

## 고농도 차아염소산나트륨 발생장치의 안정적 운영에 관한 연구

조해진\* · 나찬욱\* · 고성호\*\*†

### A Study on the Stable Operation of High Sodium Hypochlorite Generation

Haejin Cho\*, Chanwook Na\*, Sungho Ko\*\*†

*Key Words* : Disinfection Process(소독공정), Drinking Water Treatment(먹는물 처리), Electrolytic Cell(전해조), High Sodium Hypochlorite Generation(고농도 차아염소산나트륨 발생장치)

#### ABSTRACT

Sodium hypochlorite, used as water disinfectant, is generated by electrolysis of salt. Compared to chlorine gas disinfection, it is free from high-pressure gas regulation and does not generate toxic gas, so it is increasingly used as a safe disinfectant.

Despite these advantages, the concentration of sodium hypochlorite decreases with temperature during long-term storage, and the amount of chlorate increases when a large amount is added, it has mainly been applied to small-scale waterworks. To solve this problem, high sodium hypochlorite generation was developed.

In this study, the changes of concentration and chlorate of sodium hypochlorite with time has been studied. As a result of the test, it was found that the usable period of sodium hypochlorite produced at a certain temperature or less was increased from 1.5 days to 13 days. Overall, sodium hypochlorite can be applied even in large-scale waterworks, which makes operation more stable and also reduces the disinfection byproducts, thus it contributed greatly to securing water quality.

#### 1. 서 론

인류의 평균수명 증가는 의학기술의 발전과 더불어 위생적인 상수도의 보급이 큰 기여를 하였으며 안전하고 위생적인 상수도보급은 염소를 활용한 소독이 결정적인 역할을 하였다고 보고되고 있다. 국내 정수처리공정에서도 소독공정에 염소가 사용되어지고 있으며, 운전비용이 저렴하고 잔류염소 농도관리가 용이하여 염소가스(chlorine gas)를 액화시킨 액화염소(liquefied chlorine gas)를 대부분 소독공정에서 사용하여 왔다.

그러나 액화염소는 독성이 강한 고압가스 형태로 제조, 운송 및 보관하여 사용되고 있으며 소규모의 정수장들을 통합하여 중대규모화 시킴으로서 경제적이고 효율적인 시설운영 형태로 변화하고 있다. 이러한 대규모 정수장은 대부분 인구 밀집지역이나 공업단지 등 수요처에 인접하고 있으며 자연

재해 뿐 아니라 운영관리자의 실수나 사고로 인해 심각한 피해가 발생하고 있다.

이러한 독성 고압가스의 위험성을 해소하기 위해 최근 액화염소와 동일한 소독성능을 가지고 있으면서 안전하고 안정적인 차아염소산나트륨을 소독제로 선택하는 정수장이 늘어나고 있는 추세이다.<sup>(1)</sup>

대표적인 차아염소산나트륨 제조는 저농도 차아염소산나트륨 생산설비와 고농도 차아염소산나트륨 생산설비이다.

저농도 차아염소산나트륨 생산설비는 소금물을 직접 전극 반응이 이뤄지는 전해셀을 통과시켜, 최종 염소성분이 0.8% 함유된 차아염소산나트륨을 생산한다. 저농도 차아염소산나트륨은 0.8%의 낮은 유효염소 농도를 가지므로 유효염소 농도가 100%인 액화염소와 동일한 염소 소독의 효과를 얻기 위해서는 약 125배의 차아염소산나트륨을 투입하여야 한다.

예를 들어 1000 m<sup>3</sup>의 정수에 1 ppm의 잔류염소를 유지하

\* 한국수자원공사(K-water)

\*\* 충남대학교 기계공학부(School of Mechanical Engineering Chungnam National University)

† 교신저자, E-mail : sunghoko@cnu.ac.kr

기 위해 액화염소는 1 kg을 투입하는 반면, 저농도 차아염소산나트륨은 0.8%의 낮은 농도로 인하여 약 125배인 125 kg을 투입하여야 한다.

저농도 차아염소산나트륨 생산설비는 설비의 특성상 고정된 저농도(목표농도 0.8%)의 차아염소산나트륨을 생산하며, 생산과 동시에 소비되는 생산, 투입의 2단계 프로세스로 공정에 적용된다. 또한 생산설비의 고장에 대비하여 주사용 전해조와 예비용 전해조로 구분하여 생산설비의 고장에 대비하고 있다.

