

Study on desorption characteristics by mixed resins of active carbons and ion exchange resins for perchlorate ion

Young-Eun Kim¹, Yu-Dong Jeong², Sun Hwan Kim³ and Ki-Jung Paeng^{1,*}

¹Department of Chemistry, Yonsei University, Wonju 220-710 Korea

²Department of Chemistry & Medical Chemistry, Yonsei University, Wonju 220-710, Korea

³Department of Chemistry, Hannam University, Daejeon 306-791, Korea

(Received July 27, 2012; Revised January 16, 2013; Accepted January 16, 2013)

이온교환수지와 활성탄의 혼합수지를 이용한 과염소산 이온의 탈착 특성 연구

김영은¹ · 정유동² · 김선환³ · 팽기정^{1,*}

¹연세대학교 화학과, ²연세대학교 화학 및 의화학과, ³한남대학교 화학과

(2012. 7. 27. 접수, 2013. 1. 16. 수정, 2013. 1. 16. 승인)

Abstract: Perchlorate (ClO_4^-) is the material that is used as propellants of rockets and material of explosive as a form of ammonium perchlorate salts. Ammonium perchlorate solution of high concentration is recovered from expired rocket through demilitarization process by the water-jet method. If people take perchlorate in food and water, it interferes with adsorption of iodide which is the substance needed to synthesize thyroid hormone in the thyroid gland. It has an bad influence upon disturbing pregnancy and synthesis of growth hormone. So the effective method is necessary to remove perchlorate anion in water. By considering economic aspect, we studied effective desorption (regeneration) of perchlorate anion from adsorbent with studies on removal and adsorption of perchlorate anion. Desorption experiment was conducted as batch type. Depending on various conditions (concentration, pH, cation-anion form) elution, we evaluated amount, efficiency of desorption (amount of adsorption/desorption \times 100). Also, research confirmed the efficiency of mixed resins between anion exchange resin and activated carbon and expected synergic effect from advantages of both adsorbents.

요약: 과염소산 음이온은 암모니움 과염소산 염 형태로서 로켓의 추진체, 폭발물의 재료로 사용되는 물질이다. 고농도의 암모니움 과염소산은 비군사화과정을 통해 폐로켓으로부터 회수된다. 음용수나 음식을 통해 사람이 섭취하게 되면, 갑상선 호르몬을 합성하는데 필요한 물질인 요오드의 흡수를 방해하게 된다. 소량이라도 장기 노출 시 신장 및 갑상선 기능장애, 생식기능 장애 그리고 암을 유발할 수 있다. 따라서 수질에서의 과염소산이온을 효과적으로 제거할 수 있는 방법이 필요하다. 경제적인 관점을 고려하여, 본 연구에서는 이온교환수지에 흡착된 과염소산 이온을 효과적으로 탈착(재생)시킬 수 있는 조건을 최적화하는 것이 목적이다. pH, 탈착용액의 이온형태, 농도에 따라서 탈착량을 파악하였으며, 이온교환수지와 활성탄을 혼합한 혼합수지를 이용하여 탈착효율이 증가하는 시너지효과를 보았다.

Key words : perchlorate ion, demilitarization, ion exchange resin, active carbon, mixed resin, desorption

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)32-766-2239 Fax : +82-(0)33-760-2182

E-mail : paengk@yonsei.ac.kr

1. 서 론

과염소산 이온은 과염소산 암모늄(ammonium perchlorate: AP)의 형태로 주로 사용되는데 연료나 폭약과 혼합하여 로켓과 미사일 추진제, 총 포탄, 불꽃놀이 재료의 생산 등에 주로 사용되며 전체 산업 사용량의 90% 이상이 군사적인 목적에 사용되고 있다.^{1,2} AP는 최근 인체에 유해한 환경오염 물질로 크게 주목받고 있는데 특히 소량이라도 장기 노출 시 신장 및 갑상선 기능장애, 생식기능 장애 그리고 암등을 유발할 수 있다.^{3,5}

