

북아메리카

# 최근 미국의 淨水處理 동향 분석

글 \_ 허방련 서울시 강북정수사업소 정수과장



## 要約(ABSTRACT)

삶의 질 향상에 따른 사회·경제·문화의 발달로 우리 자연환경 및 상수원 수질은 점점 악화되고, 반면에 수돗물에 가치나 중요성은 날로 증대되어 가고 있다. 이에 따라 지표수를 상수원으로 사용할 경우에는 자연현상인 폭우, 태풍, 갈수 등으로 상수원에 수질이 급변하고 변화폭도 커짐에 따라 이에 적응할 수 있는 unit process와 unit operator를 조합한 수처리 실시간(Real Time) 자동화 제어설비가 절실히 요구되고 있는 시점에, 우리보다 최신기술을 적용하고 있는 美東部 필라델피아시, 美北部 뉴욕주의 버팔로시, 시카고시, 美西部 LA, Orange County, San Jose, 덴버시 등 몇개 도시를 방문하게 되어 우리 서울시와 정수처리시스템을 비교한바, 서울시나 미국의 필라델피아시 공히 100여 년의 상수도 역사를 가지고 있는데, 서울의 경우 옛 시설들을 개량·보수(폐쇄)하면서 현대화시켜 1천1백만 시민들에게 하루 약 370만톤(시설용량 580만톤/일)을 6개 정수장에서 생산·공급하고 필라델피아의 경우 200만의 시민과 인근도시에

하루 약 136만톤(시설용량 207만톤/일)을 세 개 정수장에서 개량해 가면서 공급하고 있으며 두 도시 모두 지표수인 한강, 델라웨어강, 스쿨킬강의 지표수 물을 끌어들이어 새로운 최신기술들을 적용하면서 각자 특징을 가지고 과학적으로 정수처리한 후 수돗물을 공급하고 있다.

미국과 우리 서울시의 정수처리를 비교해 볼 때, 필라델피아의 경우 각 처리공정별 약품투입과정이 다소 많은 걸 느낄 수 있었는데, 예를 들면 전처리과정에 과망간산카리아염(KMnO<sub>4</sub>)을 투입하여 자연침전과정을 두어 냄새와 맛을 제거하거나, 배급수계통에 부식방지를 위해 클로라민 및 인산염처리를 한다든지, 기타 충치예방을 위해 불소화처리를 하고 있었다. 퀸레인, 박스터, 벨몬트 3개 정수장을 포함하여 상수파이프 시설은 100여년 전에 만들어 졌지만 아직껏 섬세하게 부분 부분을 개량·보수하며 효율적으로 관리하고 있었다. 또한 PWD는 미환경보호청(USEPA), 주정부, 다른 시, 美 전국의 연구단체와 활발한 교류를 하고 있으며 EPA 및 AWWA가 중심이 되어 추진하는 총괄적 정수장 개선사업(CCP)과 Partnership for Safe Water에 참여하여 자체진단을 통해 정수처리를 최적화하고 있었다. 방문한 여러 정수시설의 현장 근무자들은 높은 기술적 자긍심을 가지고 있었으며 원수 수질에 따른 적법한 정수처리 기술개발, 신 발생물질



향후 강화되는 선진 상수도 정책방향

(MTBE, NDMA)에 대한 실험실의 연구자세와 인체에 유해한 유·무기물질 저감을 위한 기술진의 꾸준한 연구·노력 등이 감탄을 자아내게 했다. 미국의 전반적인 정수처리 동향은 수질 최우선정책에 따라 반드시 simulation화된 실험을 바탕으로 환경청, 연구단체, 상수도기관이 서로 의견을 존중하면서 상호 협력하여 목표를 설정하고 Step by Step으로 추진하는 것을 볼 수 있었다.

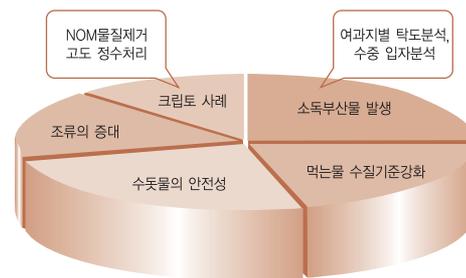
반면에, 정수처리 공정별 광통신에 의한 자동화 중앙제어시스템(SCADA+DCS)의 운영 및 유지관리, 소독부산물(DBPS) 저감을

위한 전·중염소 주입방안, 배급수 수질의 안전성 확보를 위한 최종 관말의 목표 잔류염소 feed back화 균일한 후염소기법(PID), 수 환경에 적용할 수 있는 자동화염산약품주입식 개발 및 실시간 SCD 보완, 자동화설비의 약품 최적화 정량투입 방안(오차 저감대책), 혼화·응집의 탄력적인 G값적용 및 계절별 여과공정의 Sequence Time 가변적운영 등 계장통신의 자동화 모니터링공정을 포함한 모든 정수처리시스템이 우리 서울시와 비슷함을 볼 수 있다.

미국의 수돗물은 안전음용수법, 잠정 고도 지표수처리법, 납동규제법(Lead and Copper Rule), 소독부산물법 및 수질오염 방지정책(DBPs and cross connections and backflow prevention)등에 따라 병원성미생물과 소독부산물의 저감에 주안점을 두어 원칙에 입각한 파이롯트 실험을 거쳐 보수적이고 점진적으로 개량하고, 실험과 연구과업에 꽤 시간이 걸리지만 그 대신 모든 것을 철저히 논리와 데이터를 바탕으로 결정한다.

### 1. 최근 美國의 정수처리 동향

미국의 정수처리는 1800년대에 들어 수인성질병의 창궐로 정수처리시스템이 도입되면서 여과를 시작하는 정수처리가 최초로 발달하게 되고 '93년에 크립토스פור리디움 사건으로 염소위주 소독방법과 기존의 응집·여과공정만으로는 국민의 건강을 보호할 수 없다는 현실에 직면하게 되면서 일대 전환기를 맞게 되는데 상수원에 존재할 수 있는 원생동물, 바이러스, 세균 등 병원성미생물에 대한 두려움과 미량분석기술 향상으로 그때까지 알려지지 않던 미량유해화학물질, 소독부산물이 인체에 해롭다는 인식하에 수질에 대한 관심과 더불어 수질규제법이 강화되고 1974년



향후 강화되는 선진 상수도 정책방향

공포된 안전음용수법(Safe Drinking Water Act)에 의해 미국의 모든 정수장은 적합한 정수시설관리와 수질모니터링에 의해 국민에게 깨끗하고 안전한 물을 공급해야할 의무를 명시하고 있다. 이에 따라 상수원수의 보호, 정수시설개선 및 수돗물 수질향상을

기하기 위해 자료수집법(ICR-Information Collection Rule), 고도지표수 처리법(IESWTR-Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule), 소독부산물법(DBPS-Disinfection By Products Rule) 등을 제정하게 되고 그에 대한 교육이 강화되었다.

