

연구리포트

UV-AOP 기술을 활용한 고도정수처리 효율평가 연구

이광제·백영애·김승훈·윤우현·최영준

연구배경

교육수준 향상과 경제개발로 인해 생활수준이 향상되어 시민들의 삶의 욕구가 깨끗하고 안전한 수돗물에서 건강하고 맛있는 수돗물로 변화하는 실정이다. 한 예로 근래에 수질사고가 다수 발생해 정수처리한 물에 대한 신뢰도가 떨어지고 있어 개인 요구에 따라 정수기를 설치하여 마시는 사례가 증가하고 있으며 또한 정수기 사용이 증가함에 따라 시장규모도 커지고 있다.

표 1. 정수기 분야의 시장규모 및 전망(단위: 억원, %)

구분	2016	2017	2018	2019	2020	2021	CAGR(%)
세계시장	571,544	666,587	773,598	898,124	1,043,103	1,211,044	16.1
국내시장	22,000	22,482	22,974	23,477	23,991	29,245	2.19

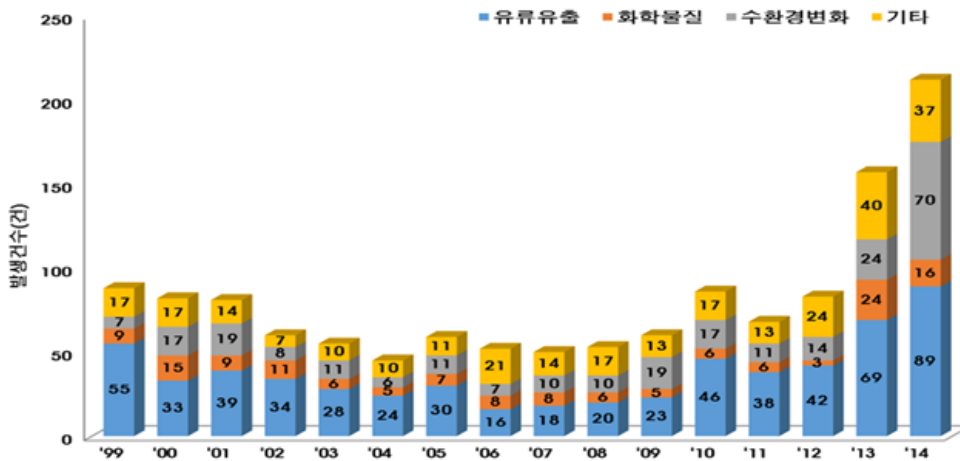


그림 1. 사고유형별 수질오염사고 발생현황

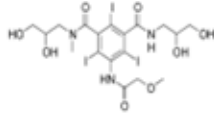
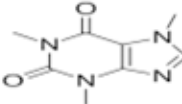
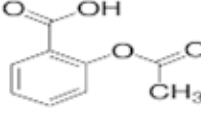
이러한 추세와 사회적인 현황을 고려하여 수질관리기준(먹는물수질기준, 먹는물 수질 감시항목 추가 등)이 강화되고 있으며, 국내의 정수처리시설도 전국적으로 고도정수처리 시설인 '오존 활성탄 공정' 및 고도산화공정(시흥, 일산정수장) 도입이 증가되고 있는 추세이다.

현재 서울시는 오존/입상활성탄 도입으로 맛·냄새물질을 서울시 맛있는 물 가이드라인인 8 ng/L이하로 유지하고 있으나, 유입되는 오염물질 변화에 따른 오존 주입농도 조절이 어렵고, 미지의 미량오염물질 유입 시 제어가 어려운 실정이다. 또한 오존이나 과산화수소와 같은 산화제 주입에 따른 부산물 생성 우려로 향후 수질관리기준 강화에 따른 유해성 인자 제어에 어려움이 예상된다.