환경 시료나 비군사화 시료 등에서 AP의 흡착 제거에는 과염소산을 선택적으로 흡착 또는 결합시키는 수지의 개발이 필수적이다. 물리적인 흡착이나 이온교환 수지가 대표적이다.⁶ 이온교환수지로는 macro porous polystyrene divinylbenzene copolymer base에 3차 아민(-NR₃⁺)기를 갖는 type 1 또는 type 2의 강염기 음이온 교환수지가 주로 사용되는데, 다른 음이온에 비해서 과염소산에 대해 훨씬 큰 친화도를 갖는다.⁷⁻¹¹ 이온교환 수지이외에도 다양한 유·무기 흡착제들이 사용되는데, 이중 입자 형태의 활성탄(granular active carbon)은 수처리에서 넓은 표면적과 뛰어난 흡착 능력으로 특히 물에 용해도가 낮은 비극성 또는 입자성 오염물질을 효과적으로 제거하는 매우 저렴한 방법으로 알려져 있다. 다만 수용성 무기 이온들에 대해서는 상대적으로 흡착 효율이 낮은 것으로 알려져 왔다. 그러나 과염소산은 무기 이온 중에서 물에 용해도는 높지만 반면에 상대적으로 소수성이 높은 음이온으로 활성탄에도 어느 정도 흡착 효율을 나타낸다. 또한, 최근에는 활성탄 표면에 양이온을 띤 기능기를 많이 심어놓으면 과염소산의 흡착 효율을 크게 높일 수 있다고 알려져 있다. 즉, 개선된(modified) 활성탄 또는 꼬리 달린(tailored) 활성탄을 이용하는 경우이다.¹² 따라서 본 연구실에서는 다양한 종류의 수지와 활성탄 등을 혼합하여 과염소산 이온의 제거에 응용할 경우, 각 흡착제의 장점으로 인한 시너지 효과를 얻을 수 있는지 조사, 보고한바 있다.¹³

그러나 과염소산은 이온교환 수지에 대한 친화도가 매우 높아 탈착이 어려운 문제가 있다. 이로 인하여 과염소산을 흡착시킨 이온교환 수지의 경우 소각이외에는 처리 방법이 거의 없는 것이 현실이다. 이에 따라 이온교환 수지의 재사용과 흡착된 과염소산의 회수가 어려워 환경 시료 중 과염소산 처리비용의 상승과 추가 환경오염의 문제가 대두 되고 있다.

따라서 본 연구에서는 이미 보고되었던 이온교환수지와 활성탄 등을 혼합수지를 활용하여 과염소산 이온의 탈착에 응용할 경우, 탈착효율 증가의 효과를 얻을 수 있는지 조사하였다. 특히 본 연구는 비군사화 과정에서 발생하는 고 농도의 AP 용액을 대상으로 하였으며, 이 실험을 통하여 추가 정제 없이 순수한 물질로의 변환을 목적으로 하였다. 따라서 음이온교환수지와 활성탄의 조합에서 기존의 음이온교환수지를 단독으로 사용했을 때와 비교하여 순수한 형태의 물질로의 탈착이 흡착량 대비 50% 이상의 효율로 향상된 결과를 얻었다. 즉, 이 방법을 사용하면 기존 환경시료의 흡착효과를 증가시킬 뿐 아니라¹³ 탈착 효율도 높아 음이온 교환 수지의 단독사용에 비하여 수지의 사용량의 감소와 과염소산 이온의 회수에도 큰 도움을 줄 것으로 기대되며, 실제시료에도 효과적으로 응용이 가능하였다.

2. 실험

2.1. 시약

실험에 사용된 모든 용액은 ACS 등급의 표준시약과 Human corporation 사 증류수 제조기의 3차 증류수를 이용하여 만들었다. 모든 실험은 비군사화 과정에서 얻어진 ammonium perchlorate (NH₄ClO₄) 실시료를 이용하여 실험하였으며, (주)한화종합연구소로부터 받을 수 있었다. 실시료인 ammonium perchlorate 용액은 200,000 µg/mL 이상의 고농도이기 때문에, 실험에 필요한 작업용액은 8000 µg/mL의 농도로 희석하여 4 °C에서 냉장보관 하였다. 또한 ion chromatography 사용 시 검정곡선은 Sigma-Aldrich 사 (St. Louis, USA)의 sodium perchlorate (NaClO₄) 표준시약을 이용하여 작성하였다. 음이온 탈착을 위한 탈착용액(eluent)은 sodium hydroxide (NaOH), sodium nitrate (NaNO₃), sodium sulfate (Na₂SO₄), sodium chloride (NaCl), sodium phosphate monobasic (NaH₂PO₄)을 사용하였으며, Sigma-Aldrich 사(St. Louis, USA)로부터 구입하였다. 양이온 효과에 따른 탈착용액으로 potassium nitrate (KNO₃), lithium nitrate (LiNO₃)를 Sigma-Aldrich 사 (St. Louis, USA)로 부터 구입하였다. pH에 따른 탈착효율 실험을 진행 할 때 사용된 ammonium hydroxide (NH₄OH)는 Fluka사 (Seelze, Germany)로부터 구입하였고, hydrochloric acid (HCl)는 J.T. Baker 사 (Phillipsburg, NJ, USA)로부터 구입하여 사용하였다. 음이온 IC 분석용 이동상 용매인 sodium hydroxide (NaOH) 또한

Sigma-aldrich사의 시약을 구입하여 추가 정제 없이 사용하였다.