현재 미국의 정수 기술자들이 추구하고 있는 상수도정책은 국민을 수질에서부터 궁극적으로 보호하는 방법으로 원수보호, 정수처리향상 및 적정 배급수 수질관리의 균형있는 발전 정책인 “다각보호정책”(MBA, Multiple Barrier Approach)이라는 방법으로 정수처리 향상을 기하고 있는데 그 실례로 정수처리기관들이 추구하기 시작한 것이 소위 “Treatment Optimization”이라는 정수시설 운영 최적화라는 움직임이다. 이 최적화의 취지는 가능하면 큰 시설투자나 경제적 부담 없이 자체의 인력이나 기술로 보다 나은 수질향상을 도모한다는 것이다. 이 최적화를 추구하기 위해 정수장들이 공통적으로 이용하고 있는 방법이 CCP라는 정수장진단(운영평가)과 기술지원방법을 사용하고 있는데 이러한 미국의 정수처리 방식은 보수성과 원리원칙에 입각한 그들만의 정책을 꾸준히 펴면서 미환경청이 권장하는 CCP와 Partnership for Safe Water Program을 이용하여 정수장 운영관리에 최적화를 성공시켰다.

CCP(Composite Correction Program)는 1970년대 하수처리장에서 경영향상을 기하기 위해 맨 처음 사용한 방법으로 하수처리장의 배출수가 새롭게 강화되는 수질기준을 만족하



최근 선진국의 정수처리 추세

지 못하는 원인을 조사한바 설계, 운전조작, 경년열화, 외적요인 및 행정지원미비 등 여러가지 원인으로 밝혀졌다. 이 사업

의 시행으로 하수처리장 운전 성능향상에 크게 효과를 보자 '86년 안전음용수법의 개정이후에 새롭게 강화되는 음용수 수질기준을 달성하기 위해 USEPA는 교육과정을 개설하고 제도적 장애와 문제점들을 모아 해결하고자 정수장 최적화 개념을 정부의 수도권에 전파하게 되었으며 이러한 CCP방법을 성공적으로 발전시킨 것이 Partnership for Safe Water Program이다.

병원성미생물과 유해화학물질이 사람의 건강을 위협하는 것에 대비하여 USEPA, 주, 시, AWWA, 전국 정수장 들은 CCP의 표준감사나 개선방법을 사용하되 자신의 감사자료와 결과를 PFSW에 보고해 PFSW로부터 기술지원 및 자문을 받아 수질을 향상시키는 제도로, 특징은 정수장 자체의 자발적인 참여로 PFSW에서 설정한 수질향상 목표치를 이용하여 자체의 시설상태를 진단하고 운영 최적화를 기할 수 있는 새 목표치를 설정하여 앞으로 개정될 새 법에 대비토록 하여 항상 장래 국민의 공중위생 향상에 기여한다는 것이다.

그 대표적인 예가 수돗물에 공정별탁도 목표값인데 이 PFSW의 기준에 의하면 여과처리된 물은 최소한 95%이상 0.1NTU이하가 되어야 하고 역세척시에도 최대 0.3NTU를 초과해서는 안 되는 것으로 이것은 자신의 공정을 최적화하여 꾸준히 탁도를 저감시켜 수질향상에 기여한다는 것이다.

총괄적 정수장 개선사업(CCP)이 USEPA가 중심이 되어서 추진하는 사업이라면 Partnership for Safe Water는 미국 수도협회(AWWA)가 중심이 되어서 정수장들이 자발적으로 참여하는 정수장 개선사업이라 할 수 있다. 최초의 CCP는 지표수처리법의 기준을 만족시키는데 초점을 맞추었으나 지금은 보다 적극적으로 병원성미생물의 오염으로부터 공중위생 향상을 위한 정수장효율 최적화에 중점을 두고 기본적인 자료수집, 즉 정수장의 시설구조, 운전현황, 공정별수질 등을 조사하여 그 결과를 평가기준과 비교하고 제한인자를 찾아내어 자체적으로 무엇을 어떻게하여야 하는가를 도출하여 정수장 개선을 추진하고 있다. 우리 서울시의 경우 오래된 자체 정수시설의 복잡한 특성을 고려하여 있는 그대로의 상황과 현실을 감안하여 검토하고 합리적으로 재조정된 후 정수장 효율향상 프로그램을 도입하는 것이 바람직 할 것이라 생각한다.

미국 정수장의 풍토와 정수관계자들의 특성을 보면 정부, 연구기관과의 상호협조체제에 연구와 자료를 존중하면서 진취적이면서도 보수적인 양면을 볼 수 있고 엔지니어 등 전문가들을 양성하여 우대하고 수질 우선정책을 추진하고 있다.

또한, 법을 입안하기 전에 환경청은 전국의 보건전문가, AWWA,

정수장대표, 환경보호자들로 구성된 위원들과 심사및 협상을 거치는데 이 위원들은 수처리와 수질에 대해 포괄적이고 장기적인 안목과 철저한 전문지식을 가지고 있어야만 한다.

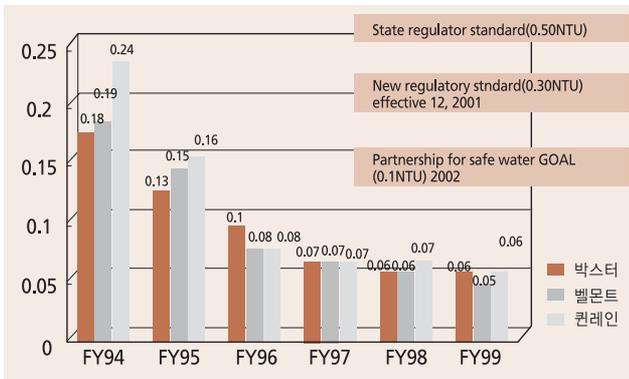
더불어 수질 우선정책을 펴가며 가장 중요한 것은 시민의 안전을 최우선으로 수질향상을 위해 매진하는 면목을 볼 수 있으며, 분석이나 연구는 공인된 실험을 거치고 QA/QC 과정을 거쳐야만 여러 사람이 인정하는 풍토를 엿볼 수 있다.

## 2. 필라델피아시의 淨水處理

### 2.1 필라델피아시 상하수본부

1) 시 전체 정수시설은 벨몬트가 326,000톤/일 시설에 65% 정도, 퀴레인은 523,000톤/일 시설에 70% 정도, 박스터 정수장의 경우 1,211,000톤/일 시설에 61% 정도로 여유있게 가동(운영)하면서 노후시설 등을 보수·점검하고 Simulation화 파이롯트실험을 통해 효율향상을 기하고 있음.