저농도 차아염소산나트륨은 생산단계에서 직접 전극접촉에 의한 반응열로 인해 약 40°C이상의 온도에서 생산된다. 이로 인해 차아염소산나트륨은 온도에 따른 농도 변화와 생산된 차아염소액 내의 재반응에 의해 클로레이트 성분이 증가되는 특징이 있다. 농도의 경우 저농도 차아염소산나트륨은 생산온도인 약 40°C에서 1.5일이 경과하면 농도가 절반이하로 떨어지는 특징이 있다.

따라서 소독제로 저농도 차아염소산나트륨을 사용하는 경우는, 현장에서 생산하여 바로 사용하는 방식을 채택하고 있다. 일부 시판되는 차아염소산나트륨을 구매하여 소독제로 사용하는 경우는 구매한 차아염소산나트륨의 농도와 클로레이트 성분에 대해서 검토 후 사용하여야 한다. 시판되는 차아염소산나트륨은 제조일로부터 사용일까지 상당한 기일이 소요되므로 농도의 저하와 클로레이트 성분의 기준 초과가 예상된다.

고농도 차아염소산나트륨 생산설비(High Sodium Hypochlorite Generation)<sup>(2)</sup>는 저농도 차아염소산나트륨 방식과 다른 비접촉식 전극반응을 이용한다. 양극에서는 소금물의 전기분해가 이뤄져 염소가스를 생성하고, 음극에서는 수산화나트륨을 생성하여 생성된 염소가스와 액상의 수산화나트륨이 기액접촉 반응조에서 반응하여 고농도의 차아염소산나트륨을 생성한다. 생성된 차아염소산나트륨은 약 12%의 유효염소 농도를 가지며 액화염소와 동일한 염소 소독의 효과를 얻기 위해서는 액화염소대비 약 8.3배의 차아염소산나트륨을 투입하는 투입량의 정량제어가 필요하다.

예를 들어 1000 m<sup>3</sup>의 정수에 1 ppm의 잔류염소를 유지하기 위해 액화염소는 1 kg을 투입하는 반면, 고농도 차아염소산나트륨은 12%의 농도로 인해 8.3 kg을 투입하여야 한다. 저농도 차아염소산나트륨은 125 kg을 투입하는 것과 비교하면 고농도 차아염소산나트륨은 투입량을 현저히 줄일 수 있으며, 이는 대용량의 정수처리공정에도 액화염소를 대체하는 차아염소산나트륨 공정도입이 가능하다는 사실을 나타낸다.

고농도 차아염소산나트륨 생산설비는 비접촉식 전극반응을 이용하므로, 전극반응열로 인해 고온의 차아염소산나트륨이 생산되는 저농도 생산설비에 비해 생산되는 차아염소산나트륨의 온도가 18°C 이하로 낮은 특징이 있다. 이는 저농도 차아염소산나트륨이 시간의 경과에 따라 소독부산물

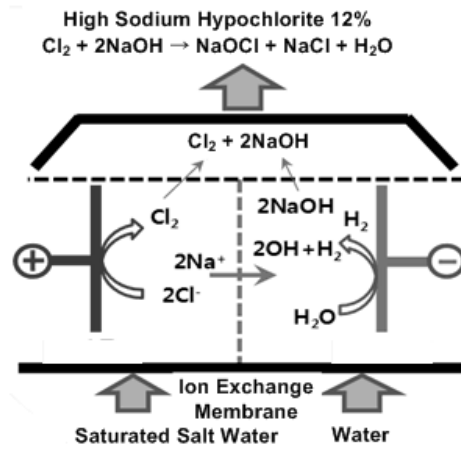


Fig. 1 Model of anodic and cathodic cell

발생하는<sup>(3)</sup> 문제점을 해결하는데 매우 유효하다. 그 간의 연구는 저농도 차아염소산나트륨의 시간에 따른 유효염소의 변화 및 소독부산물인 클로레이트에 대해서 연구되어 왔으나 이는 고온으로 생성된 저농도 차아염소산나트륨의 특징으로 저온으로 생산되는 고농도 차아염소산나트륨의 특징으로 볼 수 없다.

일반적으로 저농도 차아염소산나트륨 생산설비는 생산된 차아염소산나트륨의 농도저하, 소독부산물인 클로레이트의 시간에 따른 증가<sup>(4)</sup>로 인해 생산과 동시에 즉시 소모하는 단계로 공정에 적용된다.