2.2. 흡착제 및 장치

Perchlorate 이온의 흡착을 통한 제거와 탈착 위하여 이온교환수지와 활성탄을 이용하였다. 활성탄은 Norit사(Marshall, TX, USA)의 0.8 SUPRA를, 이온교환수지는 Rohm & Hass사(Philadelphia, PA, USA)의 Amberlite IRA-410와 Purolite사(Bala Cynwyd, PA, USA)의 A530E와 A520E를 사용하였다. 활성탄과 이온교환수지는 표면의 불순물의 제거하기 위하여 HPLC 증류수를 이용하여 3회 세척과 감압과정을 통해 불순물을 걸러주었으며, 60 °C 조건에서 건조하였다. 드라이 오븐(Pusan, Korea)은 DAEIL ENGINEERING사의 것을 사용하였다. 충분한 흡착과 탈착을 하기 위해 shaker는 IKA사 (Staufen, Germany)의 VXR vibration shaker를 사용하였으며, 탈착용액(eluent)의 pH를 조절하기 위해서 thermo Fisher Scientific 사 (Waltham, MA, USA)의 pH meter기를 이용하였다. 또한 탈착 과정 이후 ion chromatography로 시료분석을 위해 남아 있는 부유물 및 불순물 제거를 위해 0.45 µm hydrophilic syringe filter를 사용하였고, ADVANTEC사(Toyo Roshi Kaisha, Japan)로부터 구입하였다.

2.3. 이온크로마토그래피 분석조건 및 검정곡선 작성

Perchlorate 이온의 농도는 Dionex사(Sunnyvale, Cal, USA)의 DX-300 이온크로마토그래피를 사용하여 분석하였다. 음이온 컬럼은 Dionex사의 IonPac AG16 보호 컬럼(내경 4 mm, 길이 50 mm)과 IonPac AS16 분석 컬럼(내경 4 mm, 길이 250 mm)을 연결하여 분석하였다. 음이온 분석 시 suppressor는 Dionex사의 ASRS 3004-mm이었으며, 이동상용매는 35 mM NaOH를 사용하였다. 이동상용매는 등용매 조건하에서 1 mL/min 유속으로 흘러주었으며, 시료주입량은 100 µL이었다. 분석시간은 실험에 모든 물질이 검출되는 20 분으로 분석하였다. 검정곡선을 작성하기 위하여 blank, 0.5, 1, 10, 30, 50 µg/mL의 농도가 되도록 sodium perchlorate를 이용하여 검정곡선을 작성하였다.

2.4. 실험방법

2.4.1. 시간에 따른 ammonium perchlorate의 탈착실험 (Breakthrough curve of desorption)

Ammonium perchlorate의 교반시간에 따른 탈착실험

흡착실험을 먼저 진행한 후에 하였다. 흡착은 세척, 감압, 건조되어 불순물이 제거된 1 g의 A530E, A520E, IRA-410에 8000 µg/mL, 50 mL ammonium perchlorate 용액을 넣어 100 rpm으로 교반시켜주었다. 흡착 평형에 도달하는 시간은 60 분 이후이기 때문에, 60 분의 흡착시간을 가지고 탈착을 진행 하였다. 흡착이 완료된 이온교환수지는 100 mL 초순수 증류수를 이용해 감압세척을 한 후, batch 형식으로 1 M NaOH (25 mL)를 이용해 30 분 간격으로, 420 분 까지 실린지를 이용해 perchlorate를 취하고, 희석하여 ion chromatography로 탈착량을 분석하였다. 여기서 흡·탈착량은 다음과 같은 식 (1)에 의하여 계산하였다. 다음과 같이 여기서 q_e 는 흡·탈착량(단위 mg/g)이고 C_0 와 C_e 는 초기 및 교반 후 perchlorate의 농도이다. V 는 시료의 부피(25 mL)인데, 흡착 실험에서는 ammonium perchlorate의 부피, 탈착 실험에서는 탈착용액의 부피가 된다. m 은 흡착제의 양(1 g)이다. 따라서 탈착량은 1 g의 탈착한 perchlorate의 mg으로 나타내었고, 모든 실험은 batch type으로 진행을 하였다.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{m} \quad (1)$$

2.4.2. 탈착용액의 농도에 따른 탈착량 최적화.

