

## 제오라이트 및 벤토나이트에 의한 水溶液中 암모니아의 除去

\*李華永 · 吳鐘基 · 金成奎 · 高鉉伯\*

韓國科學技術研究院 金屬工程研究中心, \*(株)世和環境 環境技術研究所

### Removal of Ammonia from Aqueous Solutions with Zeolite and Bentonite

\*Hwa-Young Lee, Jong-Kee Oh, Sung-Gyu Kim and Hyun-Baek Ko\*

Metals Processing Research Center, Korea Institute of Science & Technology,

P. O. Box 131, Cheongryang, Seoul 130-650, Korea

\*Sehwa Environ. Co., Seo-Ku, Incheon, Korea

#### 요 약

제오라이트와 벤토나이트 시료를 사용하여 수용액중의 암모니아 성분을 제거하기 위한 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 제오라이트와 벤토나이트 분말은 국내업체에서 제공한 시료를 별도의 정제과정을 거치지 않고 사용하였다. 수용액 pH 측정결과 암모니아 수용액의 초기 pH 5.5~5.7에서 제오라이트 혹은 벤토나이트 첨가시 pH 가 상승하여 최대 pH 8.5까지 증가하는 현상이 관찰되었다. ammonium acetate 용액을 사용한 침출법으로 제오라이트와 벤토나이트의 C.E.C.를 측정한 결과 제오라이트는 129.7 meq/100 gr을 또한 벤토나이트는 65.1 meq/100 gr의 수치를 나타냈으며, 두 경우 모두 Na<sup>+</sup> 이온이 전체 C.E.C. 중 가장 많은 부분을 차지하였다. 제오라이트와 벤토나이트에 의한 암모니아 제거시 순수 이온교환반응에 의한 것과 함께 물리적 흡착에 의한 암모니아 제거현상도 동시에 나타나는 것으로 관찰되었으며, 벤토나이트 보다는 제오라이트에 의한 수용액중 암모니아 제거가 보다 효과적이었다.

**주제어:** 암모니아, 제오라이트, 벤토나이트, 양이온교환능력

#### ABSTRACT

Removal of ammonia from aqueous solutions has been studied with zeolite and bentonite minerals. Zeolite and bentonite powder were supplied by a domestic company and used as delivered without further purification. The aqueous pH was found to increase by addition of zeolite or bentonite up to pH 8.5 from initial pH of 5.5~5.7. From the C.E.C. measurement by ammonium acetate leaching method, the values of C.E.C. of zeolite and bentonite sample were observed to be 129.7 meq/100 gr and 65.1 meq/100 gr, respectively and Na<sup>+</sup> ion accounted for the major part of total C.E.C. in both cases. In the removal of ammonia with zeolite and bentonite, physical adsorption of ammonium ion onto minerals was believed to contribute to the removal of it as well as the intrinsic cation exchange reaction. Finally, zeolite was found to be superior to bentonite in the removal of ammonia from aqueous solutions.

**Key words:** ammonia, zeolite, bentonite, cation exchange capacity

#### 1. 서 론

산업폐수에 함유된 암모니아는 수질규제항목 가운데 암모니아성 질소(NH<sub>3</sub>-N)의 유발물질로써, 인(P) 성분과

함께 하천이나 호소 및 연안해역의 부영양화를 야기시키는 오염물질이다. 최근의 심각한 수질오염문제에 직면하여 환경부에서는 방류수 중의 총질소 함량을 규제하기에 이르렀고 2003년부터 이를 전국에 시행하기로 예정되어 있다. 이에 따라 산업폐수를 배출하거나 이를 정화처리하는 각종 산업체에서는 이에 대비하기 위한

\* 2002년 4월 19일 접수, 2002년 6월 5일 수리

\* E-mail: hylee@kist.re.kr

각고의 노력을 기울이고 있는 실정이다.

