

## 합성유기질소 성분에서의 염소 소독부산물 생성 특성

### Characteristics of Chlorination Byproduct Formation of Synthetic Nitrogenous Compounds

손희종<sup>†</sup> · 황영도 · 노재순 · 빈재훈  
 Hee-Jong Son<sup>†</sup> · Young-Do Hwang · Jae-Soon Roh · Jae-Hoon Bean

부산광역시 상수도사업본부 수질연구소  
*Water Quality Research Institute, Waterworks Headquarter, Busan*

(2010년 1월 14일 접수, 2010년 4월 8일 채택)

**ABSTRACT** : This study was conducted to analyze and determine formation potentials for chlorination disinfection by-products (DBPs) from 14 synthetic nitrogen compounds with or without Br<sup>-</sup>. 5 of 14 compounds were 3-aminobenzoic acid, 2-aminophenol, aniline, anthranilic acid and 4-nitroaniline that were relatively shown high for formation of THMs/DOC whether or not Br<sup>-</sup> presented. 6 compounds that were p-nitrophenol, 3-aminobenzoic acid, 2-aminophenol, aniline, anthranilic acid and 4-nitroaniline were shown high for formation of haloacetic acids (HAAs)/DOC whether or not Br<sup>-</sup> presented. Trichloroacetic acid (TCAA) was dominated in 6 compounds. The formation of haloacetoneitriles (HANs)/DOC whether or not Br<sup>-</sup> presented was high in 3-aminobenzoic acid, 2-aminophenol, aniline and anthranilic acid. Specially, aniline was detected 14.6~16.1 μg/mg. The formation of chloral hydrate (CH)/DOC and chloropicrin (CP)/DOC were shown high in 3-aminobenzoic acid and 2-aminophenol in 14 compounds. 6 compounds (3-aminobenzoic acid, 2-aminophenol, aniline, anthranilic acid, 4-nitroaniline, p-nitrophenol) and a commercial humic acid were tested for the formation of DBPs/DOC whether or not Br<sup>-</sup> presented. When Br<sup>-</sup> was added, the DBPs/DOC was higher for the order of aniline > anthranilic acid > 3-aminobenzoic acid > 4-nitroaniline > humic acid > p-nitrophenol > 2-aminophenol. And when Br<sup>-</sup> was not added, the DBPs/DOC was higher for the order of anthranilic acid > aniline > p-nitrophenol > humic acid > 4-nitroaniline > 3-aminobenzoic acid > 2-aminophenol.

**Key Words** : Chlorination By-Products, Synthetic Nitrogenous Compounds, Trihalomethane, Haloacetic acid, Haloacetoneitrile, Chloral Hydrate

**요약** : 14종의 합성유기질소 화합물에서의 염소 소독부산물 생성 특성을 조사한 결과, 단위 DOC당 THM 생성능은 Br<sup>-</sup> 첨가 유무에 관계없이 3-aminobenzoic acid, 2-aminophenol, aniline, anthranilic acid 및 4-nitroaniline에서 높게 나타났다. 단위 DOC당 HAA 생성능 조사결과, Br<sup>-</sup> 첨가 유무에 관계없이 단위 DOC당 THM 생성능과 유사한 생성특성을 보였으나 특이하게 p-nitrophenol에서 가장 높은 생성능을 나타내었으며, 생성된 HAAFP의 대부분이 TCAAFP로 나타났다. 단위 DOC당 HAN 생성능은 3-aminobenzoic acid, 2-aminophenol, aniline 및 anthranilic acid에서 Br<sup>-</sup> 첨가 유무에 관계없이 높은 생성능을 나타내었고 다른 합성유기질소 화합물들에 비해 aniline에서 높은 생성능을 보였으며, 반응성이 높은 4종의 합성유기질소 화합물들에서 생성되는 HAN 구성종의 대부분은 DCAN으로 나타났다. 단위 DOC당 chloral hydrate와 chloropicrin의 생성능을 조사결과에서 3-aminobenzoic acid와 2-aminophenol에서 생성능이 높은 것으로 나타났고, 전체적으로 10 mg/μg 이하의 비교적 낮은 생성능을 보였다. 염소 소독부산물 생성능이 높은 6종의 합성유기질소 화합물들과 시판 humic acid에서의 Br<sup>-</sup> 첨가 유무에 따른 단위 DOC 당 총 DBP 생성능을 조사한 결과에서 Br<sup>-</sup>를 첨가한 경우는 aniline > anthranilic acid > 3-aminobenzoic acid > 4-nitroaniline > humic acid > p-nitrophenol > 2-aminophenol 순으로 나타났고, Br<sup>-</sup>를 첨가하지 않은 경우는 anthranilic acid > aniline > p-nitrophenol > humic acid > 4-nitroaniline > 3-aminobenzoic acid > 2-aminophenol 순으로 조사되었다. 또한, aniline, anthranilic acid, 4-nitroaniline 및 p-nitrophenol의 경우는 염소와의 반응성이 아주 높은 것으로 조사되었다.

**주제어** : 염소 소독부산물, 합성유기질소 화합물, 트리할로메탄, 할로아세트 에시드, 할로아세트니트릴, 클로랄하이드레이트

<sup>†</sup>Corresponding author : E-mail : menuturk@hanmail.net Tel : 051-669-4625 Fax : 055-323-4719

## 1. 서론

국내의 정수장에서는 원수 중에 함유되어 있는 유기물질의 산화나 정수공정 구조물 및 배급수관망에서 미생물 성장을 억제하기 위해 대부분 소독 공정을 채택하고 있으며, 소독제로는 사용의 간편성 및 오랜 잔류성 때문에 대부분 염소를 사용하고 있다.