탈착용액의 농도 조건에 따라 탈착량(mg/g)을 파악하였다. 3가지 이온교환수지 중 A530E 만을 선택하고, 위의 실험과 동일한 조건으로 ammonium perchlorate를 이용하여 흡착 평형을 시켰다. 교반시간은 흡착 breakthrough curve data를 바탕으로 실험하였으며, 흡착 평형에 도달하는 60 분 이상의 시간으로 교반을 하여 실험을 하였다. 흡착 평형에 도달한 이온교환수지는 감압하면서 HPLC water (100 mL)로 세척하였으며, 이러한 과정은 흡착하지 않고 이온교환수지 표면에 남아 있는 perchlorate 음이온과 ammonium 양이온을 제거하기 위함이다. 세척이 끝난 이온교환수지에 다음과 같은 농도의 탈착용액을 넣어 주었다. 탈착용액은 0.1 M, 0.05 M, 0.025 M, 0.01 M의 Na₂SO₄ (25 mL)제조하여 사용하였으며, 탈착 과정도 100 rpm에서 24 h 교반을 통해 batch type으로 진행하였다.

2.4.3. 탈착용액(음이온)에 따른 탈착량 비교

다양한 탈착용액 즉, eluent의 음이온과 perchlorate 음이온과의 이온교환에 따라 탈착량을 변화에 대해서 실험하였다. 이온교환수지 A530E, IRA-410, A520E 1 g에 위와 동일하게 8000 µg/mL ammonium perchlorate

(25 mL)를 흡착하고, 각각에 대해서 탈착을 진행하였다. 이 실험도 동일하게 HPLC 증류수(100 mL)를 사용하여 감압 하에 세척하고 탈착하였다. 탈착용액은 0.1 M sodium chloride, sodium hydroxide, sodium sulfate, sodium phosphate monobasic, sodium nitrate 25 mL의 부피를 사용하였고, 100 rpm의 속도로 24 h 교반을 시켜 진행하였다.

2.4.4. 탈착용액의 양이온 형태에 따른 탈착량 비교

탈착용액의 양이온형태인 Na^+ , Li^+ , K^+ 를 바꾸어 가면서 비교하였다. 탈착량이 좋은 음이온인 0.1 M의 NO_3^- 는 고정하고 세 종류의 양이온만을 변화시켜 탈착의 변화량, 탈착량의 영향 여부를 파악하였다. 본 연구에서는 perchlorate 음이온이 분석물질이므로 위와 같은 3종의 음이온교환수지를 사용하였다. 따라서 탈착용액의 양이온은 음이온 교환 메커니즘에 전혀 참여를 하지 않을 것이다. 하지만 Na^+ , Li^+ , K^+ 은 원자 반지름이 186 pm, 152 pm, 227 pm으로 다르기 때문에 음이온과의 이온교환에 방해효과 여부에 대해서 알고자 실험을 하였다.

2.4.5. pH에 따른 탈착량 비교

pH에 따른 탈착량을 알아보기 위해서 pH 3, 7, 10 세 조건에서 실험을 진행하였다. 위와 동일하게 3종의 이온교환수지 1 g에 8000 $\mu\text{g/mL}$ ammonium perchlorate를 흡착한 후, 0.1 M NaNO_3 탈착용액을 이용하여 perchlorate 음이온을 탈착하였다.

2.4.6. 이온교환수지와 활성탄의 혼합비에 따른 탈착량 비교

이온교환수지와 활성탄을 다양한 비율로 혼합하여 탈착량을 비교 해 보았다. 본 실험은 Norit ROW 0.8 SUPRA 활성탄과 이온교환수지 A530E, IRA-410에 대해서 사용하였고, 비율은 3:7(활성탄:이온교환수지), 4:6, 5:5, 6:4, 7:3으로 혼합하였다. 총량은 1 g으로 일정하게 유지하면서 비교 하였으며, 5000 $\mu\text{g/mL}$ ammonium perchlorate(25 mL)를 흡착하고 batch type 으로 탈착 이온교환이 일어나게 하였다.

결과 및 고찰에서 나와 있듯이 0.1 M의 sodium nitrate가 가장 탈착량이 많았지만, 물질변환의 특성을 고려하기 위해서 순수한 형태의 perchlorate 음이온이 존재해야