폐수중의 총질소는 크게 암모니아성 질소 및 질산성 아질산성 질소와 유기성 질소의 합으로 표시하며, 대부분의 경우 문제가 되는 것은 암모니아성 질소와 질산성 질소이다. 현재까지 이들 질소성분을 분해제거하기 위한 방법으로써 생물학적 탈질공정이 널리 사용되고는 있으나, 질소농도가 수백 ppm 이상인 고농도 폐수의 경우 생물학적 탈질로는 정화가 곤란하며 물리화학적 방법인 Air stripping 법<sup>1-3)</sup> 혹은 이온교환법 등의 공정이 병행되어야 한다.

이온교환법으로 수용액중의 암모늄 이온(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 혹은 질산 이온(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)을 분리시키기 위하여 흔히 사용되는 상업용 이온교환수지를 생각할 수도 있으나 폐수처리 목적으로 이러한 이온교환수지를 사용하는 예는 특별한 경우를 제외하고는 매우 드물다. 이의 대체 수단으로 이온교환능력을 갖고 있는 자연산 광물질을 이용하여 폐수중의 암모늄 이온을 제거하는 방법이 있다.<sup>4-9)</sup>

제오라이트는 이온교환능력을 갖고 있는 대표적 광물질로써, 광물학적으로 분류하면 tectosilicate에 속하는 함수규산염광물이며 규산질 화산 물질이 열수변질작용, 변성작용 및 풍화작용 등에 의해 2차적으로 생성된 광물질이다. 이는 주로 화성암 속에서 발견되거나 아니면 화강암이나 편마암과 함께 발견되는 때도 있으며, 가열하면 수분이 증발되고 식히면 잃었던 수분을 다시 흡수하게 되는데, 이때 수분 이외에 암모니아, 알코올, 요오드 등의 다른 물질로 대체될 수도 있다. 잘 알려진 바와 같이 제오라이트 세공 내에 존재하는 양이온(Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) 들은 수용액 중에서 다른 여러 가지 금속이온 혹은 유기성 양이온과 교환능력을 가지고 있기 때문에 오래전부터 이온교환제로 이용되어 온 광물중의 하나이다.<sup>10)</sup> 국내에도 경북해안지역을 중심으로 자연산 제오라이트가 많이 산출되고 있으며, 흡착제, 흡습제, 양이온교환제, 토양개량제, 탈취제 등의 다양한 용도로 활용되고 있다. 또한, 이온교환능력을 훨씬 강화시킨 합성 제오라이트는 산업용 촉매제 및 합성세제의 원료로써 공업적으로 매우 중요하게 이용되기도 한다.

제오라이트와 함께 이온교환능력을 갖는 대표적 광물

질의 하나로써 벤토나이트를 들 수 있는데 광물명으로 Montmorillonite로 알려진 벤토나이트는 Na 이온을 많이 함유한 Na-montmorillonite와 Ca 이온을 많이 함유한 Ca-montmorillonite로 크게 구분되며 국내에는 품질 좋은 Na-montmorillonite 는 별로 없고 대부분 Ca-montmorillonite가 제오라이트와 마찬가지로 경북지역을 중심으로 산출되는 것으로 알려져 있다.

본 실험에서는 매년 경북해안지역을 중심으로 연간 10만톤 이상씩 생산되는 국내산 제오라이트와 수입산 벤토나이트를 대상으로 각각의 양이온교환능력(Cation Exchange Capacity, C.E.C.)을 측정하고 이들을 사용하여 수용액 중의 암모니아 성분에 대한 제거실험을 실시함으로써, 각종 산업폐수중의 암모니아 제거시 필요한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 2. 실험 방법 및 시료

본 암모니아 제거실험에 사용한 zeolite 와 bentonite 시료는 국내 W 산업에서 제공한 국내산 및 수입산 분말시료로써, 이들의 화학 조성은 Table 1 에 나타난 바와 같다.