2) 원수 수질오염이 증가함에 따라 watershed라는 부서를 '99년에 신설하여 자연적으로 복원시키는 원칙하에 수원을 보호관리하고 상수원은 델라웨어(박스터정수장), 스킨쿨(퀴레인, 벨몬트정수장) 강으로 탁도3~10NTU, pH가 8.0, 알카리도가 80ppm정도로 한강원수에 비해 pH 및 알카리도가 약간 높다.



Water Quality Standards Exceeded-Cloudiness  
Decreasing Average Annual Turbidity FY94-FY99

### 3) 약품처리의 특징

— 이취미, 철, 망간을 제거하기 위해 KMnO4로 자연침전지에서 전산화처리하고 주입률 결정은 BLS에서 조류, 냄새, 맛 농도에 따라 1.0~1.5ppm으로 하되 망간침전을 예방키 위해 최대량 1.5ppm을 준수토록 하고

— 혼화지에 응집제 약품투입 순서는 응집영역이 넓은 염화철을 먼저 투입하고 중 염소처리로 BP처리 염소

0.8~1.0ppm 투입한 후, 석회를 최적 pH 6.4 이하에 맞추어 투입하고, 다음에 분말활성탄 순으로 투입하는 점이 우리와 약간 다르며 응집제의 Optimum Coagulation으로 최적 교반강도 적용이 아닌 적정pH 운영이 특징이다.

— 여과지 유출측에 클로라민 처리용 암모니아를 1.3~1.5ppm 투입하고 정수에서 잔류암모니아를 0.2~0.3mg/L로 유지토록 하며

— 배급수관 부식방지를 위해 ZnPO4를 잔류량이 0.6~0.7ppm이(pH7.4, 배급수관에 생물막 코팅이 완결되면 그때는 일정량 주입) 나오도록 투입하고, 후염소 염소를 2.0~2.3ppm(관말에 최소1.0ppm 이상 유지토록)투입하여 정수장 유출수의 잔류염소를 2.0mg/L로 유지하고 있다.

— 기타 불소를 0.7~1.2ppm을 투입하여 정수의 불소농도를 1.0mg/L로 유지하고

— 원수의 알칼리도가 높은데도 철염에 의해 pH가 많이 떨어지고, 배급수 관로의 부식 방지용으로 ZnPO4를 투입하는바 인산염은 pH가 높아야 안정화되므로 이를 보충하여 올리는 역할로 소석회를 응집제 주입후에 첨가한다.

4) 여과사층의 구조는 세 정수장 공히 Sand(유효경 0.5~0.8, 균등계수 1.4 이하)와 안쓰라사이트의 Dual Media층으로 연간 사층의 손실량이 1%정도로 아주 적어 이는 다단계 역세척에 의한 결과로 판단되며 여과후에 탁도 peak값을 줄이기 위해 Ramping실험을(cascade유입형, 자연평형형 유출방식여과지) 여과후에 wait형으로 유도하여 국내에서 변화·발전시키면 좋을 것이다.

5) 수질관리에 있어 크립토스포리디움, 풍토병 및 BDP 등의 발생가능성을 최소한으로 줄이기 위해 MCLG 등을 설정, 공중위생 향상을 기하고 잠정고도지표수처리법 쪽으로 정수처리를 강화하며 탁도 및 입자수의 모니터링을 의무화해 가는 추세이다.

— 예를 들면 여과수질의 개별적 모니터링 및 Recording을 의무화하고 3년치를 제출토록 하며 여과수 탁도를 주, 시정부는 0.5NTU 이하, PISW에서는 0.1NTU로 강화하고 탁도 피크값의 영역범위를 15분 이내로 추진중에 있으며

— IESWTR에서는 매월 95% 이상이 0.3NTU 이하를 표준으로 설정하고, 정수장 소장은 2년간 정수처리 운영Data를 분석한 후 자체 정수장 개선 프로그램에 대한 장기계획을 본부에 제시하여 PISW를 수행하게 되어 있다.

6) 각 정수장에는 공정별 샘플링실험실이 있으며, 이곳에서는 탁

도, pH, 알칼리도, 수온등을 2~3시간마다 한번씩 측정하여 자동 계측기값과 비교하여 관리하며 중앙실험실인 BLS(Bureau of Laboratory Services)에서 무기물, 농약, 소독부산물등 유기물, 이취미 유발물질, 세균, 원생동물 등을 분석한다.