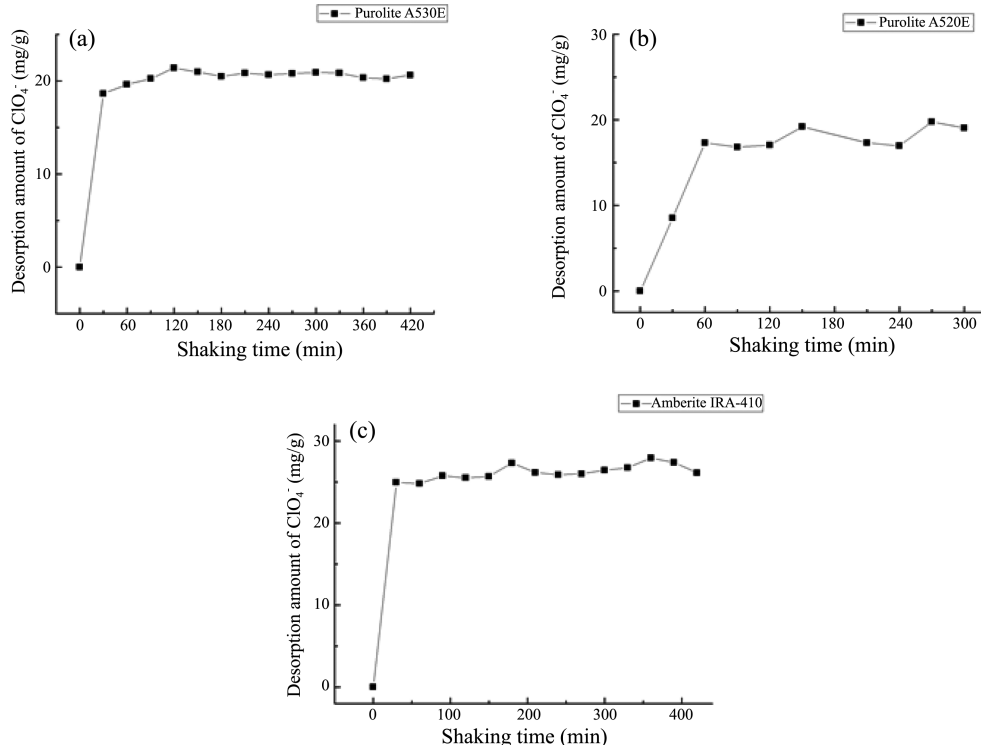


Fig. 1. Effect of contact time on desorption of (a) Purolite A530E, (b) Purolite A520E, (c) Amberlite IRA-410 (temperature=25 °C, ion exchange resin dose=1 g).

하므로 sodium hydroxide의 OH⁻ 음이온 형태로 탈착 시너지 효과를 조사하였다. 또한 OH⁻와 NO₃⁻는 탈착량의 큰 차이를 보이지 않을 뿐만 아니라, OH⁻는 적정을 통해 쉽게 제거 할 수 있고, ion chromatography에서도 억제 컬럼에 의해서 제거 되므로 방해효과가 없어 탈착용액을 NaOH로 선택하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 교반 시간과 농도의 최적화

Ion chromatography를 통해서 이온교환수지의 교반시간에 따른 탈착량의 경향성을 파악해 본 결과 3종의 이온교환수지 모두 최대 60 분의 시간 뒤에는 흡착포화상태에 도달 하는 것을 볼 수 있었다. 탈착 포화 상태 또한 최대 100 분 이상의 교반시간이 지난 후에 perchlorate 음이온이 이온교환이 일어나지 않고 평형에 도달함을 알 수 있었다. 따라서 다음의 모든 실험에서 흡착 교반 시간은 60 분 이상, 탈착 교반 시간은 100 분 이상으로 조건을 잡고 실험을 진행 하였다(Fig. 1).

또한 농도의 최적화 실험은 다음과 같은 이유로 인해 진행하였다.

Ion chromatography 분석을 통해 다양한 음이온 형태의 탈착 비교 실험을 진행 할 때 OH⁻형태는 IC의 억제컬럼에서 제거가 가능하지만, 나머지 음이온 형태

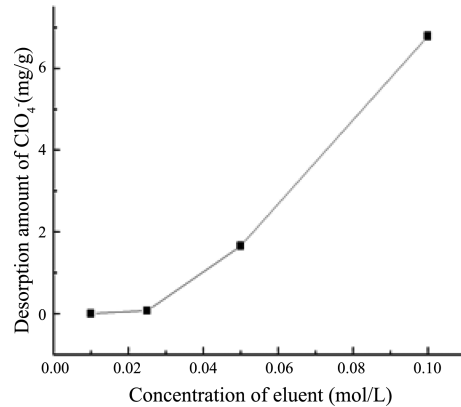


Fig. 2. Effect of concentration on desorption of Purolite A530E (temperature=25 °C, Purolite A530E dose=1 g).