Table 1 에서 보는 바와 같이 zeolite의 경우 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 각각 62.5% 및 12.08%로 대부분을 차지하고 있었으며 bentonite의 경우에도 유사하게 나타나 함수알루미늄이 주성분인 것을 알 수 있었다. 또한, 철분에 있어서는 bentonite가 2.37%로 다소 많았으며, 알칼리 금속에 있어서는 zeolite 가 K 함량이 2.68%로 높은 것이 주목할 만 하였다. zeolite 및 bentonite 의 양이온교환능력(cation exchange capacity, C.E.C.) 측정은 ammonium acetate 용액에 의한 침출법을 사용하였다. 양이온 침출방법은 1 N ammonium acetate(NH<sub>4</sub>C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>, EP grade) 100 ml를 비이커에 넣고 zeolite 및 bentonite 건조시료(건조온도 100±3°C) 2~15 gr을 혼합한 후 자석교반기로 상온에서 일정시간 침출반응을 실시하였다. 반응이 완료된 slurry는 여과지(TOYO filter paper 5C)를 통하여 고액분리를 하였으며, 침출액중의 Na, K, Ca 및 Mg 이온농도를 ICP Spectrometry(Plasmascan

Table 1. Chemical compositions of zeolite and bentonite sample used in the work. (unit : wt%)

	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Ignition loss	Total
zeolite	1.64	12.08	62.5	0.23	1.79	0.75	2.68	2.79	14.2	98.66
bentonite	2.37	13.31	65.7	0.14	1.25	1.58	0.9	2.19	12.7	100.14

710)를 이용하여 정량하였다. 시료의 C.E.C.는 4가지 이온을 모두 합하여 시료 100 gr 에 대한 양이온의 밀리당량(mili-equivalents)으로 표시하였다.

한편, zeolite 와 bentonite 에 의한 수용액중 암모니아의 제거실험은 제공된 시료를 별도의 정제과정 없이 건조한 시료를 일정량씩 채취하여 사용하였으며, 암모니아 수용액은 증류수에 ammonium chloride(NH<sub>4</sub>Cl, EP grade)를 용해시켜 제조하였다. 실험방법은 100 ml 삼각플라스크에 암모니아 수용액 60 ml을 넣고 zeolite 혹은 bentonite 건조시료 일정량을 첨가하여 고무마개로 막은 다음 자석교반기로 일정시간 교반 및 반응시켰다. 반응이 완료된 Slurry는 여과지를 통하여 고액분리를 시켰으며, 반응 전후의 수용액중 암모니아 농도를 정량하여 제거율을 환산하였다. 이때, 별도의 수용액 pH 조절은 실시하지 않았으며, 실험결과 암모니아 수용액 초기 pH는 암모니아 함량에 따라 pH 5.5~5.7 의 범위이었으며, zeolite 와의 반응후 pH 7 부근으로 상승하였고 bentonite의 경우에는 pH 상승폭이 더욱 커 약 pH 8.5 까지 상승하였다.

한편, 수용액중 암모니아 농도는 KS규격(KS M9151)에 따라 sodium salicylate, sodium citrate 및 sodium nitroprusside를 혼합한 발색시약과 안정화제를 사용하여 Spectrophotometer(Varian DMS 200)를 이용하여 650 nm 파장에서의 absorbance를 측정하는 방법으로 구하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. Zeolite 및 Bentonite 시료의 XRD/SEM 측정

Fig. 1 은 본 실험에 사용한 zeolite와 bentonite 시료의 X-선 회절분석결과를 나타낸 것으로서, 그림에서 보는 바와 같이 zeolite 의 경우 알루미늄 규산질계의 광물인 Clinoptilolite((Na, K)<sub>6</sub>(Si, Al)<sub>36</sub>O<sub>72</sub>·20H<sub>2</sub>O)가 주 구성물질이고 이외에 장석류와 석영이 일부 혼합되어 있었다. 이에 비하여 bentonite 의 경우에는 Montmorillonite(Na<sub>3</sub>(AlMg)<sub>2</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>OH<sub>2</sub>·xH<sub>2</sub>O)가 주 구성물질이고 석영 피크가 같이 관찰되었다.