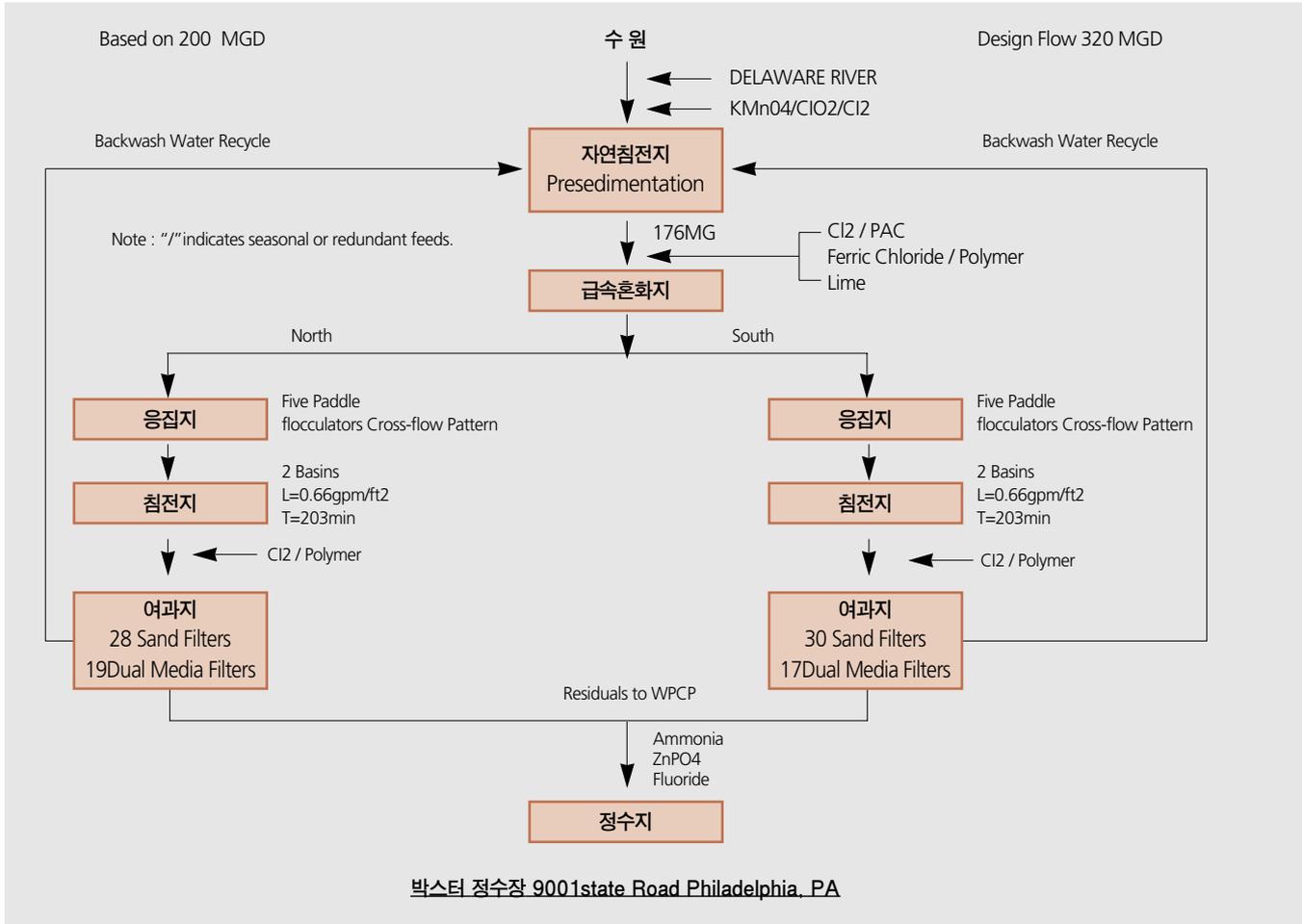
- 7) 정수장의 생산 유효율은 91~93%로 노후시설로 인한 원인으로 추정되며 필라델피아시의 우수율은 75%(미국의 오래된 도시는 65% 정도)이고 현재 인구감소로 생산량이 줄어들어 수익구조가 악화되어 주변의 Bax county등 타 개발지역으로 도매로 정수를 팔고 있으며 New castle에는 현재 협상중에 있다.
- 8) 배급수 수도전에 수질검사는 현재 200만 급수인구에 80점을 실시하고 있으나, 우리나라의 경우 인구 400만 이상의 도시는 25,000명당 1점으로 서울시는 450점 외에 추가 1100점(총1500점 이상)을 실시하는 점이 상이하다. 또한 배급수계통의 수도전에서 대장균 발견시 소화전 사용여부, 수리공사여부를 조사하고 문제된 수용가의 위와 아랫집을 측정하여 동일하게 대장균이 검출시에 주정부에 보고한다.
- 9) 정수슬러지처리 및 회수문제는 벨몬트, 퀸레인, 박스터정수장 모두 하수처리장으로 슬러지를 보내며 여기서 나무, 톱밥등을 섞어 비료, 퇴비로 재활용하여 소량은 무상공급하거나 판매하기도 한다. 또한 박스터정수장만 역세척수를 recycle시킴.
- 10) 원수와 수도꼭지수의 지아디아와 크립토포리디움에 대한 측정을 월마다 실시하고 정수장에서 수도꼭지까지 최대 4~5일 소요되어 잔류성이 좋은 클로라민을 잔류 소독제로 이용하며 지아디아와 크립토포리디움은 여과공정을 포함하여 이전공정에서의 제어에 초점을 맞춘다.
- 11) 상수도관 공사시 하수도공사와 동시에 진행하며 수도관 교체공사후(관교체주기를 100년) 수용가로 급수하기 전에 PWD의 수질연구소인 BLS에서 150m마다 시료를 채수하여 유리잔류염소, 총잔류염소, 탁도, pH, 냄새, MFcoliform 등에 대한 실험을 실시하여 응용하기에 안전한지와 수용가의 민원발생 가능성이 있는지에 평가한다.
- 12) PWD는 3년 연구기간의 pilot study 프로그램을 수행하기로 결정하였는데 각 년차별 연구내용은 1단계에서는 현 정수장의 정수처리공정 최적화, 2단계에서는 고도정수처리 기술평가, 3단계에서는 향후 정수장시설의 설계데이터 개발로 결정하였다.
- 13) 원수특성에 따라 SCD를 feed back하나 PWD의 실험결

과 응집제 주입전 염소처리를 하게되면 적정전류가 변화되어 현재 SCD에 의한 응집제주입량 feed back을 하고 있지 않음.

- 14) 배급수 계통에 생물막이나 미생물의 재성장 문제가 없는 원인은 인산염 주입과 pH제어에 의한 부식방지로 배급수 계통에서의 염소소모량을 줄이고 1970년대 이후 실시하고 있는 클로라민 처리로 염소의 지속성을 증가시킨데 있다. 또한 부식방지 연구분야는 미국의 선두주자이며 연구에 대한 계획수립, 연구설비 건설, piperack 운영 프로토콜, 시료채수, 데이터분석과 해석에 있어 방대한 업무지식을 가지고 있다.
- 15) Partnership for safe water을 PWD에서는 4팀으로 구성하여 각각 5명이 진단하고 효율저해요인의 조사 및 개선사항을 도출하여 정수장 개선사항에 대한 순위를 결정하여 단계적으로 시행토록 하며, 수질개선연구는 BLS 독자적으로 정수장의 최적화 연구는 BLS와 Planing & Research 공동으로 수행하며 환경호르몬은 AWWA와 공동으로 연구 수행할 계획이다.

## 2.2 Queen Lane 정수장

- 1) DBP 때문에 가끔 이산화염소를 사용하고 고도응집(enhanced coagulation) 으로 소독부산물 잔류물질을 제거한다.
- 2) 응집제 주입은 pH 6.5를 유지하기 위하여 철염을 주입하고 황산시설 설치중(100:1희석)으로 황산 주입후에는 응집제 주입량 저감을 예상하고 있다.
- 3) lime 사용 : 철염 사용시 pH가 하강하여 optimum coagulation 을 위해 투입
- 4) 자연침전지에서 과망간산칼륨을 주입하여 異臭味와 조류를 제거하고 이층침전지로 방문시 상층의 지말탁도는 0.42NTU, 하층의 지말탁도는 0.32NTU이다.
- 5) 응집제를 자연침전지의 유출관로에 주입하고, 소석회를 응집지 유입관로에 주입
- 6) 염소주입은 응집지로 가는 관로상에 3.0mg/L(침전지 말 잔류염소 0.2mg/L로 유지), 침전지말 2.5mg/L를 주입하고 여과수에 염소와 암모니아를 주입하여 클로라민을 형성시킨다.
- 7) 정수에 알칼리제 주입하여 pH를 7.4정도로 유지, 불소 첨가
- 8) 역세척시점 결정은 여과지속시간으로 하며 수질에 따라



34~60시간으로 한다.