본 연구에서는 고농도 차아염소산나트륨 생산설비로 생산된 차아염소산나트륨(12%)의 시간의 경과에 따른 농도의 변화 및 소독부산물인 클로레이트 변화 특성에 대해서 연구하였다. 또한 연속주입 약품의 경우 14일분을 저장하여 사용하여야 하는 상수도시설기준을 만족하기 위한 고농도 차아염소산나트륨의 저장방안에 대해서 최적 방안을 제시하였으며, 실공정에 고농도 차아염소산나트륨 생산설비를 운영하는 정수장의 소독공정에 적용하였다.

## 2. 테스트방법

### 2.1 고농도 차아염소산나트륨 발생이론

Fig. 1과 같이 고농도 차아염소산나트륨 생산설비는 소금(NaCl)내의 염소이온(Cl<sup>-</sup>)이 양극반응을 통해 염소가스(Cl<sub>2</sub>)로 전환된다. 이때 양극반응은 물(H<sub>2</sub>O)의 전기분해에 의한 산소(O<sub>2</sub>) 발생반응과 경쟁반응으로 양극 전극의 특성, 소금물 농도 및 전기분해 방식에 따라 그 효율이 결정된다고 볼 수 있다. 또한 양극반응이 일어나는 동안 음극에서는 물(H<sub>2</sub>O)분해를 통해 수소가스(H<sub>2</sub>)와 수산화이온(OH<sup>-</sup>)이 생성되고 수산화이온(OH<sup>-</sup>)은 나트륨이온(Na<sup>+</sup>)과 반응하여 가성소다(NaOH)가 생성된다. 전극반응으로 생성된 염소가스

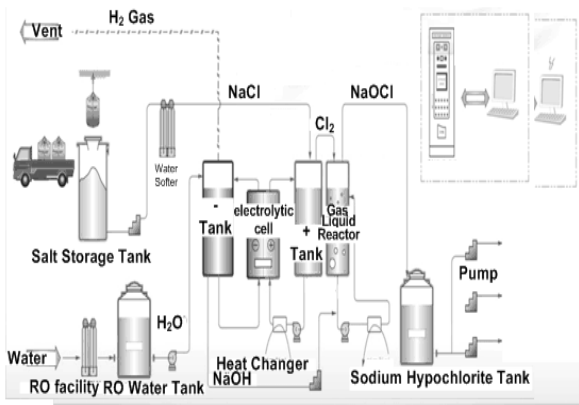


Fig. 2 Schematic diagram of High Sodium Hypochlorite facilities

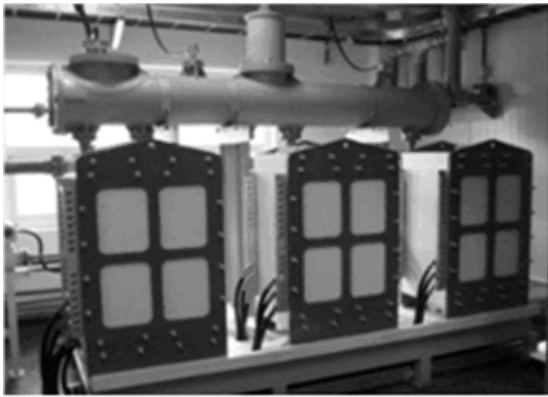


Fig. 3 Photograph of electrolytic cell in purification plant

(Cl<sub>2</sub>)와 가성소다(NaOH)를 기액접촉 반응을 통해 최종 차아염소산나트륨(NaOCl)이 생성하게 된다.<sup>(5)</sup>

## 2.2 발생장치 구성 및 테스트

Fig. 2는 고농도 차아염소산나트륨 장치개요이며, Fig. 3은 정수장에 설치된 고농도 차아염발생장치의 전해조이다. 전해조는 개별 350 kg/day의 용량이며, 여기서 350 kg은 100% 유효염소 농도를 의미하며, 12% 고농도 차아염소산나트륨을 기준으로 개별조 기준으로 8.3배인 2,915 kg/day (12%)로 생산이 가능하다. Fig. 2와 같이 양극조는 소금물이 충전되어 있으며 운전시 일정 수위 이하가 되면 소금물 정제장치에서 포화소금물이 유입되고 전도도가 제어범위 이하로 떨어지면 과포화 소금물이 유입된다. 전해조에 직류 전원이 인가되면 순환 펌프에 의해 소금물이 양극실로 유입되어 염소가스가 발생된다. 이때 전해조의 양이온 교환막을 통해 소금물 중 Na이온은 음극으로 이동한다.