염소는 수중의 유기물질과 반응하여 인체에 유해한 소독 부산물을 생성하며<sup>1,2)</sup>, 이들의 종류는 400여종 이상으로 보고되고 있다.<sup>3)</sup> 따라서, 염소 소독부산물에 대해서는 국내외적으로 법적규제를 가하고 있으며, 이런 염소 소독부산물에 대한 규제는 점점 강화되는 추세이다.<sup>4)</sup>

수중의 유기화합물과 염소는 매우 복잡한 메카니즘으로 반응한다. 염소 소독부산물 생성에 영향을 미치는 인자로는 수중에 존재하는 유기화합물의 특성, Br<sup>-</sup> 농도, pH, 반응시간, 온도 및 염소 농도 등이다.<sup>5)</sup> 수중의 유기물질은 다양한 유기화합물의 혼합체로 존재하며, 크기, 화학적 조성구조, 관능기 및 고분자전해질의 특성 등은 수중 유기물질의 유래와 오래된 정도에 따라 많은 차이를 나타낸다.<sup>6)</sup> 또한, Br<sup>-</sup> 존재시 HOBr이 생성되며, HOBr은 수중의 유기물질과의 빠른 반응성<sup>7)</sup>으로 인해 브롬화된 소독부산물 종들의 생성을 유도한다.<sup>8)</sup> 이런 다양한 소독부산물 생성인자 및 유기물질의 구조적 특성이 소독부산물 생성에 미치는 영향에 대한 다양한 연구들이 많이 진행중이다.<sup>9~11)</sup>

염소 소독부산물들은 수중의 유기물질과 염소가 반응해서 생성되며, 트리할로메탄(trihalomethanes, THMs), 할로아세트익에시드(haloaceticacids, HAAs), 할로아세토니트릴(haloacetonitriles, HAN), 클로랄하이드레이트(chloral hydrate, CH) 및 클로로피크린(chloropicrin, CP) 등이 많이 생성되는 것으로 알려져 있다.<sup>12)</sup> 가장 생성량이 많은 THMs이나 HAAs는 탄소를 함유한 유기물질과 염소와의 반응에 의해 일반적으로 생성되며<sup>13)</sup>, HANs나 CP는 질소를 함유한 유기질소 화합물과 염소와의 반응에 의해 생성된다.<sup>14)</sup> THMs나 HAAs는 암을 유발할 가능성이 있는 물질로 알려져 있으며,<sup>1)</sup> HANs는 포유동물의 세포에 유전자 독성(genotoxicity) 및 돌연변이를 유발한다고 알려져 있다.<sup>15)</sup> 또한, 유기질소 화합물 중에 함유된 질소성분이 소독부산물의 독성을 증가시킨다는 연구 보고도 있다.<sup>16)</sup> Krasner 등<sup>17)</sup>과 Oliver<sup>18)</sup>는 HANs의 생성량이 THMs의 10% 수준으로 보고하고 있어 발생량은 높지 않은 것으로 나타나고 있다.

유기질소 물질들은 자연수 중에 많이 존재한다. 동물이나 인간의 뇨(urine)와 변 성분, 단백질과 펩타이드의 가수분해

로 생성되는 아미노산류(amino acids), 그 외의 합성유기물질 등으로 나뉘어지며<sup>19)</sup>, 이러한 유기질소 물질들은 다양한 경로를 거쳐 상수원수에 도달하며, 이들은 염소와의 반응성이 암모니아성 질소 보다 100배 이상 빠른 것으로 보고되고 있으며<sup>19)</sup>, 염소와 반응하여 DBPs을 생성한다고 알려져 있다.<sup>19~21)</sup>

따라서 본 연구에서는 14종의 합성유기질소 화합물들을 대상으로 염소처리에 의해 생성되는 THMs, HAAs, HANs, CH 및 CP에 대하여 Br<sup>-</sup> 존재 유무에 따른 생성특성을 조사하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1. 실험 재료

본 실험에 사용된 합성유기질소 성분들은 총 14종으로 순도 99% 이상의 특급시약(Sigma-aldrich, U.S.A.)을 사용하였으며, 14종의 합성유기질소 성분들과의 소독부산물 생성능을 비교하기 위해 사용된 humic acid는 sigma-aldrich社 제품을 사용하였다. 실험에 사용된 14종의 합성유기질소 성분들의 분자식, 분자량 및 등을 Table 1에 나타내었으며, 각각의 분자구조들은 Fig. 1에 나타내었다.

### 2.2. 실험 방법

순수에 2 mgC/L의 농도로 용해시킨 14종의 합성유기질소 성분들 및 humic acid를 깨끗이 세척한 각각 30개의 300 mL BOD병에 주입하였다. 한 세트 (300 mL BOD병 14개/세트)에는 KBr(Sigma-aldrich社)을 이용하여 Br<sup>-</sup> 농도가