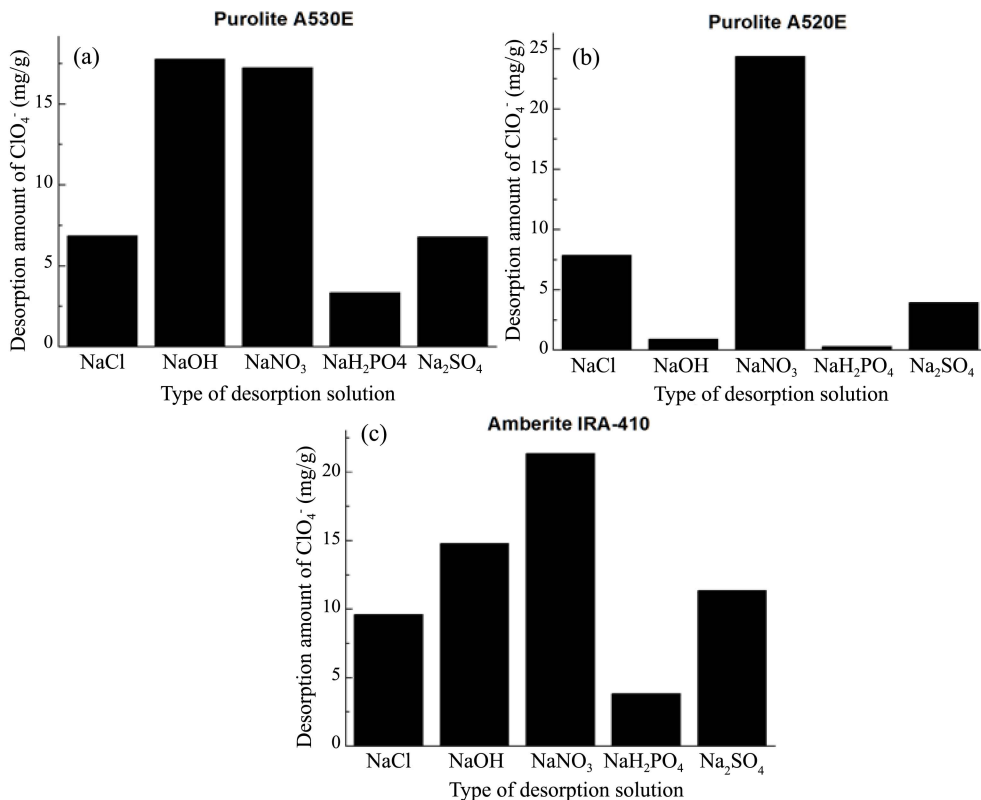


Fig. 3. Effect of anion form on desorption of (A) Purolite A530E, (B) Purolite A520E, (C) Amberlite IRA-410 (temperature=25 °C, ion exchange resin dose=1 g).

는 고농도 검출로 인해 perchlorate 정량의 방해 요인이 된다. 따라서 이를 방지하기 위해 최소 농도로 많은 양이 탈착되는 농도를 알기 위해서 본 실험을 진행 하였다.

Fig. 2에서처럼 0.01 M에서 0.10 M로 탈착용액의 농도가 상승 할수록 탈착량은 기하급수적으로 증가함을 알 수 있었고, 그 이상의 농도는 NaOH를 제외한 음이온 형태는 ion chromatography에서 고농도 검출로 인해 정확한 perchlorate의 정량이 불가능 하였다. 따라서 본 연구에서 탈착용액의 최대 농도는 0.1 M로 결정하였다.

3.2 탈착용액 양·음이온 형태의 최적화

Fig. 3에서처럼 이온교환수지 3 종에 대해서 최적화된 탈착용액의 음이온 형태는 NO_3^- 가 가장 효율적이었다. Purolite A520E는 24.3 mg/g, Purolite A530E 17.2 mg/g, Amberlite IRA-410은 21.3 mg/g으로 가장 높은 탈착량을 나타내었다. 1가 음이온에서 2가, 3가 양이온으로 갈수록 탈착능력은 감소하는 것을 볼 수 있었다.

A520E의 OH^- 의 탈착결과는 0.89 mg/g으로 많은 감소를 보였는데 이는 A520E의 pH capacity 범위에서 강염기인 NaOH는 벗어나기 때문이다. 따라서 탈착용액의 음이온 형태는 NO_3^- 로 설정하였다.

