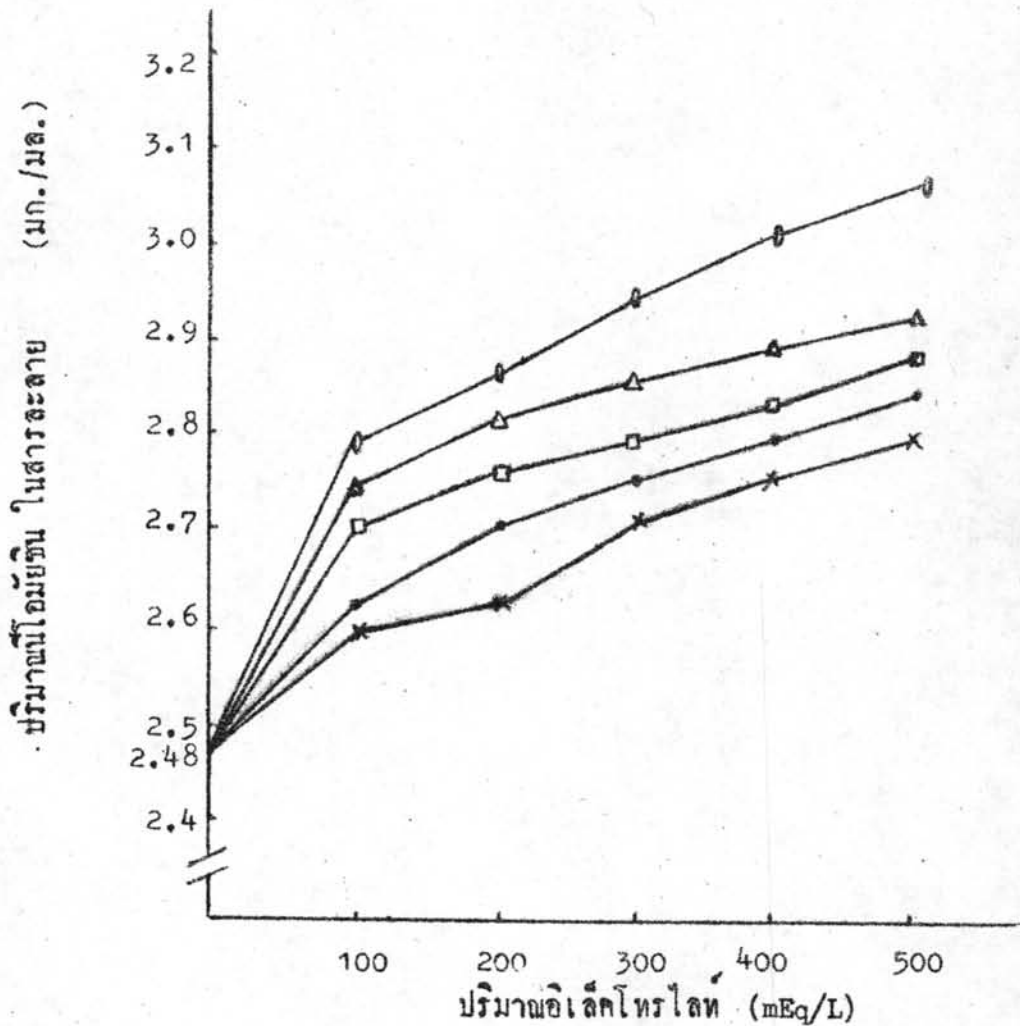
อลูมิเนียม คลอไรด์	ปริมาณน้ำไอมีซินเพิ่มขึ้น	1.55 มก/มล.
แมกนีเซียม คลอไรด์	" " "	0.80 มก/มล.
แคลเซียม คลอไรด์	" " "	0.73 มก/มล.
โซเดียมคลอไรด์	" " "	0.70 มก/มล.
โพแทสเซียม คลอไรด์	" " "	0.45 มก/มล.

การปลดปล่อยน้ำไอมีซินออกมาโดยอิเล็กโทรไลต์ ผลการวิจัยเป็นไปตามที่กล่าวมาแล้วคือ $Al^{+3} > Mg^{+2} > Ca^{+2} > K^+ > Na^+$

เนื่องจากแอคทีเวท แอททาพัลไลท์ดูดซับน้ำไอมีซินไว้มากกว่าเมื่อใช้ 1% ดังนั้น น้ำไอมีซินที่ปลดปล่อยออกมาโดยอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิดก็ย่อมมากกว่าเมื่อใช้ 1% แต่เนื่องจากมัน ดูดซับน้ำไอมีซินไว้มาก Al^{+3} 500 meq/L จึงไม่สามารถปลดปล่อยน้ำไอมีซินออกมาได้หมดเหมือน เมื่อใช้เคลย์ 1%