**Table 1.** Classification of synthetic nitrogenous compounds

Compound	Formula	M.W.	CAS. No..
Acetanilide	C <sub>8</sub> H <sub>9</sub> NO	135.17	103-84-4
3-Aminobenzoic acid	C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub>	137.14	99-05-8
2-Aminophenol	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> NO	109.13	95-55-6
Aniline	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	93.13	62-53-3
Anthranilic acid	C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub>	137.14	118-92-3
2,4-Dinitrophenylhydrazine	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> N <sub>4</sub> O <sub>4</sub>	198.14	119-26-6
Diethylamine	C <sub>4</sub> H <sub>11</sub> N	73.14	109-89-7
4-Hydroxypyridine	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> NO	95.10	626-64-2
4-Nitroaniline	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	138.13	100-01-6
p-Nitrophenol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>3</sub>	139.11	100-02-7
Pyridine	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N	79.10	110-86-1
3-Pyridinepropanol	C <sub>8</sub> H <sub>11</sub> NO	137.18	2859-67-8
4-Pyridinealldoxime	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub> O	122.13	696-54-8
Triethylamine	C <sub>6</sub> H <sub>15</sub> N	101.19	121-44-8

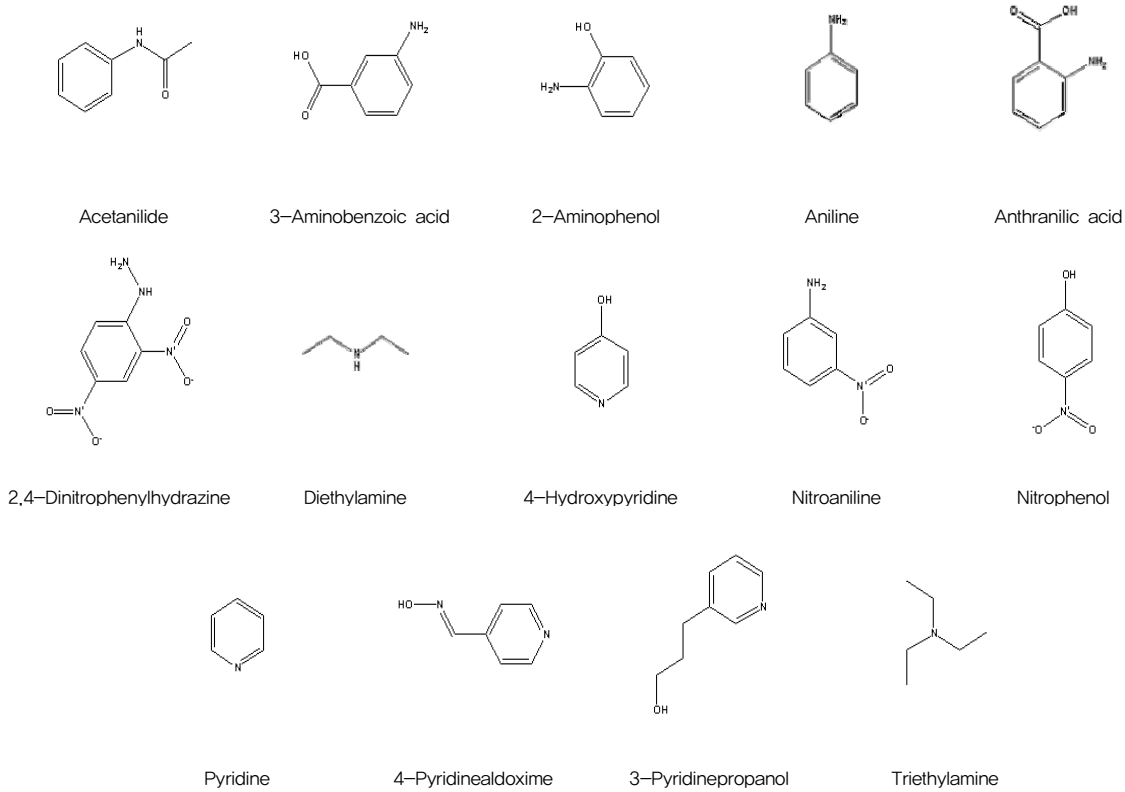


Fig. 1. The structure of synthetic nitrogen compounds used in this study.

500  $\mu\text{g/L}$ 의 농도로 투입하였으며, 다른 한 세트에는  $\text{Br}^-$ 를 투입하지 않았다. 염소처리에는 10% 차아염소산나트륨 용액 (Samchun Chemical, Korea)을 이용하였으며, 차아염소산 나트륨 용액을 10,000  $\text{mgCl/L}$ 의 농도로 희석하여 합성유기 질소 성분이 함유된 BOD병에 20  $\text{mgCl/L}$ 의 농도로 주입한 후 인산 (1+10)과 10% NaOH를 사용하여 pH를 6.8~7.2로 조절하여 20 $^{\circ}\text{C}$  암소에서 24시간 동안 염소와 반응시켰다.

염소 소독부산물 분석은 THM 생성능 (formation potential, FP)의 경우 head-space auto-sampler가 부착된 GC/ $\mu\text{ECD}$  (Agilent 6890N, U.S.A.)를 사용하여 분석하였으며, HAAFP는 US EPA method 552.3에 근거<sup>22)</sup>하여 GC/ $\mu\text{ECD}$  (Agilent 6890N, U.S.A.)를 사용하여 분석하였다. 또한, HANFP, CHFP 및 CPFPP는 US EPA method 551.1에 근거<sup>23)</sup>하여 GC/ $\mu\text{ECD}$  (Agilent 6890N, U.S.A.)를 사용하여 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

14종의 합성유기질소 성분들에서의  $\text{Br}^-$  첨가 유무에 따른

단위 DOC당 소독부산물 생성능( $\mu\text{g/mg}$ ) 조사결과를 Fig. 2 ~Fig. 5에 나타내었다. 14종의 합성유기질소 성분들에서의  $\text{Br}^-$  첨가 유무에 따른 단위 DOC당 THM 생성능 (THMFP/DOC)을 조사한 Fig. 2를 보면  $\text{Br}^-$  첨가 유무에 관계없이 3-aminobenzoic acid, 2-aminophenol, aniline, anthranilic acid 및 4-nitroaniline에서 THMFP/DOC가 높게 나타나고 있고, 다른 8종의 합성유기질소 성분들과는 매우 큰 반응성(THMFP/DOC) 차이를 나타내고 있다.