탈착용액의 양이온형태인 Na^+ , Li^+ , K^+ 를 바꾸어 가면서 비교한 결과, Na^+ 과 K^+ 은 큰 차이를 보이지 않았지만, Li^+ 은 탈착효율이 떨어지는 것을 알 수 있었다. 처음 예상 했던 것과는 달리 원자반지름의 영향력

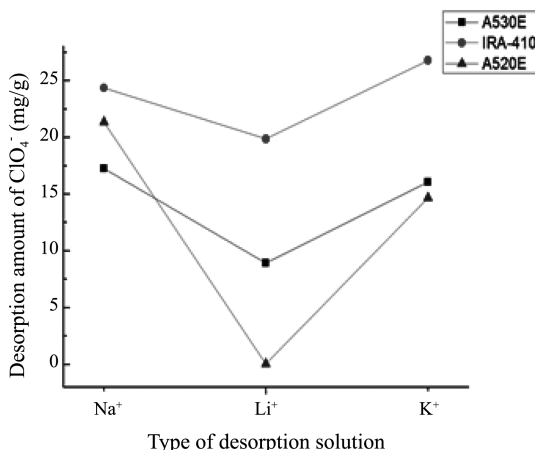


Fig. 4. Effect of cation form on desorption of (A) Purolite A530E, (B) Purolite A520E, (C) Amberlite IRA-410 (temperature=25 °C, ion exchange resin dose=1 g).

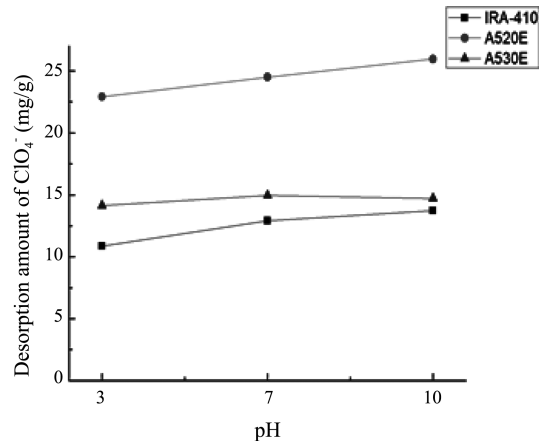


Fig. 5. Effect of pH on desorption of Purolite A530E (temperature=25 °C, ion exchange resin dose=1 g).

에 따른 탈착량은 나타나지는 않았다. 3 종의 이온교환수지의 탈착량과 시약의 경제성을 모두 고려한 결과 본 연구에서는 탈착용액의 양이온 형태는 Na^+ 으로 선택 하였다(Fig. 4).

3.3. pH에 따른 탈착량 최적화

3 종의 이온교환수지에 탈착용액 0.1 M NaNO_3 를 이용하여 pH에 따른 탈착량을 알아보기 위해서 pH 3, 7, 10 세 조건에서 실험을 진행 한 결과, pH의 영향에 따른 탈착량의 큰 변화는 없었다. 따라서 pH에 변화는 고려하지 않고 진행 하였다(Fig. 5).

3.4. 이온교환수지와 활성탄의 혼합비에 따른 탈착량 비교

서론에서 언급한 바와 같이 이온교환수지와 활성탄의 혼합으로 흡착효과를 증가 시킬 뿐 아니라 탈착 효율도 높아 과염소산 음이온의 회수가 용이하다는 것을 실험으로 밝혀내었다. Table 1과 Fig. 6에서와 같이 활성탄의 혼합비율이 높아질수록 혼합수지의 탈착량은 단일 이온교환수지를 사용하였을 때 보다 Purolite A530E의 경우 29.03 mg/g이 증가 하였으며, Amberlite IRA-410의 경우 7.37 mg/g이 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 정확한 탈착량 개선을 알기 위해서 탈착효율을 고려하였는데, 탈착효율은 혼합수지 1 g 당 탈착된 양을 흡착된 양으로 나누고 100%를 고려한 값이 된다. Table 1에서처럼 Norit ROW 0.8 SUPRA와 Purolite A530E의 혼합수지 3:7(활성탄:이온교환수지) 비율에서의 탈착효율이 10.70%에서 7:3 비율에서는

Table 1. Depending on the mixing ratio, desorption amount and efficiency of desorption in mixed resin. (temperature=25 °C, ion exchange resin dose=1 g)

Ratios of mixed resin	Mixed resin (Activated: Ion exchange resin)	Absorption amount (mg/g) (A)	Desorption amount (mg/g) (B)	Efficiency of desorption (%) (B/A × 100)
3:7	ROW0.8Supra: Purolite A530E	122.09	13.06	10.70
	ROW0.8Supra: IRA-410	122.78	20.65	16.81
4:6	ROW0.8Supra: Purolite A530E	111.24	15.06	13.54
	ROW0.8Supra: IRA-410	120.74	20.63	17.09
5:5	ROW0.8Supra: Purolite A530E	107.38	21.72	20.23
	ROW0.8Supra: IRA-410	116.85	30.79	26.35
6:4	ROW0.8Supra: Purolite A530E	106.89	37.05	34.66
	ROW0.8Supra: IRA-410	107.85	33.41	30.98
7:3	ROW0.8Supra: Purolite A530E	106.49	48.08	45.15
	ROW0.8Supra: IRA-410	97.86	33.36	34.09