Fig. 2 는 zeolite 및 bentonite 시료의 SEM 측정사진을 보여주는 것으로서, zeolite 의 경우 입도분포는 대략 2 μm에서부터 20 μm 까지의 입자가 대부분을 차지하고 있고 입자형태는 각이 진 입자보다는 둥근모양의 입자가 많은 것으로 확인되었다. 한편, bentonite 의 경우에는 대략 3 μm에서부터 큰 것은 30 μm 까지의 입자

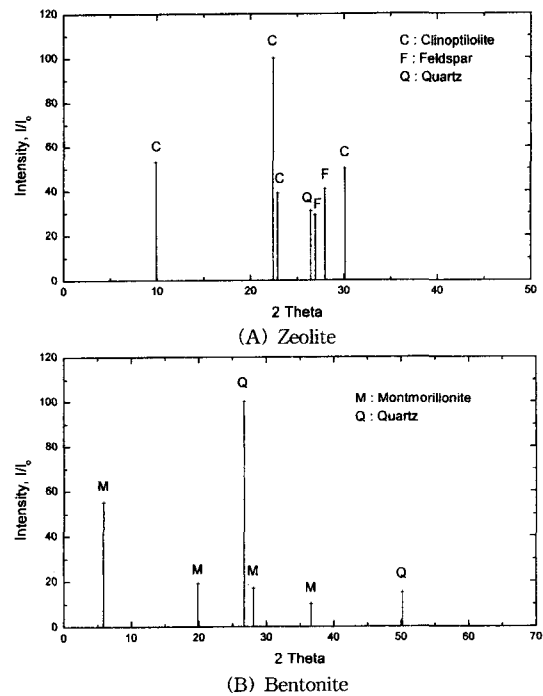
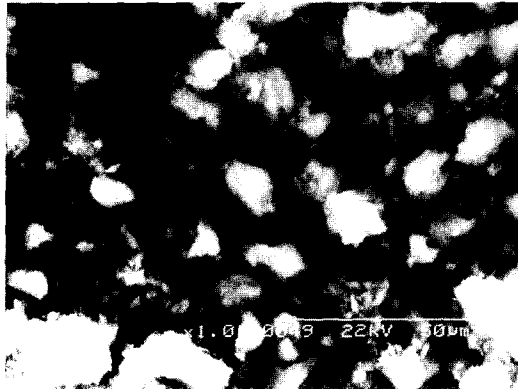


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of zeolite and bentonite used in the work.

도 관찰되었으며 층상형태로 적층된 입자가 많은 것으로 확인되었다. 또한, 입자형태에 있어서는 zeolite와 마찬가지로 둥근모양의 입자가 많았다. Table 2 는 입도분석기로 측정한 zeolite 와 bentonite 시료의 입도분포를 나타낸 것으로서, zeolite의 평균입도는 11.97 μm 이었고 bentonite의 평균입도는 6.22 μm 으로서 zeolite 보다는 bentonite 입자가 작은 것으로 나타났다.

#### 3.2. Zeolite 및 bentonite 의 C.E.C. 측정

Fig. 3은 상온에서 zeolite와 bentonite를 ammonium acetate 용액으로 침출하였을 때의 반응시간에 따른 C.E.C. 용출량 변화를 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 zeolite와 bentonite 두 경우 모두 침출 시작후 약 2시간 까지는 C.E.C. 용출량이 증가하나 그 이후에는 거의 변화가 없었으며, 이때 C.E.C. 값은 zeolite 가 129.7 meq/100 gr, 또한 bentonite 가 65.1 meq/100 gr 인 것으로 나타나고 있다. 광물질 시료의 C.E.C. 측정 방법은 ammonium acetate 침출법 이외에도 methylene blue 용액을 이용한 적정법과 묽은 염산에 의한 양이온 침출법도 있으며, 시료중의 치환가능한 양이온은 Na<sup>+</sup>,



(A) Zeolite



(B) Bentonite

Fig. 2. SEM observations of zeolite and bentonite.