$\text{Br}^-$ 를 첨가하지 않은 경우의 THMFP (chloroformFP, CFFP)/DOC를 비교해보면 aniline이 81.1  $\mu\text{g/mg}$ 으로 가장 높은 생성능을 나타내었으며, 다음으로 3-aminobenzoic acid가 62.8  $\mu\text{g/mg}$ , 4-nitroaniline이 43.3  $\mu\text{g/mg}$ , anthranilic acid가 33.6  $\mu\text{g/mg}$ , 2-aminophenol이 25.6  $\mu\text{g/mg}$ 으로 나타났다.  $\text{Br}^-$ 가 첨가된 경우에도 반응성이 높은 물질순은  $\text{Br}^-$ 를 첨가하지 않은 경우와 같이 나타났지만 THMFP/DOC는 2~3배 정도 높게 나타났다.

$\text{Br}^-$ 를 첨가한 경우의 3-aminobenzoic acid, 2-aminophenol, aniline, anthranilic acid 및 4-nitroaniline에서 생성된 THMFP/DOC의 THMFP의 중 분포를 보면 가장 높은 생성능을 보인 aniline은 93.6%가 브롬화 반응에 의해서 생성되는

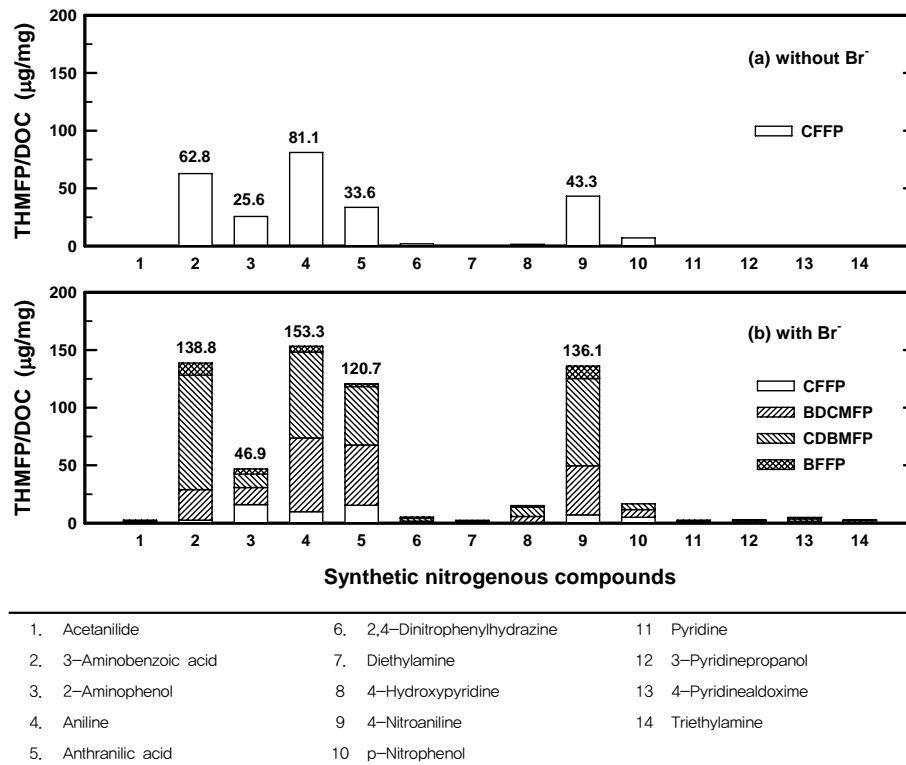


Fig. 2. THMF (µg/mg) after chlorination of synthetic nitrogenous compounds for 24 hour without (a) and with (b) bromide ion (0.5 mgBr/L).