음극조는 연수가 정수위 밸브에 의해 일정 수위로 제어되며 유입되어 전해조에 직류 전원이 인가되면 연수가 전해조의 음극실로 유입되어 자연 대류하며 가성소다가 생성된다. 이때 생성된 가성소다는 정량펌프에 의해 기액반응조로 이

송되며 이송된 만큼 연수가 음극조로 유입된다.

유격막 전해조는 연수 및 포화 소금물을 이용하여 양극에서는 염소가스를 음극에서는 가성소다를 제조하는 핵심 장치로서, 티타늄 판에 백금족 산화물이 코팅되어 있는 촉매전극 (상품명 DSA, CSA)을 양극으로 사용하고, 음극은 Ti, STS 및 Ni 합금 등이 사용된다. 효율적인 전극의 조건은 전극표면의 생성물인 염소가 낮은 에너지에서 발생되어야 하며, 전극수명이 길어야 한다.<sup>(6)</sup>

유격막 전해조의 음극실에서는 음극반응을 통해 생성된 수소가스가 생성되고 음극조 상부에 설치된 블로워를 통해 유입된 외기에 의해 생성과 동시에 수소가스 농도는 2% 이하 범위로 희석되어 대기배출된다.

기액반응조는 전기분해 장치의 양극생성물인 염소가스를 이젝터(기액접촉기)를 통하여 음압으로 흡입하여 음극 생성물인 가성소다와 기액 접촉 반응하여 고농도 차아염소산나트륨을 생성한다. 반응열을 제거하기 위한 열교환기와 생성되는 차아염소산나트륨에 일정량의 잔존 가성소다를 제어하는 ORP 센서가 설치된다. 이를 통해 원하는 농도의 차아염소산나트륨으로 제조되어 차아염소산나트륨 저장 탱크로 이송된다.

현재 설치된 고농도 차아염소산나트륨 생산설비는 생산, 저장, 투입의 3단계 프로세스로 운영중이며 시설용량 258,000 m<sup>3</sup>, 유효염소 350 kg/day 생산이 가능한 고농도 차아염소산나트륨 생산 전해조 3대를 운영하고 있으며 하루 평균 100% 유효염소 기준 186 kg를 생산하고 있다.

이번 테스트는 시간이 경과함에 따라 유효염소농도와 클로레이트의 변화를 측정하기 위해 차염저장탱크의 유출측에서 시료를 채취하였으며 일정한 온도를 유지하면서 관찰하였다.

유효염소의 농도 측정은 환경부고시 제2013-188호에 따른 적정법을 사용하였으며, 클로레이트(ClO<sub>3</sub><sup>-</sup>)의 농도 측정은 KS I ISO 10304-4:2008 수질-이온 액체 크로마토그래피에 의한 용존된 음이온 측정방법에 의해 측정하였으며 국제시험기관인정협력체 상호인정협정에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 인정받은 기관에서 수행하였다.

## 3. 테스트결과 및 고찰

### 3.1 온도에 따른 고농도 차아염소산나트륨 농도변화

Fig. 4는 고농도 차아염소산나트륨 생산설비로 생산된 액상 차아염소산나트륨을 일정한 온도를 유지하며 시간의 경과에 따른 차아염소산나트륨의 유효염소 농도를 측정한 결과이다.