자외선(UV; Ultraviolet) 기술은 물리적인 수처리 방법이며, 이 기술을 수처리 공정에 적용하여 고분자물질을 저분자화하고, 미생물을 불활성화시켜 살균·소독효과를 기대할 수 있다. 또한 과산화수소를 주입하여 고도산화공정(Advanced Oxidation Process, AOP)을 구성하면 수산화라디칼(OH·; Hydroxyl radical)을 더 많이 생성시켜 오염물질을 완전 분해(CO₂, H₂O) 시킬 수 있고 부산물도 감소시킬 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 조류 및 미량오염물질 유입에 따른 맛·냄새물질, 의약품 미량오염물질(Iopromide, Caffeine, Acetylsalicylic acid)에 대한 항목을 선정하고 자외선 공정과 과산화수소를 조합한 UV-AOP 공정을 구성하여 심미적 물질인 2-MIB, geosmin과 미량오염물질(Iopromide, Caffeine, Acetylsalicylic acid)을 제어하는 가이드라인을 제시하고자 한다.

표 2. 미량오염물질의 구조 및 특성

물질명	특성	처리공정	화학구조
Iopromide	조영제로 사용되며, 연조직에 방사선을 흡수하는 물질을 투여하면 영상을 얻을 수 있도록 투여되는 물질	O3-GAC	
Caffeine	커피, 녹차, 콜라, 및 카카오 등에 존재하는 알칼로이드의 1종이며, 무취, 쓴맛의 백색 분말로 물과 알콜에 가용성이며, 중추신경계에 대한 흥분작용, 이노 등의 작용을 일으킴	GAC, O3, 고도산화	
Acetylsalicylic acid	살리실산의 아세틸화로 얻어지는 백색의 분말이며, 알콜에는 녹지만 물에는 잘 녹지 않음 아스피린으로 불리는 진통제, 해열제로 널리 사용됨	고도산화	

연구내용

본 연구과제 추진을 위해 구의아리수정수센터 내에 위치한 고도플랜트동에 고도산화 파일럿시설(100 m³/일)을 구축하였고, UV 반응기의 공정도(그림2)를 나타내었다. 고도산화공정에 사용되는 유입수는 기존공정의 모래여과수를 사용하였고, 사용된 UV 램프는 A사(社)의 2종류 램프이며, 저압 UV램프 1식, 중압 UV램프 1식을 사용하여 평가하였다. 구축한 고도산화설비의 성능평가를 위해 유입수에 적정량의 과산화수소를 주입한 후 잔류과산화수소 농도를 측정하고, 이어 UV 처리를 한 후 잔류과산화수소를 측정하여 제거량을 분석하였다.

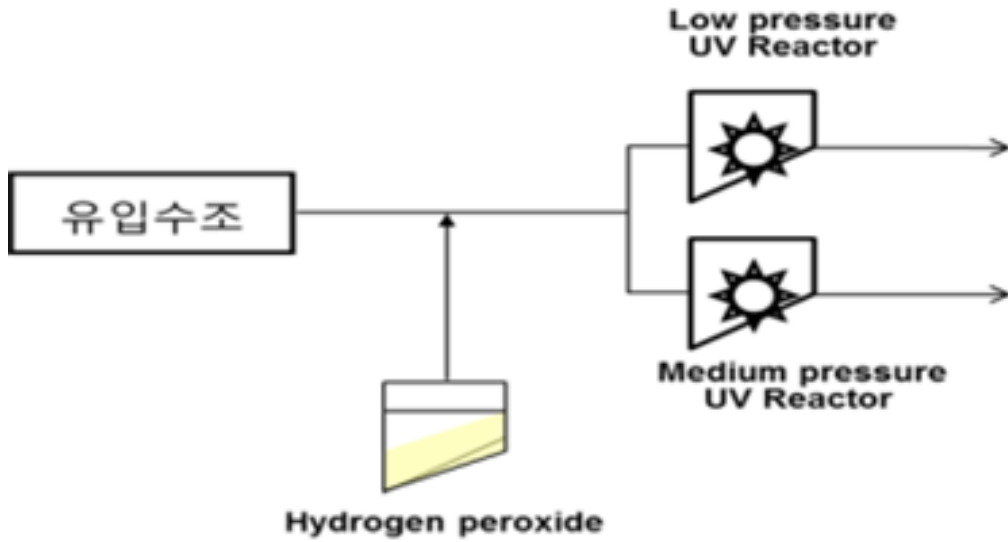


그림 2. UV 반응기 공정도

본 연구에 사용된 저압 UV램프는 254 nm 파장의 저압아말감램프를 사용하였고, 중압 UV램프는 180 ~ 380 nm 파장의 아말감램프를 사용하였으며, 램프수를 조절하고 UV 출력에너지 주입량을 설정하여 조사량 변화에 따른 효율을 평가하였다.