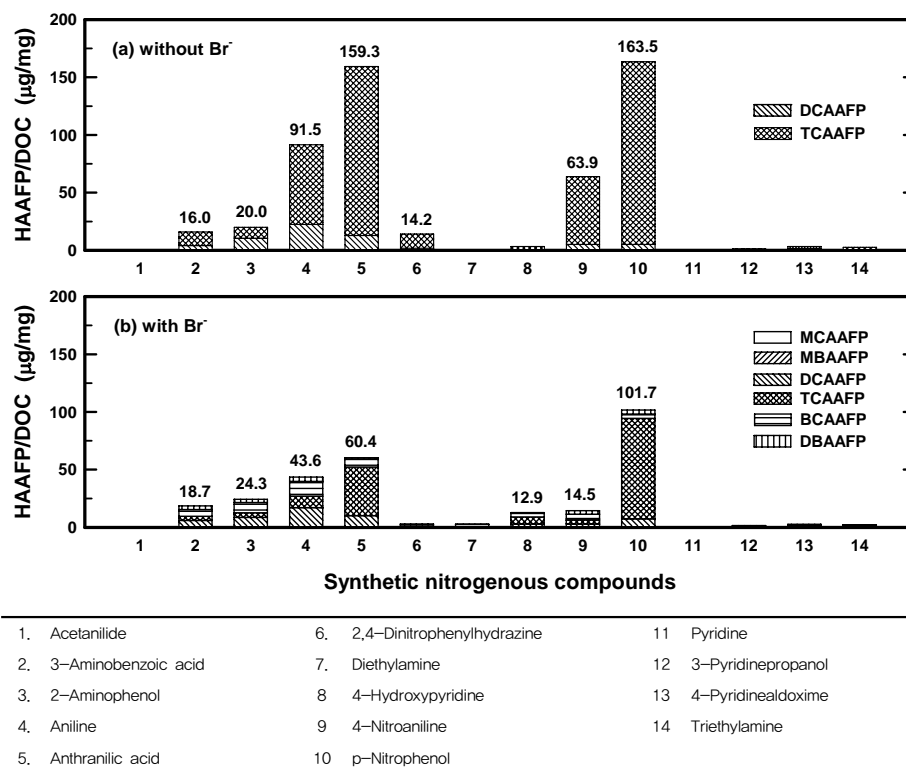


Fig. 3. HAAFP (µg/mg) after chlorination of synthetic nitrogenous compounds for 24 hour without (a) and with (b) bromide ion (0.5 mgBr/L).

중으로 나타났으며, bromodichloromethaneFP (BDCMFP)/DOC와 chlorodibromomethaneFP (CDBMFP)/DOC가 THMF/DOC의 90.3%를 차지하였다. 3-aminobenzoic acid의 경우도 98.2%가 브롬화 반응에 의해서 생성되는 종 이었고, CDBMFP/DOC가 THMF/DOC의 71.5%를 차지하는 것으로 나타났다. 2-aminophenol, anthranilic acid 및 4-nitroaniline에서도 이와 유사한 경향을 나타내었다.

14종의 합성유기질소 화합물들에서의 Br<sup>-</sup> 첨가 유무에 따른 단위 DOC당 HAA 생성능 (HAAFP/DOC)을 조사한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 단위 DOC당 THM 생성능 (THMF/DOC)이 높았던 3-aminobenzoic acid, 2-aminophenol, aniline, anthranilic acid 및 4-nitroaniline 뿐만 아니라 *p*-nitrophenol에서도 Br<sup>-</sup> 첨가 유무에 관계없이 높은 HAAFP/DOC를 나타내었다.

Br<sup>-</sup>를 첨가하지 않은 경우 (Fig. 3a)는 *p*-nitrophenol에서 HAAFP/DOC가 163.5 µg/mg으로 나타나 가장 높은 반응성을 보였고, 다음으로 anthranilic acid (159.3 µg/mg), aniline (91.5 µg/mg), 4-nitroaniline (63.9 µg/mg), 2-aminophenol (20.0 µg/mg), 3-aminobenzoic acid (16.0 µg/mg), 2,4-dinitrophenylhydrazine (14.2 µg/mg)

순으로 나타났다. 또한, Br<sup>-</sup>를 첨가한 경우 (Fig. 3b)도 *p*-nitrophenol에서 101.7 µg/mg으로 가장 높은 반응성을 보였고, 다음으로 anthranilic acid (60.4 µg/mg), aniline (43.6 µg/mg), 2-aminophenol (24.3 µg/mg), 3-aminobenzoic acid (18.7 µg/mg), 4-nitroaniline (14.5 µg/mg), 4-hydroxypyridine (12.9 µg/mg) 순으로 나타났다.

그리고 Br<sup>-</sup>를 첨가한 경우에는 Br<sup>-</sup>를 첨가하지 않은 경우보다 HAAFP/DOC가 감소되는 경향을 나타내어 Fig. 2에 나타난 THMF/DOC와는 반대의 경향을 나타내었고, *p*-nitrophenol과 anthranilic acid는 Br<sup>-</sup>를 첨가한 경우에도 TCAAFP가 전체 HAAFP에서 차지하는 비율이 각각 85.7%와 69.7%로 나타나 브롬화 반응에 크게 의존하지 않는 것으로 나타났다. 또한, Br<sup>-</sup>를 첨가하지 않은 경우에 HAAFP/DOC의 대부분이 TCAAFP/DOC로 나타나고 있어 DCAA 생성 반응 보다 TCAA 생성 반응이 훨씬 우세한 것으로 나타났다.

14종의 합성유기질소 화합물들에서의 Br<sup>-</sup> 첨가 유무에 따른 단위 DOC당 HAN 생성능 (HANFP/DOC)을 조사한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. THMF/DOC와 HAAFP/DOC에 비해서는 아주 낮은 생성능을 나타내고 있다. 비교적 높은 HANFP/DOC을 나타내는 합성유기질소 화합물들로는