저농도 차아염소산나트륨은 생산된 차아염소산나트륨이 투입되기까지 저장탱크에 보관할 경우 일반적으로 농도가

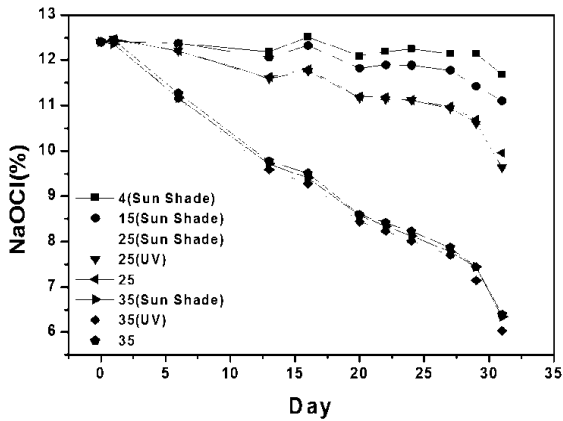


Fig. 4 Sodium concentration graph according to temperature

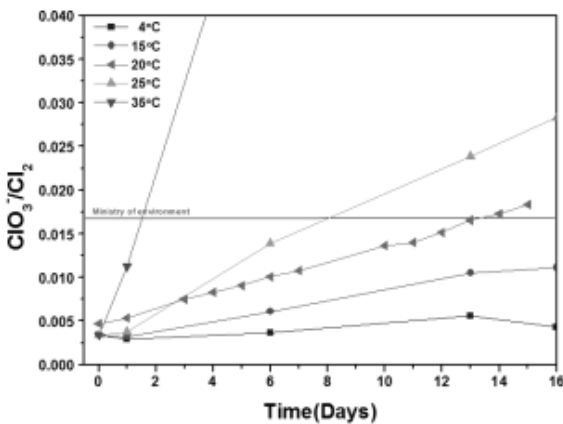


Fig. 5 Chlorate concentration graph according to temperature

1.5일 이내에 반감되는 특징<sup>(7)</sup>이 있으나, 고농도 차아염소산 나트륨을 4, 15, 20, 25, 35°C의 보관조건에서 농도를 관찰한 결과, 초기 차아염소산나트륨의 생산농도는 약 12.4%로 측정되었으며, 25°C 이하로 유지할 경우 10일간 12% 범위내에서 농도가 유지되었으며, 생산목표 농도인 12%의 -10% 농도범위인 10.8%를 유지하는 조건은 최장 27일까지로 나타났다.

본 실험에서는 UV 조사유무에 대해서도 추가로 실험을 실시하였는데, UV 조사 유무에 따른 농도변화는 유의미한 차이를 나타내지 않았다.

고농도 차아염소산 나트륨은 초기 생산 차아염소산나트륨의 온도가 18°C 저온이므로, 생산된 온도를 유지하거나, 적어도 25°C 이내로 유지하면 12% 농도의 편차 10% 이내(10.8%)로 최장 27일까지 농도품질을 확보할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 4에서는 고농도 차아염소산나트륨이 온도를 증가시켜 보관하면 농도가 시간이 지남에 따라 낮아짐을 알 수 있으나, 저농도 차아염소산나트륨이 생산된 지 1.5일 이내에 농도가 반감하는 것과 비교하여 비교적 완만한 농도저하 경향을 보인다. 이는 고농도 차아염소산나트륨이 저온으로 생산되는 특징으로 인한 것으로 판단된다.

Table 1 Sodium hypochlorite (NaClO) notification by ministry of environment

Item	Standards			
	First class		Second class	
Characteristic	Lemon yellow transparent liquid			
Sodium	12 % over	12 % under	12 % over	12 % under
Free alkali	2 % over	2 % over	2 % over	2 % over
As	1 mg/kg below	1 mg/kg below	1 mg/kg below	1 mg/kg below
Pb	1 mg/kg below	1 mg/kg below	1 mg/kg below	1 mg/kg below
Cd	1 mg/kg below	1 mg/kg below	1 mg/kg below	1 mg/kg below
Cr	2 mg/kg below	2 mg/kg below	2 mg/kg below	2 mg/kg below이하
Hg	0.2 mg/kg below	0.2 mg/kg below	0.2 mg/kg below	0.2 mg/kg below
Bromate	12 mg/kg below	Cl2 proportion	100 mg/kg below	Cl2 proportion
Chlorate	2,000 mg/kg below	Cl2 proportion	10,000 mg/kg below	Cl2 proportion

### 3.2 온도에 따른 클로레이트 농도변화

Fig. 5는 고농도 차아염소산나트륨 생산설비로 생산된 액상 차아염소산나트륨을 일정한 온도를 유지하며 시간의 경과에 따른 차아염소산나트륨의 클로레이트 농도를 측정된 결과이다.

생산된 차아염소산나트륨은 시간이 지날수록 소독부산물인 클로레이트가 증가하는 특징이 있다. 일반적으로 알려진 저농도 차아염소산나트륨은 일반적으로 생산된 지 1.5일 이내에 클로레이트 농도가 환경부 기준을 초과하는 특징이다.

이러한 특징은 고농도 차아염소산나트륨에서도 동일한 특징으로 나타나며 35°C로 유지한 고농도 차아염소산나트륨의 경우, 생산된 지 2일 이내에 환경부 기준을 초과하였다.