### 2.3 Belmont 정수장

- 1) Schuylkill 강으로부터 원수를 전량 취수하는데 지류영향을 더 많이 받는 상수원으로 원생동물이 더 많이 검출되고 여과지 누출성 조류인 cyclotella bloom이 대부분으로 대량 발생시 누출방지를 위해 과망간산칼륨과 양이온계 폴리머를 강화 투입한다.
- 2) 자연침전지 용량은 35MG이고 깊이는 29feet로 과망간산칼륨을 투입하여 조류를 제거하며 고탁도 원수가 유입되었을 때 원화시키는 역할과 원수특성 변화시에 대처할 수 있는 충분한 여유를 준다. 예로 취수한 원수의 탁도가 300NTU 였을때 자연침전지 유출부의 탁도는 100NTU 이하로 낮아져 정수처리에도 부담을 덜어준다.
- 3) 자연침전지와 응집지 사이에 염소, 응집제, 소석회, 폴리머 투입
- 4) 침전지말 잔류염소 0.8mg/L로 유지

- 5) 침전지와 여과지 사이에 염소, 폴리머 투입
- 6) 응집제 투입량은 자연유기물질과 SS의 동시 제거하는 투입량으로 결정
- 7) Jar-test 조건은 완속교반 20분, 침전시간 25분이다.
- 8) 소석회투입량은 응집제의 최적 응집범위와 최종 처리수의 pH를 고려하여 결정
- 9) 여과지와 정수지 사이에 암모니아, 염소, 인산염 투입
- 10) 침전지말 탁도를 1NTU이하로 유지하고 혼화지는 없으며 관로상에서 수리적 혼화를 실시하고 응집지는 2단으로 체류시간은 42~45분이다.
- 11) 여과지 구성  
 안쓰라사이트 : 두께 : 21inch(53cm), 유효경 0.9~0.99, 균등계수 1.4 이하, 비중 1.5  
 모래 : 두께 : 8inch(20cm), 유효경 0.40~0.48, 균등계수 1.4 이하  
 자갈층 : 두께 : 9inch(23cm)
- 12) 응집지 baffle 상태가 좋지 않고 C\*t값 만족을 위해 염소투입

량이 많다

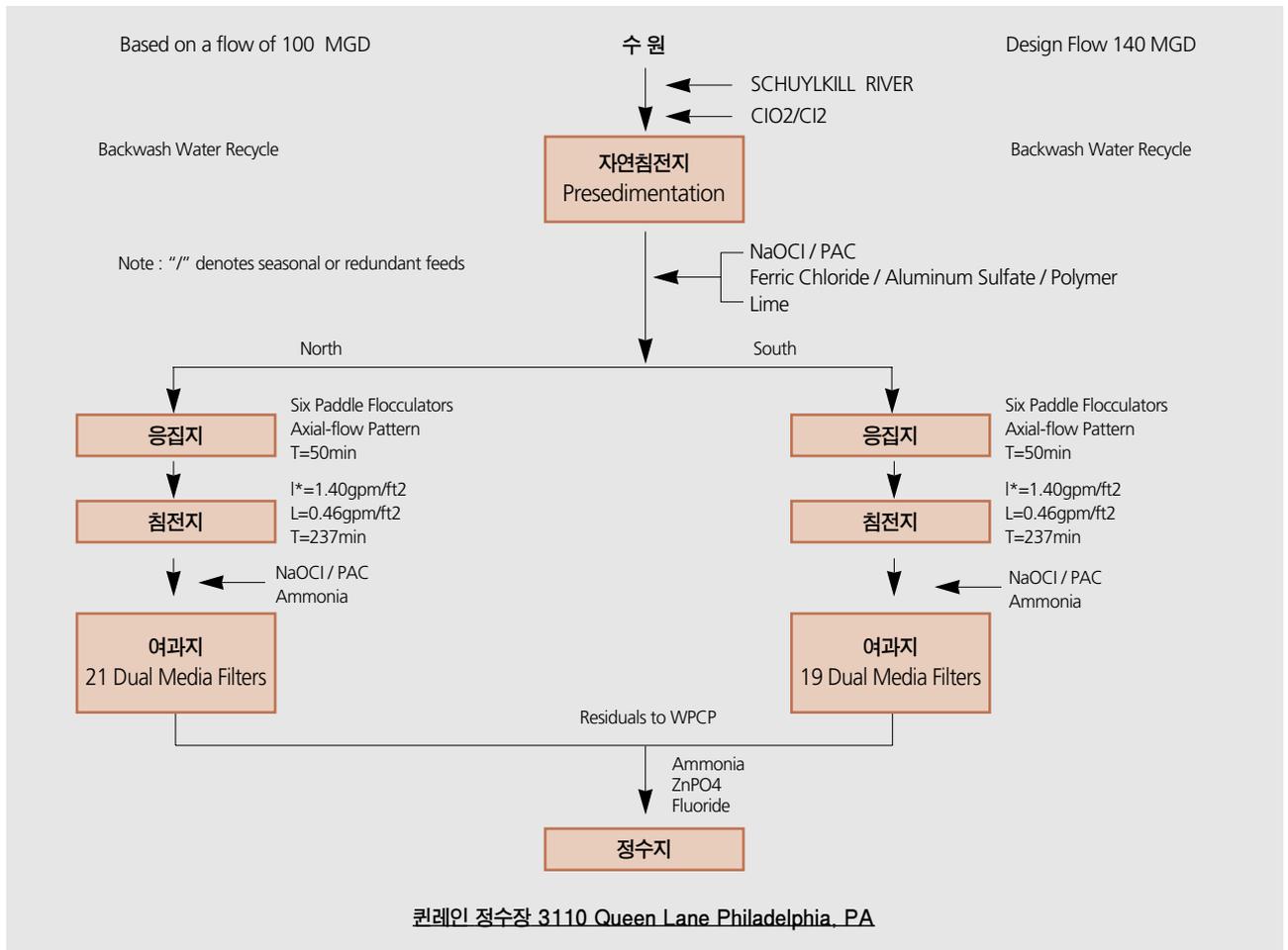
- 13) 현재 SCD, pH와 탁도에 관한 연구를 수행하고 있는데 중간 연구결과 원수 pH가 높을 때 SCD의 신뢰도는 많이 저하되며 pH 6.5 부근에서 신뢰할 수 있다.
- 14) 초기탁질누출 제어를 위해 1시간 휴지를 주고 있으며, 휴지후 정수밸브를 바로 완개하지 않고 30분정도 소요되게 한다.
- 15) 하부집수장치가 유공블럭형으로 총 22지중에 점토타일 4지를 플라스틱타일로 교체 설치하여 비교, 연구하고 있다.
- 16) 현재 THMs의 농도는 50~60ug/L 범위로 미래에 기준치가 하향될 것을 대비하고 크립토포리디움은 기존공정에서 2log 제거하도록 되어 있는데 향후에 4~6log 제거하도록 법이 개정될 가능성이 있어 현재 ozone에 대한 pilot plant 연구를 수행하고 있다.

2.4 Baxter 정수장

- 1) 취수장 위치가 바다 인접으로 조류(tide)의 영향을 받으며,

오이냄새가 빈번히 발생하여 과망간산칼륨으로 제어하며 고평이냄새도 60-70% 제거한다.