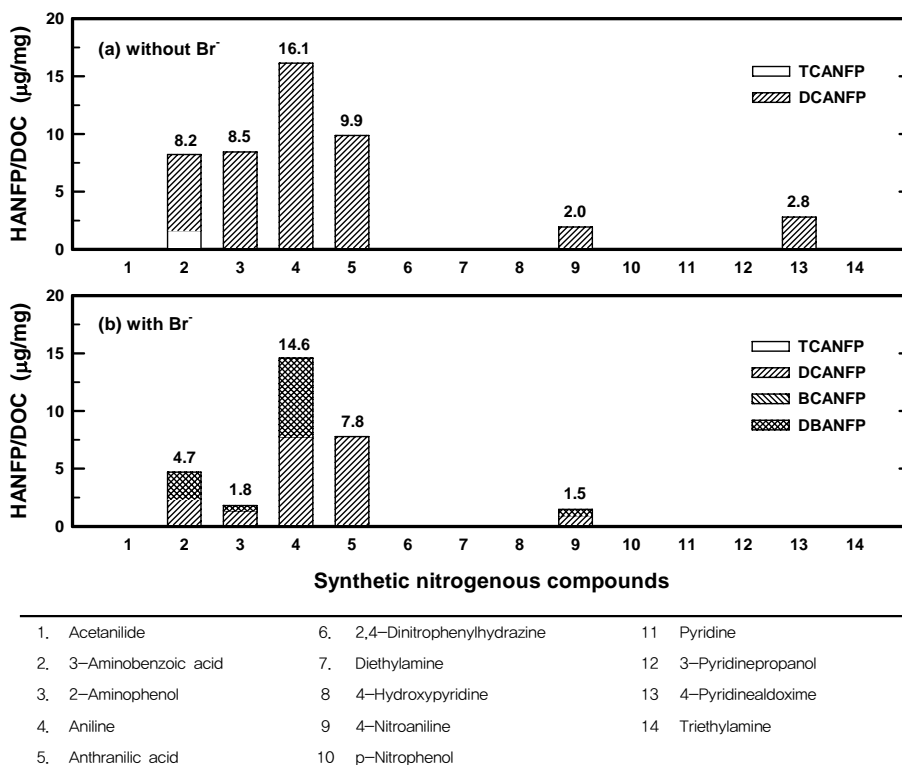


Fig. 4. HANs formation potentials (µg/mg) after chlorination of synthetic nitrogenous compounds for 24 hour without (a) and with (b) bromide ion (0.5 mgBr/L).

3-aminobenzoic acid, 2-aminophenol, aniline 및 anthranilic acid 등이 있고, aniline이 Br<sup>-</sup> 첨가 유무에 관계없이 14.6~16.1 µg/mg으로 나타나 가장 높은 HANFP/DOC를 나타내었고 Br<sup>-</sup>를 첨가한 경우에도 DCANFP/DOC가 50%를 차지하였다. 또한, anthranilic acid의 경우도 Br<sup>-</sup>첨가시 브롬화 반응한 HAN의 생성은 전혀 없었다.

14종의 합성유기질소 화합물들 중에서 비교적 염소 소독 부산물 생성능이 높은 6종의 화합물들과 시판 humic acid에서의 Br<sup>-</sup> 첨가 유무에 따른 단위 DOC 당 DBP 생성능을 조사한 결과를 Table 2에 나타내었다. 단위 DOC당 총 염소 소독 부산물 생성능 (T-DBPFP/DOC)을 조사한 결과, Br<sup>-</sup>를 첨가하지 않은 경우에는 anthranilic acid가 206.8 µg/mg으로 가장 높은 생성능을 나타내었고, 다음으로 aniline (195.6 µg/mg), p-nitrophenol (177.3 µg/mg), 4-nitroaniline (115.1 µg/mg), 3-aminobenzoic acid (95.6 µg/mg), 2-aminophenol (64.4 µg/mg) 순으로 나타났으며, 대표적인 염소 소독 부산물 전구물질로 알려진 humic acid의 경우는 123.5 µg/mg으로 나타났다.

또한, Br<sup>-</sup> 첨가시에는 aniline이 215.5 µg/mg으로 가장 높은 생성능을 나타내었고, 다음으로 anthranilic acid (192.3 µg/mg), 3-aminobenzoic acid (168.9 µg/mg), 4-nitroaniline (156.2 µg/mg), p-nitrophenol (124.4 µg/mg), 2-aminophenol (86.8 µg/mg) 순으로 나타났고, humic acid의 경우는 140.7 µg/mg으로 나타났다.

Aniline, 4-nitroaniline 및 2-aminophenol의 경우는 주요 염소 소독 부산물인 THM과 HAA의 생성능이 거의 동일하게 나타난 반면, anthranilic acid와 p-nitrophenol에서는 HAAFP/DOC가 THMFP/DOC에 비해 높게 나타났으며, 3-aminobenzoic acid의 경우는 반대로 THMFP/DOC가 66% 정도로 많은 비율을 차지하였다. 또한, humic acid의 경우는 Br<sup>-</sup> 첨가유무에 상관없이 생성된 T-DBPFP/DOC의 대부분이 THM과 HAA인 것으로 나타났으며, aniline, anthranilic acid, 4-nitroaniline 및 p-nitrophenol의 경우는 THMFP/DOC와 HAAFP/DOC의 합이 humic acid와 유사하거나 높게 나타나 염소와의 반응성이 아주 높은 것으로 조사되었다.

CHFP/DOC와 CPFP/DOC의 경우 Br<sup>-</sup> 첨가 유무에 관계없이 3-aminobenzoic acid와 2-aminophenol에서 가장 높은 생성능을 나타내었고 humic acid의 3.3~4.7 µg/mg 보다 높은 생성능을 보였다.

Fig. 5는 실험에 사용된 3-aminobenzoic acid, 2-aminophenol, aniline, anthranilic acid, 4-nitroaniline, 및 p-nitrophenol에 대해 Br<sup>-</sup> 첨가 유무에 따른 THMFP/DOC와 HAAFP/DOC의 변화를 조사하였다. 위의 6종을 제외하고는 THMFP/DOC와 HAAFP/DOC가 아주 낮았기 때문에 위의 6종을 중심으로 평가를 하였다. 전체적으로 보면 Br<sup>-</sup>를 첨가하기 전에는 THMFP/DOC 보다 HAAFP/DOC가 높게 나타났으나, Br<sup>-</sup> 첨가시에는

**Table 2.** Total DBP formation potentials (µg/mgC) after chlorination of synthetic nitrogen compounds for 24 hour without (a) and with (b) bromide ion (0.5 mgBr/L).