생산된 차아염소산나트륨을 수처리제로 사용하기 위해서는 환경부 수처리제 고시의 1종 또는 2종 수처리제 기준을 만족하여야 하며, 그 기준은 Table 1과 같다.

차아염소산나트륨은 생산된 차아염소산나트륨의 농도와 무관하게 생산된 이후 온도 변수에 매우 민감한 것으로 판단된다. 고농도 차아염소산나트륨은 4°C의 경우 31일, 15°C 24일, 20°C 13일, 25°C 6일, 35°C는 2일을 경과하면서 환경부 수처리제 기준을 초과하였다. 이는 해당 온도로 유지할 경우, 기준치 이내에서 저장하여 사용이 가능한 약품 저장기간이라 할 수 있다.

Table 2는 생산된 차아염소산나트륨의 초기 클로레이트 농도에 따른 온도별 저장기간을 실험한 결과이다. 생산된 차

Table 2 Available storage time according beginning chlorate concentration

CO (Beginning)	t (Available storage time)				
	4℃	15℃	20℃	25℃	35℃
0.0097 (Max.)	100 day	11 day	7 day	3 day	0.8 day
0.001 (Min.)	224 day	26 day	17 day	7 day	1 day
0.004 (Aver.)	181 day	21 day	14 day	6 day	1 day

아염소산나트륨의 저장 가능 기간은 초기 클로레이트 농도에 따라 달라질 수 있음을 알 수 있으나 설비 특성상 균일한 품질의 차아염소산나트륨이 생산되므로 평균값을 저장기간으로 사용하여도 무방할 것으로 판단된다.

실험 결과에 따르면 1종 차염의 환경부 조건인 0.0167 (mg/L-ClO<sub>3</sub>-/mg/L-Cl<sub>2</sub>) 이하를 기준으로 [ClO<sub>3</sub>-/Cl<sub>2</sub>]의 초기값이 0.004(평균값)일 때 20℃에서 13일 이내로 저장 가능할 것으로 판단된다. 이는 고농도 차아염소산나트륨 생산 설비 운영조건에서 중요한 의미를 가진다.

고농도 차아염소산나트륨은 18℃로 생산되어 저장되어지므로 저장탱크내에서 20℃로 유지할 경우 최장 13일까지 차염의 품질이 확보가 가능하다. 이는 K-water 수도수질업무 기준 정수약품 재고관리 기준(10일 분)에도 적합하며, 단지 생산된 차아염소산나트륨의 온도를 유지하기만 해도 되기 때문에 설비구현 또한 유리하다.

Fig. 6는 측정된 차아염소산나트륨 저장탱크실의 하절기 실내 온도이다. 앞서 기술한 바와 같이 생산된 차아염소산나트륨의 클로레이트 농도는 온도와 아주 밀접하다.

하절기 저장탱크실의 실내온도는 30℃ 이상으로 온도가 상승하는 것으로 나타나며, 저장탱크 내 차아염소산나트륨의 온도가 30℃로 평형을 이룬다고 가정하면, 추정컨대 3일 이내에 클로레이트 농도가 환경부 기준을 초과할 것으로 판단된다.

Fig. 7은 생산된 차아염소산나트륨을 저장하는 저장탱크에 20℃로 항온을 유지하는 냉각라인을 설치하여 저장탱크 내 차아염소산나트륨의 온도를 측정된 결과이다. 6/16이후의 차아염소산나트륨 온도는 20℃ 이하로 일정하게 유지되고 있어 실내 온도 상승으로 인한 클로레이트 농도 증가 요인을 제거하였다. 이와 같은 저장 차아염소산나트륨의 저장 방안은 클로레이트 농도를 기준치 이내에서 10일간 저장하여 사용함이 가능함을 의미한다.

고농도 차아염소산나트륨 생산설비는 기액접촉조의 온도유지를 위한 냉각설비를 갖추고 있어, 냉각설비의 배관 라인을 차아염소산나트륨 저장탱크 내로 순환토록 조정하여 손쉽게 차아염소산나트륨의 온도 유지를 실현하였다. 또한 냉각기는 항온 조절이 가능하여 필요한 경우 더 낮은 온도로 저장온도를 설정하여 손쉽게 저장기간을 늘릴 수 있는 특징이 있다.