맛·냄새물질은 2-MIB, geosmin 표준용액을 이용하였고, 미량오염물질(Iopromide, Caffeine, Acetylsalicylic acid)은 4대강 유역에서 검출될 수 있는 농도와 유사한 농도로 조절하여 유입원수에 주입여 제거효율 평가를 실시하였다.

핵심성과

맛·냄새 유발물질에 대한 제거효율을 평가하고자 조제한 2-MIB, geosmin을 UV 반응기로 주입시켜 평가하였다. Spiking 조제원수의 농도는 2-MIB가 43 ng/L이고, geosmin의 농도는 48 ng/L을 나타내었고, 저압램프를 통과한 처리수는 2-MIB가 36 ng/L이고, geosmin의 농도는 38 ng/L을 나타내었다. 중압램프를 통과한 처리수는 2-MIB가 30 ng/L이고, geosmin의 농도는 26 ng/L을 나타내었다. 2-MIB 제거율은 저압램프 16%, 중압램프 30%이며, geosmin 제거율은 저압램프 21%, 중압램프 46%를 나타내었다.

UV램프에 과산화수소(10 ppm)를 주입하여 맛·냄새물질에 대해 실험한 결과 정량한계 이하의 값(ND)을 나타내었다.

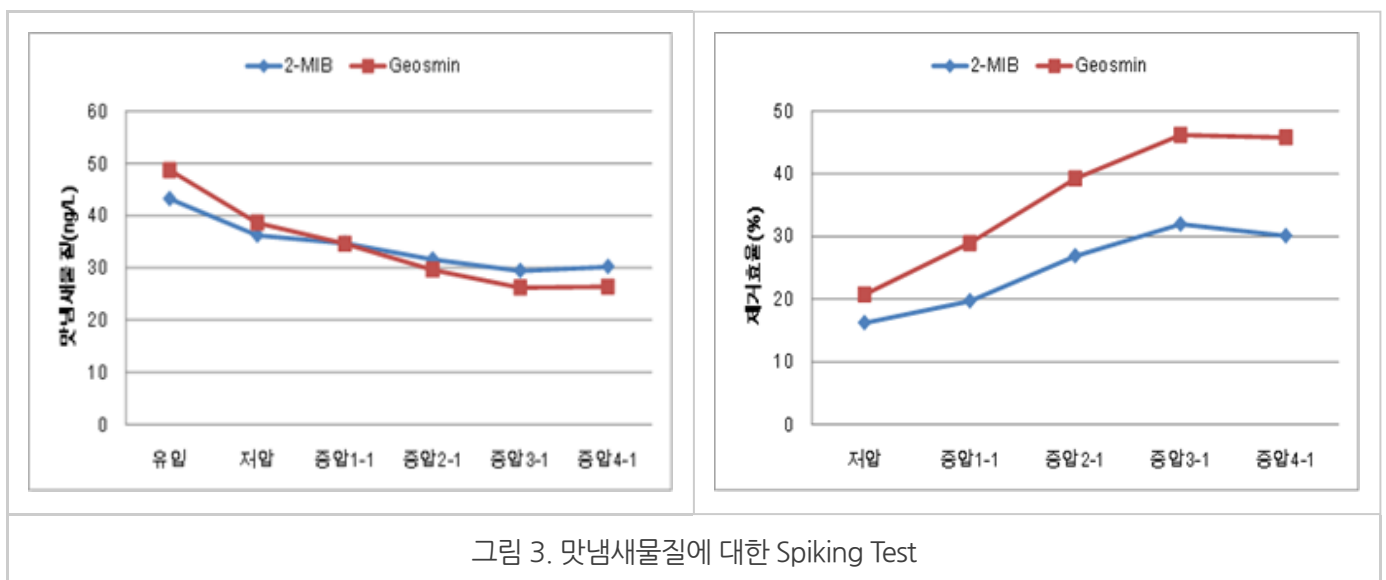


그림 3. 맛·냄새물질에 대한 Spiking Test

정수처리공정과 연계하여 유입수를 모래여과수로 이용하여 맛·냄새 유발물질에 대한 제거효율을 평가하였다.