$K^+$ ,  $Ca^{2+}$  및  $Mg^{2+}$  등의 알칼리 금속 혹은 알칼리 토 금속 이온 외에도  $H^+$ ,  $NH_4^+$  등이 있으나 이 가운데  $H^+$  이나  $NH_4^+$  등은 자연산에서 상대적으로 그 양이 적기 때문에 일반적인 C.E.C. 측정에서는 위 4가지 이온들만이 측정대상이 되고 있다. ammonium acetate 용액에 의한 광물질 시료의 양이온 침출은 C.E.C. 측정의 가장 일반적인 방법으로써, 치환대상 이온인 zeolite 및 bentonite 중의  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  및  $Mg^{2+}$ 의 결정내 결합력 보다  $NH_4^+$  이온의 결합력이 훨씬 크기 때문에 시료중의 치환가능한 양이온들은 ammonium에 의해 모

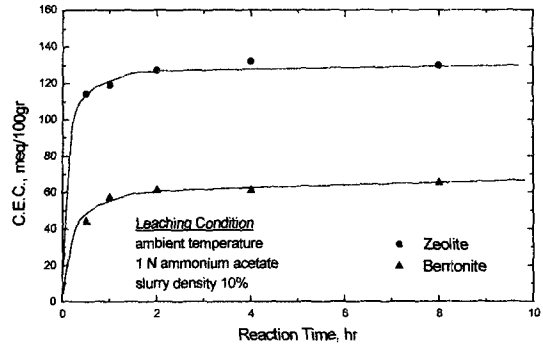


Fig. 3. Variation of C.E.C. of zeolite and bentonite with reaction time.

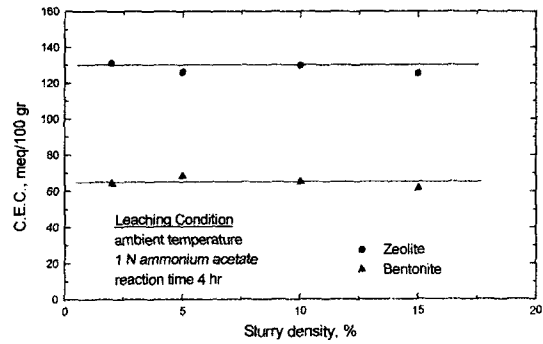


Fig. 4. Variation of C.E.C. of zeolite and bentonite with slurry density.

두 침출되게 된다.

한편, Fig.4는 ammonium acetate 용액중의 zeolite 혹은 bentonite 의 slurry density를 변화시켰을 때의 C.E.C. 용출량 변화를 도기한 것으로써, 그림에서 알 수 있는 바와 같이 slurry density 2~15% 범위에서는 C.E.C. 용출량에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서, 본 실험에서는 최종적으로 대상시료인 zeolite와 bentonite의 C.E.C. 값을 각각 129.7 meq/100 gr 및 65.1 meq/100 gr으로 결정하였으며, 이때의 각 이온 용출량과 백분율을 Table 3에 표시하였다.

Table 3의 C.E.C 값을 살펴 보면 우선 bentonite의

Table 2. Particle size distribution of zeolite and bentonite used in the work

Cumulative Vol. %		10	25	50	75	90
Particle size (μm)	zeolite	2.704	4.633	10.01	17.41	24.34
	bentonite	1.825	2.526	4.338	8.587	13.37

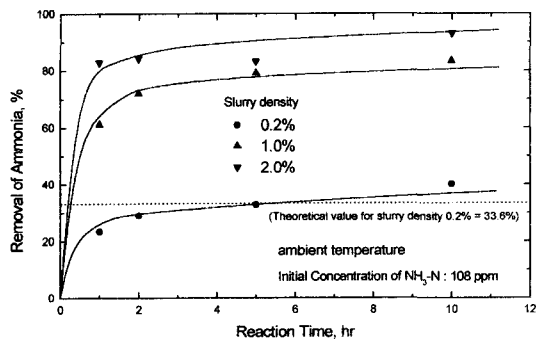
**Table 3.** C.E.C. values of zeolite and bentonite by ammonium acetate leaching (unit : meq/100 gr)