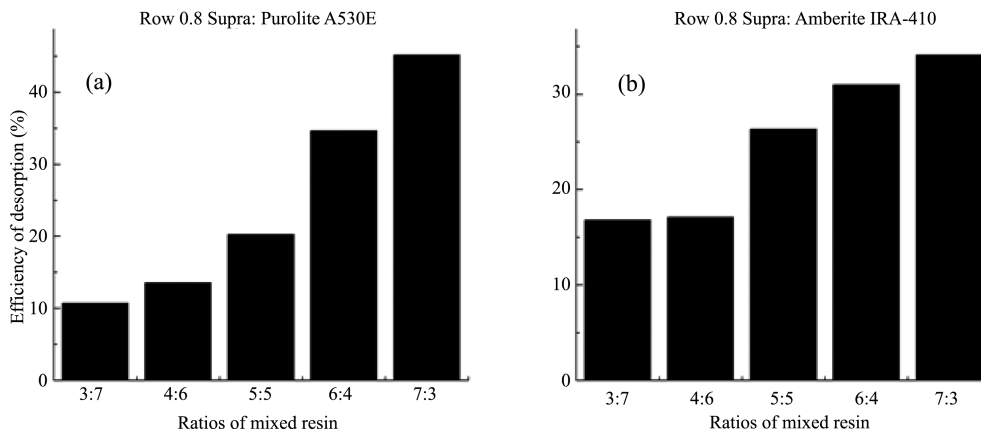


Fig. 6. Depending on the mixing ratio, desorption amount of perchlorate in mixed resin. (temperature=25 °C, ion exchange resin dose=1 g).

45.15%로 증가하였고, Norit ROW 0.8 SUPRA 와 Amberite IRA-410의 혼합수지 또한 17.28%가 증가함을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 다양한 종류의 이온교환수지를 이용해 탈착량을 최적화 할 수 있는 조건을 개선하는 실험을 하였다. 실험 결과 0.1 M NaNO₃에서 탈착량이 가장 높았으며, pH의 영향은 탈착량과 연관성이 없는 것으로 나타났다. 또한 이온교환수지 3 종과 활성탄 (Norit ROW 0.8 SUPRA) 1 종과 혼합수지를 만들어 과염소산 음이온의 탈착 한 결과, 활성탄의 비율이 증가 할수록 즉, 7:3(활성탄:이온교환수지) 비율일 때

탈착량 및 탈착효율의 시너지 효과를 밝혀내었다. 이 연구는 주로 batch 방법으로 시행하였으나 column에서도 유사한 결과를 얻었다.

감사의 글

본 연구는 2010년 ADD의 응용연구의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- Gullick, R. W., LeChevallier, M. W. and Barhorst, T. S., *J. AWWA.*, **93**(1), 66-77 (2001).
- ITRC (Interstate Technology Reregulatory Council), (2005).

3. NRC-National Academy of Science, *The National Academies Press.*, (2005).
4. Li, Z., Li, F. X., Byrd, D., Deyhle, G. M., Sesser, D. E., Skeels, M. R. and Lamm, S. H., *J. Occup. Environ. Med.*, **42**, 200-205 (2000).
5. Crump, K. S. and Gibbs, J. P., *Environ. Health Perspect.*, **113**, 1001-1008 (2005).
6. Gu, B., Brown, G. M. and Chiang, C. C., *Environ. Sci. Technol.*, **41**, 6277-6282 (2007).
7. Perchlorate Treatment Technology Update, *EPA 542-R-05-015*, (2005).
8. Coppola, E. N., *Global Demil Symposium.*, **may 17**, (2007).
9. Logan, B. E., *Environ. Sci. Technol.*, **35**, 482A-487A (2001).
10. GAO (U.S. Government Accountability Office). *Perchlorate: A system to track sampling and cleanup results is needed.* GAO-05-462 (2005).
11. Rusanova, M. Y., Polášková, P., Muzikar, M. and Fawcett, W. R., *Electrochim. Acta.*, **51**, 3097-3101 (2006).
12. Parette, R. and Cannon, F. S., *Water Res.*, **39**, 4020-4028 (2005).
13. Park, S., Jeon, B. H., Jeong, H. and Paeng, K.-J. *Anal. Sci. Technol.*, **23**(5), 429-436 (2010).