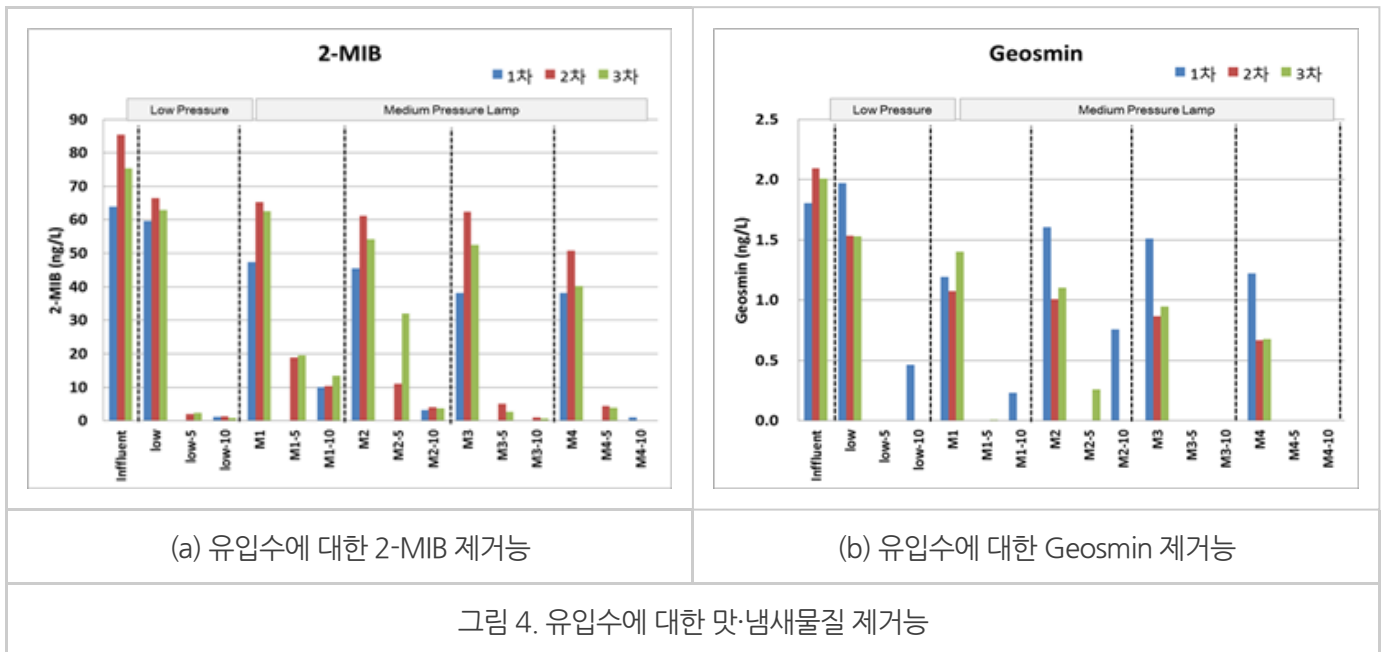
유입수의 수질은 기존처리공정에서 2-MIB는 64~85 ng/L, geosmin은 1.8~2.0 ng/L로 유입되었고, 잔류염소는 0.03~0.16 mg/L를 나타내었다.

AOP 설비의 실험조건은 반응기 체류시간 30~40 sec이고, UV램프는 저압램프, 중압램프를 각각 세팅하여 실험하였다.

또한 AOP 공정으로 운영시 과산화수소 주입농도는 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm으로 조절하여 정량펌프로 주입하였다. 분석 항목은 잔류염소, TOC, THMs, 맛·냄새물질을 분석하였다.

단독 UV 조사시 2-MIB (제거율)는 저압램프 62.8 ng/L(16.7%), 중압램프1 62.6 ng/L(17.0%), 중압램프2 54.1 ng/L(28.2%), 중압램프3 52.5 ng/L(30.3%), 중압램프4 40.3 ng/L(46.5%)이며, Geosmin(제거율)은 저압램프 1.53 ng/L(23.9%), 중압램프1 1.40 ng/L(30.0%), 중압램프2 1.10 ng/L(45.2%), 중압램프3 0.95 ng/L(53.0%), 중압램프4 0.68 ng/L(66.4%)을 나타내었다.