ปฏิกิริยาการปลดปล่อยน้ำไอมีซินออกมาและข้อแตกต่างในการแทนที่น้ำไอมีซินด้วย อิเล็กโทรไลต์ ก็เช่นที่ได้ อภิปรายผ่านมาแล้ว

การที่อิเล็กโทรไลต์ทุกตัวสามารถแทนที่น้ำไอมีซินได้มากกว่าเมื่อใช้เคลย์ 1% นอกจาก แอคทีเวท แอททาพัลไลท์ ดูดซับได้มากแล้ว ปริมาณเคลย์ที่เพิ่มมากขึ้นทำให้อิเล็กโทรไลต์มี โอกาสที่จะเข้าไปแทนที่น้ำไอมีซินได้มากขึ้นด้วย



รูปที่ 16 อิทธิพลของอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนน้ำมัน
จากน้ำมันอินทรีย์-คาโอดิน แอคซอบเบค ไขมันอินทรีย์ ซัลเฟต 0.5% คาโอดิน 8%

- เครื่องหมาย:
- = อลูมิเนียม คลอไรด์
 - △ = แมกนีเซียม คลอไรด์
 - = แคลเซียม คลอไรด์
 - = โปแตสเซียม คลอไรด์
 - × = โซเดียม คลอไรด์

5.2 การเติมอิเล็กโทรไลต์ลงในน้ำอัมมोन-คาร์บอน แอคซอบเบค

ผลการวิจัยรูปที่ 16 คาร์บอน 8% สามารถดูดซับน้ำอัมมोनได้มากกว่าเมื่อใช้ 1% ทำให้มีปริมาณน้ำอัมมोनในสารละลาย 2.48 มก/มล.

เมื่อเติมอิเล็กโทรไลต์ปริมาณน้ำอัมมोनเพิ่มขึ้นตามปริมาณอิเล็กโทรไลต์ที่เพิ่มขึ้น, 500 mEq/L ของอิเล็กโทรไลต์ทำให้มีปริมาณน้ำอัมมोनเพิ่มขึ้นดังต่อไปนี้

อลูมิเนียม คลอไรด์	ปริมาณน้ำอัมมोनเพิ่มขึ้น	0.57 มก/มล.
แมกนีเซียม คลอไรด์	" " "	0.42 มก/มล.
แคลเซียม คลอไรด์	" " "	0.39 มก/มล.
โปแตสเซียม คลอไรด์	" " "	0.37 มก/มล.
โซเดียม คลอไรด์	" " "	0.32 มก/มล.

อิทธิพลของอิเล็กโทรไลต์ในการปลดปล่อยน้ำอัมมोनได้ผลเช่นที่วิจัยกับเคลย์อื่น คือ $Al^{+3} > Mg^{+2} > Ca^{+2} > K^+ > Na^+$

เนื่องจากคาร์บอน 8% ดูดซับน้ำอัมมोनไว้มากกว่าเมื่อใช้ 1% น้ำอัมมोनที่ปลดปล่อยออกมา ก็มากกว่า แต่ Al^{+3} ความเข้มข้น 300, 400 และ 500 mEq/L ไม่สามารถปลดปล่อยน้ำอัมมोनออกมาได้หมด เหมือนเมื่อใช้ 1% เพราะมันดูดซับน้ำอัมมोनไว้มากกว่าเช่นกัน

ส่วน Mg^{+2} 400 และ 500 mEq/L ก็ไม่สามารถปลดปล่อยน้ำอัมมोनออกมาได้หมดเหมือนเมื่อใช้เคลย์ 1% เหตุผลเช่นเดียวกับ Al^{+3}

ปริมาณน้ำอัมมोनที่ถูกปลดปล่อยออกมาโดยอิเล็กโทรไลต์มากกว่าเมื่อใช้คาร์บอน 1% เหตุผลก็เช่นเดียวกับที่อธิบายไว้มาก ในเรื่องนี้อัมมोन-แอคทีเวท แอททาพัลจ์ท์ แอคซอบเบค เพราะมันดูดซับน้ำอัมมोनไว้มาก และการที่มีเคลย์ 8% ทำให้อิเล็กโทรไลต์สัมผัสถึงเคลย์ได้มากขึ้น ทำให้เข้าไปแทนที่น้ำอัมมोनได้มาก ปฏิกริยาตลอดจนความแตกต่างในการแทนที่น้ำอัมมोन ของอิเล็กโทรไลต์ แต่ละตัวขึ้นอยู่กับธรรมชาติและความเข้มข้นของน้ำอัมมोन ตามที่อธิบายมาแล้วในเรื่องของน้ำอัมมोन-เบนโทไนท์ แอคซอบเบค