	Na	K	Ca	Mg	Total
zeolite	71.3	20.6	33.7	4.1	129.7
	55.0%	15.9%	26.0%	3.1%	100%
bentonite	39.7	0.9	21.8	2.7	65.1
	61.0%	1.4%	33.5%	4.1%	100%

C.E.C. 값이 65 정도로 비교적 낮은 것이 주목되고 있는데, 질 좋은 국내산 벤토나이트 시료의 경우 보통 C.E.C 값이 80~100 정도임에 비해서 제공된 bentonite 시료가 등급이 다소 떨어짐을 알 수 있었다. 그러나, 전체 C.E.C.의 약 61%를 Na 이온이 차지하고 있어 Na-Montmorillonite의 형태를 유지하고 있었다. 한편, zeolite의 경우 Na 이온이 55%로 전체 C.E.C. 중 가장 많은 부분을 차지하고 있었으며, 특히 K 이온이 15.9%로 상당히 높은 것이 주목할 만 하였다.

**3.3. 암모니아 제거율**

Fig. 5는 초기 수용액중의 NH<sub>3</sub>-N 농도 108 ppm에서 zeolite의 slurry density를 0.2, 1.0 및 2.0%로 변화시키면서 암모니아 성분을 흡착제거시켰을 때의 반응 시간에 따른 암모니아 제거율을 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 반응시작 후 약 2시간까지는 암모니아 제거율이 상승추세를 보이다가 그 이후에는 매우 완만하게 증가하는 것으로 나타났다. 이것을 앞에서 살펴본 C.E.C. 측정실험에서 반응 후 약 2시간내에 용출될 수 있는 양이온들이 거의 용출된 것과 비교해 볼 때 C.E.C. 측정과는 약간의 차이가 있음을 알 수 있었다.

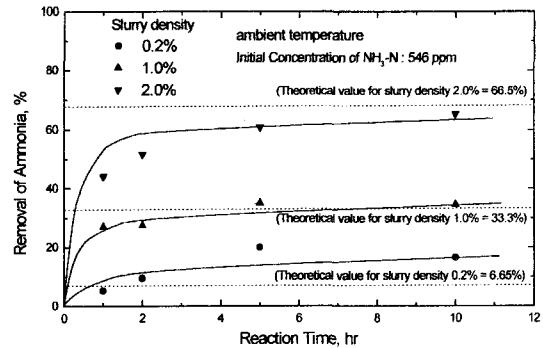


**Fig. 5.** Removal of ammonia by zeolite depending on the slurry density. (initial concentration of NH<sub>3</sub>-N : 108 ppm)

즉, 수용액중의 암모니움 이온과 zeolite의 양이온과의 치환반응을 통한 암모니아 제거이외에 그 양이 작기는 하나 zeolite에 의한 암모니아 제거가 이루어진다는 것을 의미하고 있다. 이와 같은 이온교환반응 이외의 암모니아 제거는 일반적인 광물질이 가지고 있는 물리적 흡착력에 기인하는 것으로 풀이되고 있으며, 따라서 실제로 zeolite에 의한 수용액중의 총괄 암모니아 제거율은 양이온과의 치환을 통한 제거율과 단순 흡착에 의한 제거율과의 합으로 표시될 수 있을 것으로 생각된다.

Fig. 5에서 점선으로 표시한 암모니아 제거율 33.6%는 zeolite 0.2% 첨가시 C.E.C. 이론치를 기준으로 순수하게 이온교환반응으로 제거할 수 있는 암모니아 제거율을 나타낸 것으로써, 실제 실험치는 반응시간 10시간 경과 후 이론치를 약간 상회하는 것으로 나타나고 있다. 따라서, 이와 같은 암모니아 제거율은 순수 이온교환에 의한 것 이외에 앞에서 언급한 바와 같이 zeolite에 의한 물리적 흡착도 기여하고 있는 것으로 추정되었다. 한편, zeolite의 첨가량을 1.0% 및 2.0%로 증가시키는 경우에 있어서는 이론적으로는 100%까지 암모니아를 제거하여야 하나 실제로는 이에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이것은 치환반응이 진행되면서 수용액중 암모니아 농도가 급속히 낮아짐에 따라 zeolite 내의 양이온과의 치환반응에 필요한 driving force가 부족하였기 때문인 것으로 사료되고 있으며, 따라서 zeolite를 사용하여 수용액중 암모니아를 어느 농도 이하로 제거하기는 곤란할 것으로 생각된다.