- 2) 자연침전지의 체류시간은 18시간
- 3) 년중 역세척수를 회수하여 재사용하고 역세척수의 입자수를 모니터링한다.
- 4) 겨울철 여과지숙성기간이 길어져 응집보조제를 주입한다.
- 5) 역세척은 손실수두와 여과지숙시간에 의해 결정하며 보통 모래여과지는 48시간, 이층여과지는 60시간에서 역세척을 실시한다.
- 6) Pilot plant는 PWD 직원인 Project manager가 총 지휘하며 정수장 pilot plant별로 연구원 3명과 데이터 관리자 1명으로 구성하여 연구·진행하고, 수처리연구 전문용역업체에 용역을 주어 용역회사에서 연구 세부추진계획, pilot plant 설계 및 제작, 연구수행, 보고서작성등을 수행하며, 매주 진행사항을 manager에게 보고하고 4개월에 한번 기술자문위원회를 개최하여 공정별로 평가, 운영된다.
- 7) enhanced coagulation 연구 수행으로 pH 5.5에서 TOC



제거율이 60~70%로 매우 높았지만 잔류철의 농도, 탁도, 입자수가 상승하는 문제점이 있어 최적 pH 조건으로 6.5를 선택하여 실제 정수장에 반영하여 운영한다.

- 8) 원생동물의 대체지표인 ASF(Aerobic Spore Forming Bacteria)를 이용한 실험에서 여과공정의 최적화가 가장 중요함을 규명하였다.

### 2.5 PFSW에 의한 여과효율 개선

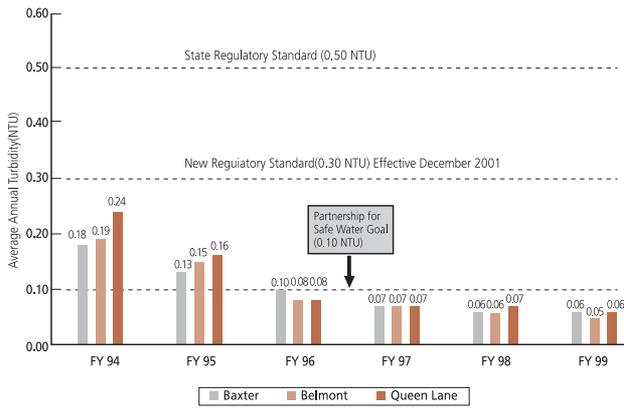
- 1) 정수처리단체와 EPA는 크립토스포리디움의 위협에 대처하기 위하여 Partnership for Safe Water를 개발하였는데 크립토스포리디움에 대한 믿을만한 데이터가 부족하여 시민건강을 보호하기 위한 법을 EPA에서 제정하지 못하고 있는바, Partnership for Safe Water는 크립토스포리디움에 대한 유용한 데이터가 모아질 때까지 정수처리단체에서 자체적으로 규제하도록 하는 임시적인 조치를 취하였다. 정수처리단체에서는 EPA에서 작성한 CCP 수행에 대한 지침서("Optimizing Water Treatment Plant Performance Using The Composite Correction Program")를 활용하고 있는데 1996년 1월 PWD는 EPA와 정수처리단체간의 협력프로그램인 Partnership for Safe Water에 참여하는 협정을 맺고, 동년 8월에는 펜실바니아주 환경보호국과 협약을 맺었다. 이런 포괄적인 자체평가과정을 통하여 수도국에서는 수질오염물질의 누출방지를 위하여 각 처리공정을 평가하게 되었다.
- 2) 각 정수장에서 2회/년이상 전체 여과지에 대한 등급분류를 실

시하여, class1 : 0.1<NTU<0.3 < 15minutes, class2 : 0.1<NTU<0.3 >15minutes, class3 : 0.3<NTU<0.5, class4 : 0.5<NTU, < 4hours, class5 : 0.5<NTU, >4hours or 1.0<NTU, >15minutes 5단계로 구분하여 원수 조건에 따라 ①1년간 지별 여과수 수질경향을 파악하여 여과효율 등급별로 분류 ②초기 누출완화를 위한 휴지와 Ramp실험 ③역세척수에 Polymer를 주입하여 저수온시 효과평가 ④다단계 역세척의 효율평가 실험을 하여 다음과 같이 등급별로 여과지를 분류하고

- 3) 효율저하 원인을 ①여재표면에 머드볼 ②역세척시 여재팽창을 및 유실량조사 ③여과지에 잔류하는 머드( Solid Retention Analysis에 의해 결정)조사 ④여재 유효경이 설계치와 차이 ⑤자갈층 교란과 막힘 ⑥하부집수장치아래 여재유출 ⑦밸브 혹은 펌프 등의 역세척수 공급시스템의 이상 ⑧콘크리트 균열을 포함한 구조적 문제 ⑨6년간 평균 정수탁도 경향 ⑩여과지의 역세척 유량의 불균등 등 시설적인 문제와 여과지 조건의 변화여부를 평가하여 일상적인 유지관리 노력으로 최적화 개선이 될 수 있도록 유도한다.
- 4) 수도본부에서 4명의 조종위원회(steering committee)를 구성하여 프로그램 실행을 감독하게 했으며 조종위원회에서는 6명의 실무추진팀을 만들어 자체진단을 수행하기 위한 권고사항을 개발토록 하였는바, 팀별로 현장조사와 각 정수장별 년보 및 운영보고서, 조직도, 운영일지, 실험일지 등을 분석하여 설계분야, 운영분야, 행정분야, 유지관리분야별 자체평가 수행을

월	Class1 (%)	Class2 (%)	Class3 (%)	Class4 (%)	Class5 (%)	# of BWs
98. 7	78	22	0	0	0	94
98. 8	86	14	0	0	0	84
98. 9	97	3	0	0	0	84
98. 10	51	49	0	0	0	85
98. 11	69	4	0	0	0	78
98. 12	22	78	0	0	0	90
99. 1	70	29	0	1	0	85
99. 2	77	23	0	0	0	79
99. 3	76	24	0	0	0	86
99. 4	88	12	0	0	0	88
99. 5	93	6	0	1	0	90
99. 6	100	0	0	0	0	106
평균	70	30	0	0	0	1049

월간 등급별 여과지 분류



**Water Quality Standards Exceeded-Cloudiness  
Decreasing Average Annual Turbidity FY94-FY99**

위한 지침서를 작성하고 ① 통합 여과수 탁도는 항상 0.1NTU이하를 유지해야 하며 개별 여과수도 역세척 직후를 제외하고는 0.1NTU이하를 유지 ② 여과지별 역세척 직후 탁도는 0.1NTU를 초과하는 시간이 15분 이내로 최고 탁도는 0.3NTU를 넘지 말아야 한다 ③ 지아디아 1log CT, 바이러스에 대하여 2log CT 만족하는지 검토한 후