(a) Without Br<sup>-</sup> (unit : µg/mg · C)

	3-Aminobenzoic acid	2-Aminophenol	Aniline	Anthranilic acid	4-Nitroaniline	p-Nitrophenol	Humic acid
THMFP/DOC	62.8	25.6	81.1	33.6	43.3	7.1	40.1
HAAFP/DOC	16.0	20.0	91.5	159.3	63.9	163.5	77.7
HANFP/DOC	8.2	8.5	16.1	9.9	2.0	0	0.3
CHFP/DOC	8.2	9.9	6.5	3.5	4.4	5.2	4.7
CPFP/DOC	0.4	0.4	0.4	0.5	1.5	1.5	0.7
T-DBPFP/DOC	95.6	64.4	195.6	206.8	115.1	177.3	123.5

(b) With Br<sup>-</sup> (unit : µg/mg · C)

	3-Aminobenzoic acid	2-Aminophenol	Aniline	Anthranilic acid	4-Nitroaniline	p-Nitrophenol	Humic acid
THMFP/DOC	138.8	46.9	153.3	120.7	136.1	16.7	85.8
HAAFP/DOC	18.7	24.3	43.6	60.4	14.5	101.7	50.2
HANFP/DOC	4.7	1.8	14.6	7.8	1.5	0	0.2
CHFP/DOC	6.4	7.0	3.6	3.0	3.6	5.0	3.3
CPFP/DOC	0.3	6.8	0.4	0.4	0.5	1.0	1.2
T-DBPFP/DOC	168.9	86.8	215.5	192.3	156.2	124.4	140.7

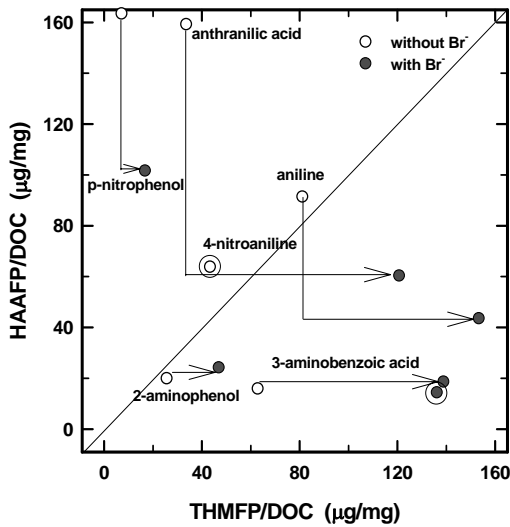


Fig. 5. Chlorination of synthetic nitrogen compounds : relationship between THMFP/DOC and HAAFP/DOC.

2-aminophenol과 3-aminobenzoic acid를 제외하고는 HAAFP/DOC는 감소하고, THMFP/DOC는 큰 폭으로 증가하는 경향을 나타내었으며, 2-aminophenol과 3-aminobenzoic acid의 경우는 HAAFP/DOC는 거의 변화가 없었고 THMFP/DOC만 증가하는 경향을 보였다. 따라서 합성유기질소 화합물 6종의 경우는 염소 처리시 수중에 Br⁻가 존재할 경우는 브롬화 반응에 의해서 HAA 생성 보다는 THM 생성 메카니즘이 우세한 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

14종의 합성유기질소 화합물에서의 염소 소독부산물 생성 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 단위 DOC당 THM 생성능은 Br⁻ 첨가 유무에 관계없이 3-aminobenzoic acid, 2-aminophenol, aniline, anthranilic acid 및 4-nitroaniline에서 높게 나타났고 나머지 9종에서는 낮은 생성능을 나타내었다.
- 2) 단위 DOC당 HAA 생성능은 Br⁻ 첨가 유무에 관계없이 단위 DOC당 THM 생성능과 유사한 생성특성을 보였으나 특이하게 p-nitrophenol에서 가장 높은 생성능을 나타내었으며, 생성된 HAAFP의 대부분이 TCAAFP로 나타났다.
- 3) 단위 DOC당 HAN 생성능은 3-aminobenzoic acid,

2-aminophenol, aniline 및 anthranilic acid에서 Br⁻ 첨가 유무에 관계없이 높은 생성능을 나타내었고 다른 합성유기질소 화합물들에 비해 aniline에서 높은 생성능을 보였으며, 반응성이 높은 4종의 합성유기질소 화합물들에서 생성되는 HAN 구성종의 대부분은 DCAN으로 나타났다.

- 4) 단위 DOC당 chloral hydrate와 chloropicrin의 생성능을 조사결과에서 3-aminobenzoic acid와 2-aminophenol에서 생성능이 높은 것으로 나타났고, 전체적으로 10 mg/µg 이하의 비교적 낮은 생성능을 보였다.
- 5) 염소 소독부산물 생성능이 높은 6종의 합성유기질소 화합물들과 시판 humic acid에서의 Br⁻ 첨가 유무에 따른 단위 DOC 당 총 DBP 생성능을 조사한 결과에서 Br⁻를 첨가한 경우는 aniline > anthranilic acid > 3-aminobenzoic acid > 4-nitroaniline > humic acid > p-nitrophenol > 2-aminophenol 순으로 나타났고, Br⁻를 첨가하지 않은 경우는 anthranilic acid > aniline > p-nitrophenol > humic acid > 4-nitroaniline > 3-aminobenzoic acid > 2-aminophenol 순으로 조사되었다. 또한, aniline, anthranilic acid, 4-nitroaniline 및 p-nitrophenol의 경우는 THMFP/DOC와 HAAFP/DOC의 합이 humic acid와 유사하거나 높게 나타나 염소와의 반응성이 아주 높은 것으로 조사되었다.