Fig. 6은 초기 NH<sub>3</sub>-N 농도를 546 ppm으로 증가시켜 zeolite에 의한 암모니아 제거율을 조사한 것으로써, 앞에서와 마찬가지로 반응시간 2시간 이후에도 완만하



**Fig. 6.** Removal of ammonia by zeolite depending on the slurry density. (initial concentration of NH<sub>3</sub>-N : 546 ppm)

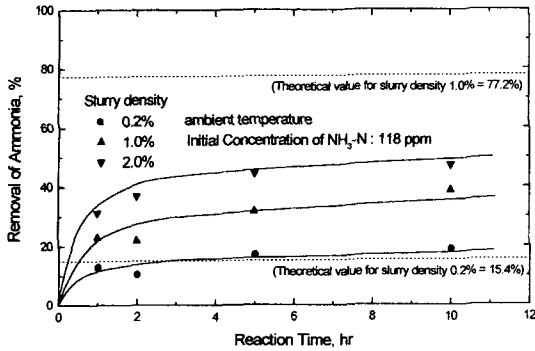


Fig. 7. Removal of ammonia by bentonite depending on the slurry density. (initial concentration of  $\text{NH}_3\text{-N}$ : 118 ppm)

게 제거율이 상승하는 현상을 보이고 있다. 특히, slurry density 0.2% 및 1.0%에서는 점선으로 표시한 이론치를 약간 상회하는 제거율을 보이고 있어 이온교환을 통한 암모니아 제거와 함께 물리 흡착에 의한 암모니아 제거도 동시에 진행됨을 확인할 수 있었다. 또한, slurry density 2.0%의 경우에도 이론치에는 미치지 못하지만 거의 이론치에 근접하는 제거율을 나타내고 있어 Fig. 5의 경우와는 다른 양상을 보였다. 이것은 Fig. 5와는 달리 수용액중 암모니아 농도가 일정 수준 이상을 유지하고 있기 때문에 zeolite가 가지고 있는 양이온과의 치환반응이 거의 이론치에 근접하게 수행됨을 나타내는 것으로 사료된다.

Fig. 7은 bentonite를 사용하여 초기  $\text{NH}_3\text{-N}$  농도 118 ppm의 암모니아 수용액으로부터 암모니아 제거실험을 실시한 결과로써, zeolite와 마찬가지로 반응시간 2시간 이후에도 암모니아 제거율은 완만하게 증가하는 것으로 나타났다. 따라서, bentonite의 경우에도 zeolite와 같이 순수 이온교환반응에 의한 암모니아 제거와 함께 물리 흡착에 의해서도 수용액중의 암모니아가 제거되는 것으로 사료되었으며, 이것은 slurry density 0.2%의 이론치인 15.4%를 상회하는 것으로도 확인할 수 있었다. 그러나, bentonite에 의한 암모니아 제거효과는 zeolite보다 낮은 것으로 나타났는데, slurry density 1.0%의 이론치는 77.2%임에도 불구하고 실제로는 이에 훨씬 못미치는 40% 미만의 제거율을 보였다. 이는 수용액중 암모니아 농도가 낮아 driving force가 낮은 것을 감안하여도 zeolite에 비해 매우 낮은 수치로써, bentonite에 의한 암모니아 제거는 zeolite에 비해 효과가 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