5) 세 정수장에 대한 조사와 평가과정을 모두 마친 후에 1996년 10월 추진팀의 모든 구성원, 각 정수장의 책임자, 조종위원회의 위원, 외부 정수장 효율평가 전문가, 펜실바니아주 환경보호국 담당자들이 참여하여 각 정수장의 잠재적이거나 실제적인 효율저해요인을 나열하고 우선순위를 정하였다. 효율개선을 위한 저해인자 및 유지보완 조치사항으로

① 신뢰할 수 있는 주요공정별 공정제어실험실의 sample line설치 ② 정수장 운영자의 응집공정에 관한 고려할 사항에 대한 심도깊은 이해 ③ 패들속도, 유량변화, 응집보조제 사용 ④ 응집제 전환과 이에 따른 수질에 미치는 영향 ⑤ 알칼리도, pH, 수온의 영향 ⑥ 갈수시와 저수온시의 영향 ⑦ 역세척, 응집/침전지 운영을 포함한 모든 공정의 실시간 감시 ⑧ 유량변화의 평가 ⑨ 소독신뢰성을 위한 추적자실험(CT계산) ⑩ 여과지운영과 역세척의 점검과 평가 ⑪ 구조물 점검 ⑫ CT를 만족시키는 방법의 다양성(접촉시간 증가 및 정수지 baffling 구조개선등) ⑬ 각 지별 on-line 자동탁도계 및 on-line 잔류염소측정기와 pH 측정기 설치 등을 제시하였다.

- 6) PWD는 15년 이상 여과지 평가를 수행해 오고 있는데 평가 항목을 계속 변화시키고 있으며 이런 작업은 Partnership 목표가 100% 달성될 때까지 계속 진행할 것이며 여과지 평가는 한사람이 계속해서 수행하는 것이 가장 바람직하며 담당자의 변경을 대비하여 서류상으로 기록을 남기며 측정값, 도면 혹은 사진 등을 첨부하는 것이 바람직하다.
- 7) 본부에 있는 정수장 감독부장이 본부 차장, 연구소 간부, 원수관리 실무책임자, 정수장 소장등에게 3정수장의 수질에 대한 일보를 e-mail로 매일 송부하여 업무에 참조하도록 하고 있다.

**2.6 새로운 이취 · 미 검출방법(FPA Test)**

1) Arthur D. Little사에서 남부캘리포니아 metropolitan water district의 Stuart Krasner에게 FPA 시험방법을 제안하였으며 그는 이 시험방법을 상수도분야에 접목시켰다.

구분	Belmont	Queen Lane	Baxter
원수 탁도	3.3	1.2	7
원수 냄새	Musty	MU1	VEM17
정수 탁도(NTU)	0.05	0.05	0.06
정수 잔류염소(mg/L)	2.1	2.2	2.1
정수 냄새	Musty	MU1	VEM17
정수 pH	7.4	7.3	7.4
전날 송수량(MGD)	41.8	90	185
% C*t	551	667	320

**Representative odor reference standards**

그 이후 Mel Suffet, Djanette Khiari(UCLA School of Public Health), Thomas Gittleman(Philadelphia Suburban Water Company), Stuart Krasner(Metropolitan Water District of Southern California) 와 Joel Mallevalle(Lyonnaise des Eaux-Dumez) 등이 FPA 적용방안에 대한 작업을 진행하여 표준화시켰다.

2) 시료의 관능적 특성을 조사하기 위하여 4명~5명의 훈련받은 panelist가 필요하고 panelist는 시료에 존재하는 여러 맛, 냄새의 특성을 감지하고 확인할 수 있는 능력을 가져야 하며

FPA는 상당한 정도의 훈련을 받은 panelist와 결과를 해석하는 사람이 필요하고 결과의 재현성은 panelist의 훈련과 경험에 의존하며 먼저 panelist들은 토론 없이 지각내용을 기록한 후 모든 panelist들이 각자의 시료에 대한 평가를 한 후 일치된 평가에 도달할 때까지 토론을 진행한다.

3) 피로를 야기할 수 있는 인자, 즉 조사될 시료의 강도, 존재하는 냄새종류, 휴식시간등 간섭인자를 조사하고 FPA를 사용하기 전에 흡입시 유해한 화학물질이 포함되어 있는지를 검토해야 하며 FPA는 시료에 대하여 토론과정을 거쳐 일치된 결론에

Compound	Odor Characteristics	Stock Solution (mg/L)	Amount Spiked Into 200mL Pure Water at 25°C for Presentation
2,3,6-trichloroanisole	Leather, earthy	1000	4 $\mu$ l for 20 $\mu$ g/L
2,3-diethylpyrazine	Mildew, damp basement	1000	2 $\mu$ l for 10 $\mu$ g/L
2-isopropyl-3-methoxy pyrazine	Potato bin, musty	1000	40 $\mu$ l for 200 $\mu$ g/L
cis-3-hexene-1-ol	Fresh grass, green apple	1000	100 $\mu$ l for 500 $\mu$ g/L
Nonanal	Hay, sweet	1000	40 $\mu$ l for 200 $\mu$ g/L
Dimethyl sulfide	Decaying vegetation, canned corn	1000	1 $\mu$ l for 5 $\mu$ g/L
Dimethyl disulfide	Septic	1000	2 $\mu$ l for 10 $\mu$ g/L
Dimethyltrisulfide	Garlicky, oniony, septic	0.2	50 $\mu$ l for 50ng/L
Butyric acid	Putrid, sickening	1000	200 $\mu$ l for 1mg/L
1-dodecanol	Liquid dish detergent	1000	500 $\mu$ l for 2.5mg/L
trans,2-nonenal	Cucumber with skin	1000	40 $\mu$ l for 200 $\mu$ g/L
Diphenyl ether	Geranium	1000	20 $\mu$ l for 100 $\mu$ g/L
d-limonene	Citrusy	1000	400 $\mu$ l for 2mg/L
Hexanal Lettuce	heart, pumpkin, green pistachio	1000	40 $\mu$ l for 200 $\mu$ g/L
Benzaldehyde	Sweet almond	1000	200 $\mu$ l for 1mg/L
Coumarin	Vanilla and black cherry	1000	200 $\mu$ l for 1mg/L
Ethyl-2-methyl-butyrate	Fruity, pineapple	1000	1000 $\mu$ l for 5mg/L
2-heptanone	Banana-like, sweet solventy	1000	100 $\mu$ l for 500 $\mu$ g/L
Hexachloro-1,3-butadiene	Sweet, minty, Vapo Rub	1000	800 $\mu$ l for 4mg/L
2-isobutyl-3-methoxypyrazine	Green/bell pepper, musty	1000	40 $\mu$ l for 200 $\mu$ g/L
Heptanal	Rancid walnut oil	1000	20 $\mu$ l for 100 $\mu$ g/L
trans,2-trans,4-decadienal	Rancid oily	1000	1000 $\mu$ l for 5mg/L
Butanol	Alcohol, solventy	1000	200 $\mu$ l for 1mg/L
Eucalyptol	Topical oinment for chest colds	1000	40 $\mu$ l for 200 $\mu$ g/L
Pyridine	Sweet, alcohol, organic	1000	400 $\mu$ l for 2mg/L

**Representative odor reference standards**

도달해야 하므로 토론과정 중, 어떤 개인의 의견이 결과를 지배할 수 있는 강한 성격의 소유자는 pannel에서 제외시키고, FPA에 사용되는 기구와 유리는 다른 용도로 사용해서는 안되며 교차오염을 방지하기 위하여 깨끗하고 냄새가 없는 용기에 보관해야 한다.