KSEE

#### 참고문헌

1. Zavaleta, J. O., Hauchman, F. S. and Cox, M. W., "Epidemiology and toxicology of disinfection by-products," *Formation and Control of Disinfection By-Products in Drinking Water*, Singer, P. C.(Ed), American Water Works Association, Denver, pp. 95~117(1999).
2. Craun, G. F., Bull, R. J., Clark, R. M., Doull, J., Grabow, W., Marsh, G. M., Okun, D. A., Regli, S., Sobsey, M. D. and Symons, J. M., "Balancing chemical and microbial risks of drinking water disinfection. part I. benefits and potential risks," *Water Supply: Research & Technology-Aqua*, **43**, 192~199 (1994).
3. Fawell, J., Robinson, D., Bull, R., Birnbaum, L., Boorman, G., Butterworth, B., Daniel, P., Galal-Gorchev, H., Hauchman, F.,

- Julkunen, P., Klaassen, C., Krasner, S., Orme-Zavaleta, J., Rief, J. and Tardiff, R., "Disinfection by-products in drinking water: critical issues in health effects research," *Environ. Health Perspect.*, **105**(1), (1997).
4. Hargette, P., Budd, G. and Cline, M., "Strategies at Charleston CPW for compliance with DBP regulations," *Proceedings of AWWA 2004 Annual Conference*, June 13~17, Orlando, Florida, (2004).
5. Krasner, S. W. "Chemistry of disinfection by-product formation", *Formation and Control of Disinfection By-Products in Drinking Water*, Singer, P. C.(Ed), American Water Works Association, Denver, pp. 27~52(1999).
6. Chin, Y. P., Aiken, G. O., Loughlin, E. O., "Molecular weight, polydispersity and spectroscopic properties of aquatic humic substances," *Environ. Sci. Technol.*, **28**(11), 1853~1858(1994).
7. Cowman, G. A. and Singer, P. C., "Effect of bromide ion on haloacetic acid speciation resulting from chlorination and chloramination of aquatic humic substances," *Environ. Sci. Technol.*, **30**(1), 16~24(1996).
8. Chang, E. E., Lin, Y. P. and Chiang, P. C., "Effects of bromide on the formation of THMs and HAAs," *Chemosphere*, **43**, 1029~1034(2001).
9. Yang, X. and Shang, C., "Chlorination byproduct formation in the presence of humic acid, model nitrogenous organic compounds, ammonia and bromide," *Environ. Sci. Technol.*, **38**(19), 4995~5001(2004).
10. 손희중, 정철우, 강임석, "상수원수중의 천연유기물질 특성과 염소 소독부산물 생성의 관계," *대한환경공학회지*, **26**(4), 457~466(2004).
11. Goslan, E. H., Jefferson, B., Jarvis, P. R., and Parson, S. A., "Aquatic natural organic matter (NOM): will it form THMs or HAAs?," *Proceedings of IWA World Water Congress*, September 10~14, Beijing, China (2008).
12. Richardson, S. D., "Disinfection by-products and other emerging contaminants in drinking water," *Trends in Analytical Chemistry*, **22**(10), 666~684(2003).
13. Babcock, D. V. and Singer, P. C., "Chlorination and coagulation of humic and fulvic acids," *J. AWWA*, **71**(3), 149(1979).
14. Keith, L. H., Hall, R. C., Hanisch, R. C., Landolt, R. G. and Henderson, J. E., "New methods for analyzing water pollutants," *Water Sci. Technol.*, **14**, 59-71(1982).
15. Bull, R. J. and Robinson, M., "Carcinogenic activity of haloacetonitrile and haloacetone derivatives in the mouse skin and lung," In *Water Chlorination, Chemistry, Environmental Impact and Health effects*, **5**, pp. 221~227(1983).
16. Bull, R. J., Bull, M., Reckhow, D. A., Use of quantitative structure toxicity relationships(QSTR) to identify disinfection by-products of potential health importance. *Proceedings of AWWA Water Quality Technology Conference*, San Antonio, U.S.A., (2004).
17. Krasner, B. S. W., McGuire, M. J., Jacangelo, J. G., Patania, N. L., Reagan, K. M. and Aieta, E. M., "The occurrence of disinfection by-products in U.S. drinking water," *J. AWWA*, **81**(8), 41(1989).
18. Oliver, B. G., "Dihaloacetonitriles in drinking water: algae and fulvic acid as precursors," *Environ. Sci. Technol.*, **17**(2), 80(1983).
19. Reckhow, D. A., Rotello, V., Kim, J. and Bull, R. J., "Disinfection byproduct formation from key nitrogenous precursors," *Proceedings of AWWA WQTC*, (2004)
20. Ueno, H., Moto, T., Sayato, Y. and Nakamuro, K., "Disinfection by-products in the chlorination of organic nitrogen compounds: by-products from kynurenine," *Chemosphere*, **33**(8), 1425~1433(1996).
21. 서인숙, 손희중, 안옥성, 유선재, 배상대, "노 성분에서의 염소 소독부산물 생성 특성," *대한환경공학회지*, **30**(3), 286~292(2008).
22. U. S. EPA, *National Exposure Research Laboratory*, Office of Research and Development, Method 552.3., Cincinnati, Ohio., (2003).
23. U. S. EPA, *National Exposure Research Laboratory*, Office of Research and Development, Method 551.1., Cincinnati, Ohio., (1995).