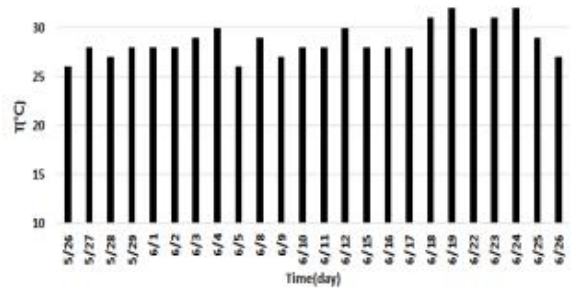


Fig. 6 Temperature of high sodium hypochlorite storage room

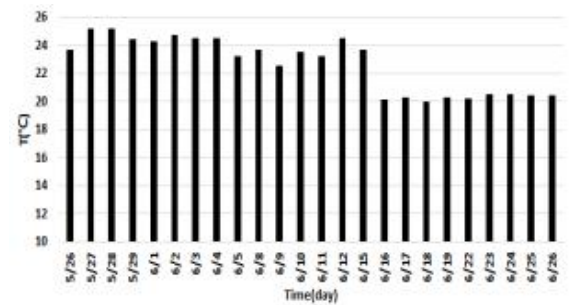


Fig. 7 Temperature of high sodium hypochlorite in storage Tank

#### 4. 결론

본 연구는 최근 들어 정수처리공정의 소독제로 사용되고 있는 고농도 차아염소산나트륨의 대표적 품질인자인 시간 경과에 따른 유효염소 농도 및 클로레이트 농도 변화에 대한 연구를 최초로 수행하였다.

일반적으로 차아염소산나트륨은 저장기간 1.5일 이내에 유효염소 농도는 반감하며 소독부산물인 클로레이트 농도는 기준치를 초과하는 것으로 알려져 있어, 생산 즉시 사용하는 2단계 프로세스로 수처리 공정에 적용되어 있다. 하지만 이는 직접전극반응을 이용하여 차아염소산나트륨을 생산하는 저농도 차아염소산나트륨 생산설비의 특징으로 비접촉식 전극반응을 이용하여 차아염소산나트륨을 생산하는 고농도 차아염소산나트륨의 특성까지 대표하지는 못한다.

고농도 차아염소산나트륨은 생산 단계에서 저온인 18℃로 생산되어 저장탱크의 온도를 20℃로 이내로 유지할 경우 차아염소산나트륨의 유효염소 농도 및 클로레이트 농도는 품질 기준치 이내에서 13일까지 저장이 가능하다.

이는 기존의 생산 즉시 사용하는 2단계 프로세스 공정을 생산→저장(10일)→사용의 3단계 프로세스로 공정을 운영할 수 있어 설비사고에 대한 대처시간 확보 등 실 공정에서의 운영안정성을 크게 향상시켰다.

고농도 차아염소산나트륨 생산설비를 운영함에 있어, 본 연구결과를 토대로 저장탱크의 온도를 20℃ 이하로 운영 중에 있으며, 생산된 차아염소산나트륨을 10일간 저장하여 사용토록 탱크용량을 증설하여 운영하고 있다.

## 후 기

이 연구는 K-water, (주)테크윈과 충남대학교 학술연구비의 지원으로 수행된 결과입니다.

## References

- (1) 환경부제정 상수도시설기준, 2004, pp. 444~450.
- (2) 김정식, 신현수, 이은경, 정봉익, 2013, “고농도 차아염소산나트륨 발생장치 국산화 개발,” 대한기계학회 춘계학술강연회, pp. 83~90.
- (3) 윤경애, 2012, “액화염소와 소금물 전기분해를 이용한 소독 부산물생성 특성,” 강원대학교 환경공학과 박사학위논문
- (4) von Gunten, U. 2003a, “Ozonation of Drinking Water :Part I. Oxidation kinetics and product formation”, Water Research Vol. 37, 1443-1467.
- (5) European Commission, 2014, “Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Chlor-Alkali”, JRC Science and Policy Reports.
- (6) 이경, 유정호, 심성현, 김정식, 2010, “현장발생형 차아염소산나트륨 발생장치 소개 및 최적전극의 선택,” 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1377~1378.
- (7) Stanford, Benjamin D, Pisarenko, Aleksey N, Snyder, Shane A, Gordon, Gilbert. 2011, “Perchlorate, Bromate, and Chlorate in Hypochlorite Solutions: Guidelines for Utilities,” American Water Works Association. Journal, Vol. 103 No. 6.