zeolite와 bentonite 분말시료를 사용하여 수용액중의 암모니아 성분을 제거하기 위한 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 암모니아 수용액 초기 pH는 암모니아 함량에 따라 pH 5.5~5.7 범위이었으며, zeolite와의 반응으로 pH 7.0 부근으로 상승하였고, bentonite의 경우에는 pH 상승폭이 더욱 커 약 pH 8.5까지 상승하는 것으로 관찰되었다.
2. 시료의 X-선 회절결과 zeolite는 clinoptilolite가 주 구성광물이고 장석류와 석영이 일부 혼합되어 있었다. bentonite의 경우에는 montmorillonite가 주 구성광물이고 석영피크가 같이 관찰되었다. SEM 사진관찰 결과 zeolite와 bentonite 입자형태는 각이진 것보다는 등근모양의 입자가 많았으며, 입도 크기는 30  $\mu\text{m}$  미만의 입자가 대부분이었다.
3. ammonium acetate 침출에 의한 zeolite와 bentonite의 C.E.C. 측정결과 침출시작 후 약 2시간내에 거의 모든 양이온들이 용출되었으며, 이때 C.E.C. 값은 zeolite가 129.7 meq/100 gr을 또한 bentonite가 65.1 meq/100 gr인 것으로 나타났다. 또한, C.E.C. 비율에 있어서 Na가 차지하는 비율이 zeolite는 55.0%, bentonite는 61.0%로써 가장 많은 비중을 차지하였다.
4. 수용액중의 암모니아 제거시 반응시작 후 2시간 이후에도 완만하게 제거율이 상승하는 현상을 볼 수 있었으며, 총괄 암모니아 제거율은 순수 이온교환반응에 의한 것과 함께 물리적 흡착에 의한 제거율과의 합으로 나타났다.
5. zeolite에 의한 암모니아 제거시 치환반응이 진행되면서 수용액중 암모니아 농도가 낮아짐에 따라서 이론적 제거율에 미치지 못하는 현상을 관찰할 수 있었으며, bentonite를 사용하여 암모니아를 제거하고자 하는 경우에는 zeolite보다 제거효과가 떨어지는 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

1. J. H. Stultz and D. L. Bice : "Ammonia removal", US Patent 5,635,077 (1997).
2. J. F. Zibrida : "Removal of ammonia from wastewater", US Patent 4,689,156 (1987).
3. E. E. Maier : "Process for removing ammonia and acid

gases from process streams”, US Patent 4,594,131 (1986).

4. N. A. Booker, E. L. Cooney and A. J. Priestley : “Ammonia removal from sewage using natural Australian zeolite”, Wat. Sci. Tech., v. 34, 17-24 (1996).
5. M. Rozic et al. : “Ammoniacal nitrogen removal from water by treatment with clays and zeolites”, Wat. Res., v. 34, 3675-3681 (2000).
6. O. Lahav and M. Green : “Ammonium removal using ion exchange and biological regeneration”, Wat. Res., v. 32, 2019-2028 (1998).
7. M. Green et al. : “Biological-ion exchange process for ammonium removal from secondary effluent”, Wat. Sci. Tech., v. 34, 449-458 (1996).
8. S. E. Jorgensen et al. : “Ammonia removal by use of clinoptilolite”, Wat. Res., v. 10, 213-224 (1976).
9. R. Cintoli et al. : “Ammonim uptake by zeolite and treatment in UASB reactor of piggery wastewater”, Wat. Sci. Tech., v. 32, 73-81 (1995).
10. G. C. C. Yang and T. Y. Yang : “Synthesis of zeolites from municipal incinerator fly ash”, J. Hazard. Mater., v. 62, 75-89 (1998).

**李 華 永**

- 현재 한국과학기술연구원 금속공정연구센터 책임연구원
- 본 학회지 제9권 2호, 제10권 4호 참조

**金 成 奎**

- 현재 한국과학기술연구원 금속공정연구센터 책임연구원
- 본 학회지 제9권 2호, 제10권 4호 참조

**吳 鐘 基**

- 현재 한국과학기술연구원 금속공정연구센터 책임연구원
- 본 학회지 제9권 2호, 제10권 4호 참조



**高 鉉 伯**

- 1991년 한양대 환경공학과 석사
- 현재 (주)세화환경 환경기술연구소 소장