UV-AOP(UV+H₂O₂ 10 ppm)으로 실험한 결과 2-MIB 제거율은 저압램프 99.0%, 중압램프1 82.3%, 중압램프2 95.0%, 중압램프3 99.2%, 중압램프4 100% 제거되었다. geosmin 제거율은 저압램프 100%, 중압램프1 100%, 중압램프2 100%, 중압램프3 100%, 중압램프4 100% 제거되었다.



미량오염물질에 대한 제거효율을 평가하고자 원수수조에 미량오염물질(Iopromide, Caffeine, Acetylsalicylic acid) 표준용액을 증류수에 넣어 조절하여 UV 반응기로 주입시켜 평가하였고, 그림 5, 6은 과산화수소 주입에 따른 미량오염물질에 대한 변화량 및 제거능 결과이다.

미량오염물질 실험을 위해 조절한 Spiking 원수의 농도는 Iopromide 0.129 $\mu\text{g/L}$, Caffeine 0.118 $\mu\text{g/L}$ 이고, Acetylsalicylic acid의 농도는 0.024 $\mu\text{g/L}$ 를 보였다. 단독 UV 조사를 실시한 결과 Iopromide의 제거효율은 저압램프 0.011 $\mu\text{g/L}$ (91.5%), 중압램프1 0.030 $\mu\text{g/L}$ (76.7%), 중압램프2 0.013 $\mu\text{g/L}$ (90.0%), 중압램프3 0 $\mu\text{g/L}$ (100%)를 나타내었다.

Caffeine의 제거효율은 저압램프 0.102 $\mu\text{g/L}$ (13.6%), 중압램프1 0.112 $\mu\text{g/L}$ (5.1%), 중압램프2 0.081 $\mu\text{g/L}$ (31.4%), 중압램프3 0.068 $\mu\text{g/L}$ (42.4%)를 나타내었다. Acetylsalicylic acid의 제거효율은 저압램프 0.016 $\mu\text{g/L}$ (33.3%), 중압램프1 0.013 $\mu\text{g/L}$ (45.8%), 중압램프2 0.014 $\mu\text{g/L}$ (41.7%), 중압램프3 0.013 $\mu\text{g/L}$ (45.8%)를 보였다.

UV-AOP(UV+H₂O₂ 10 ppm) 공정으로 실험한 결과 Iopromide 제거율은 저압램프 100%, 중압램프1 87.6%, 중압램프2 100%, 중압램프3 100% 제거되었다. Caffeine 제거율은 저압램프 95.8%, 중압램프1 84.8%, 중압램프2 95.8%, 중압램프3 100% 제거되었다. Acetylsalicylic acid 제거율은 저압램프 100%, 중압램프1 79.2%, 중압램프2 100%, 중압램프3 100% 제거되었다.

따라서, 동일한 유입유량과 단독 UV조사가 아닌 AOP(UV-H₂O₂) 공정으로 운영 시 과산화수소의 주입량을 증가시킴(0 ppm→5 ppm→10 ppm)에 따라 미량오염물질의 대부분이 제거되었다. 특히 미량오염물질 제거를 위해서는 중압램프는 2개 이상으로 운영해야 하며, 경제성을 고려하여 효율적인 운영을 위해서는 저압램프로 운영해야 할 것으로 판단된다.

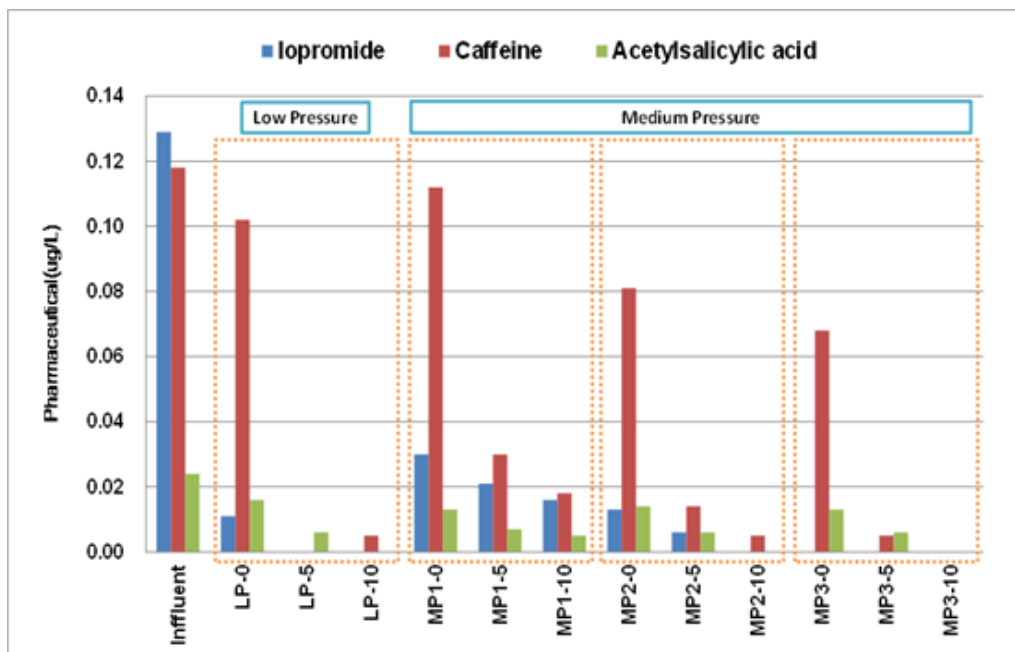


그림 5. 미량오염물질 제거능

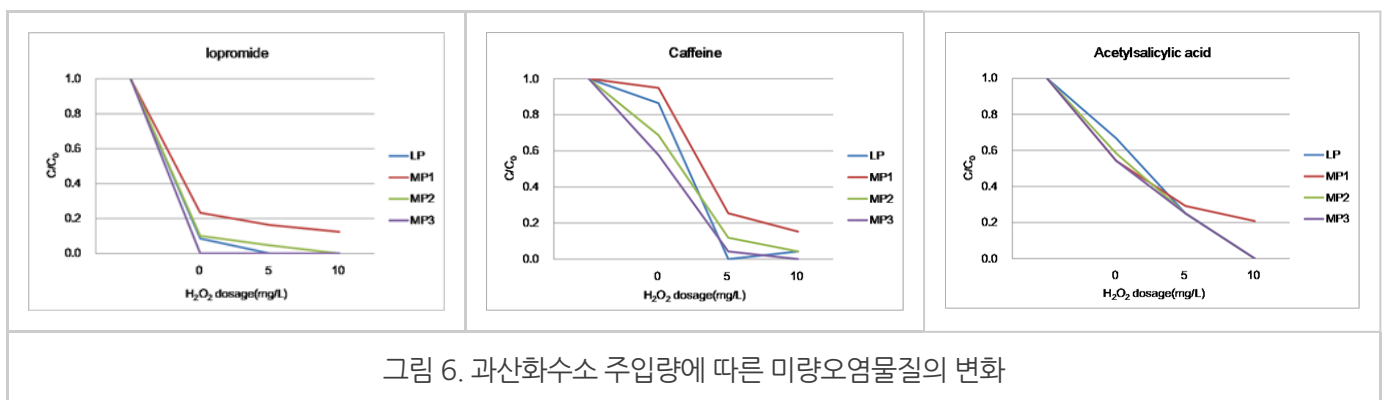


그림 6. 과산화수소 주입량에 따른 미량오염물질의 변화

활용방안

대체 고도처리기술력 확보를 위해 UV-AOP 공정은 맛·냄새물질 및 미량오염물질 제어를 위한 시설개량 및 개설시 검토자료 활용 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. “서울시 고도정수처리 운영 매뉴얼 II”(2016), 서울물연구원.
2. “물산업 실태와 사업전망”(2018), 임팩트북
3. “신중오염물질 분석 및 데이터베이스 구축 최종 보고서”(2016), 환경부.
4. Secondary/emerging constituents report(2006), “Iopromide exposure in Typha L.: Evaluation of uptake, translocation and different transformation mechanism in planta 2017 Water Research”, Bureau of Reclamation U.S.
5. Son, H. J., Kim, S. G., Yeom, H. S., & Choi, J. T. (2013), “Evaluation of applicability and economical efficiency of peroxone process for removal of micropollutants in drinking water treatment”, *Journal of Environmental Science International*, 22(7), 905-913.

[목록](#)[PDF 다운](#)[메인화면](#)

© Seoul Water Institute Seoul Metropolitan Government. All Rights Reserved.