- 4) 시료병은 시료의 이취미 보관을 위하여 마개가 있는 유리를 사용해야 하며 1:1 HCl/H<sub>2</sub>O로 산세척 및 냄새 없는 물로 적어도 세 번이상 헹구고 잔류냄새가 있는지를 확인하여 사용한다. 실험을 하는 페널 각자는 용기에 의한 냄새로 시료 분석이 방해가 되는지를 확인하고 계속적으로 방해가 된다면 다른 용기를 고려해야 하고 페널에 따라 플라스틱컵이나 ST32 ground glass stoppers를 가진 Erlenmeyer flask를 선택한다. 25°C에서 분석하고 한번 선정된 용기는 계속해서 동일하게 사용해야 한다.
- 5) 냄새나 맛의 강도는 0 : 냄새없음, T : threshold, 2 : 매우 약하다, 4 : 약하다, 6 : 조금약, 8 : 보통, 10 : 보통강, 12 : 강하다, 12등급으로 구분하고 이런 맛과 냄새 등급결정은 기지농도의 표준시료를 이용하여 훈련받을 수 있다
- 6) 기존 FPA 분석방법은 6~10명의 페널리스트가 필요하고 비용이 많이드는 단점이 있어 이런 문제점의 해결을 위하여 PWD에서는 기존 FPA 방법을 개선한 3가지 관능시험법을 비교하고 있으며 이방법은 1-2명이 실험을 할 수 있고, 매일 실시할 수 있으며 비용이 저렴하고 처리결정에 대한 정보를 제공한다, 또한 정수장 운영 실무자가 매일 정수의 냄새실험을 하여 전날의 시험결과와 차이가 있는지, 차이가 무엇인지를 규명하는 것이 골자이다.

### 2.7 PWD의 Corrosion Control Treatment Feasibility Study

- 1) PWD에서는 방대한 배급수관망의 부식방지를 위해 지난 수십년 동안 여러종류의 inhibitor 제품에 대한 bench 및 실규모 실험을 다양하게 연구하여 EPA의 납동법(Lead and Copper Rule)과 펜실바니아 주정부의 규제법을 만족할 목적으로 3개 정수장에 최적 부식방지를 위한 desk-top 평가, piperack, Jar- testing을 실시하였다.
- 2) 시민들의 적수 민원에 대응하여 PWD에서는 1950년대 부터 부식제어를 실시해 왔으며 sodium hexametaphosphate를 최초로 주입하였으며 필라델피아의 덮개없는 배수지에 조류가 번성하는 문제가 발생한 1973년까지 계속해서 sodium hexametaphosphate가 주입되었다. 1973년 이후로 벨몬트와 퀸레인 정수장에 부식제어 약품으로 mild

steel coupons의 부식억제에 효과가 있는 orthophosphate을 사용하게 되었고 박스터 정수장은 1993년 까지 정수의 pH를 8.0에서 8.2로 유지하였으며 1993년 이후로는 zinc orthophosphate을 사용하게 되었다.

- 3) 모든 정수장에서 Zinc Orthophosphate의 유지농도를 기존보다 3배 가량인 0.36mgPO<sub>4</sub>/L 로 상향조정하여 배급수관망에 보호막 형성을 위한 최적화연구를 계속 실시하였으며, calcium carbonate 침전물을 증가시키기 위하여 pH나 알카리도를 조정하는 것은 PWD의 배급수관망의 규모에 비추어 실제적인 방안이 되지 않을 것으로 판단하여 orthophosphate inhibitor 주입량을 1mg/L, pH 7~8의 조건에서 납농도를 줄일 수 있는 연구로 전환하였다.
- 4) 수계별 수도꼭지 수질분석 결과 현재의 부식제어방안은 최적화 상태가 아니고, 정수장에서 생산된 정수가 혼합되어 공급되는 지역에 문제가 있음을 발견하여 정수장별로 부식제어 방안의 표준화가 필요할 것이라는 결론에 도달하였다. 따라서 시스템의 제한인자 및 정수의 pH 조정시에 소독효율, 소독부산물 생성, 이취미제어등에 역작용을 일으킬 수 있는지를 검토하여 Zinc Orthophosphate 주입농도를 0.12mg/L로 제한하여 배급수 수질의 변화정도와 속도를 최소화시켰다.
- 5) 정수장별로 생산된 정수가 혼합되어 공급되는 지역에 배급수시스템의 재평형으로부터 발생할 수 있는 수질상 역작용을 억제시키고 소독효과와 이취미에 대한 pH 변화의 영향을 고려한 경제적이고 현실적용 가능한 부식제어 전략으로 파이프랙을 이용한 약품의 최적화에 초점을 두어 ①배급수시스템에서 납성분이 포함된 급수관을 모의실험하고 ②가정배관 시스템을 모의실험하며 ③배급수시스템에서 주철관을 모의실험 하였다.
- 6) piperack 실험결과 박스터정수장의 경우 납관 및 동관시설물의 최적 부식방지를 위한 조건은 pH를 7.5부근에 orthophosphate의 주입량 0.70mg/L로 나타났다, 따라서 PWD는 최적의 부식제어가 orthophosphate을 포함하고 있는 억제제의 사용을 통하여 가능하며 세곳의 정수장에 대한 최적 부식 제어는 ① pH = 7.3~7.8, ② zinc orthophosphate=0.6~0.8mg/L(as phosphate)로 유입지점의 수질조건하에서 달성된다는 결론에 도달하였다.
- 7) 역사적으로 PWD는 부식제어에 효과가 좋은 zinc orthophosphate을 사용해 왔는데 orthophosphate의 농도를 높게 유지하고자 할 때 동반하여 슬러지에 아연함량의

문제로 수도국에서는 아연을 포함하지 않는 orthophosphate inhibitor를 실험하게 되었다. PWD는 납과 동의 제어를 위해 원수에 대한 어떤 처리가 필요한지에 대한 검토와 알카리도, 전기전도도, 총 용존고형물과 같은 부식관련 인자에 대한 평가도 수행하였으며 어떤 추가적인 처리가 필요하지 않다는 결론에 도달하였다.

## 2.8 PWD의 ICR 평가 보고서

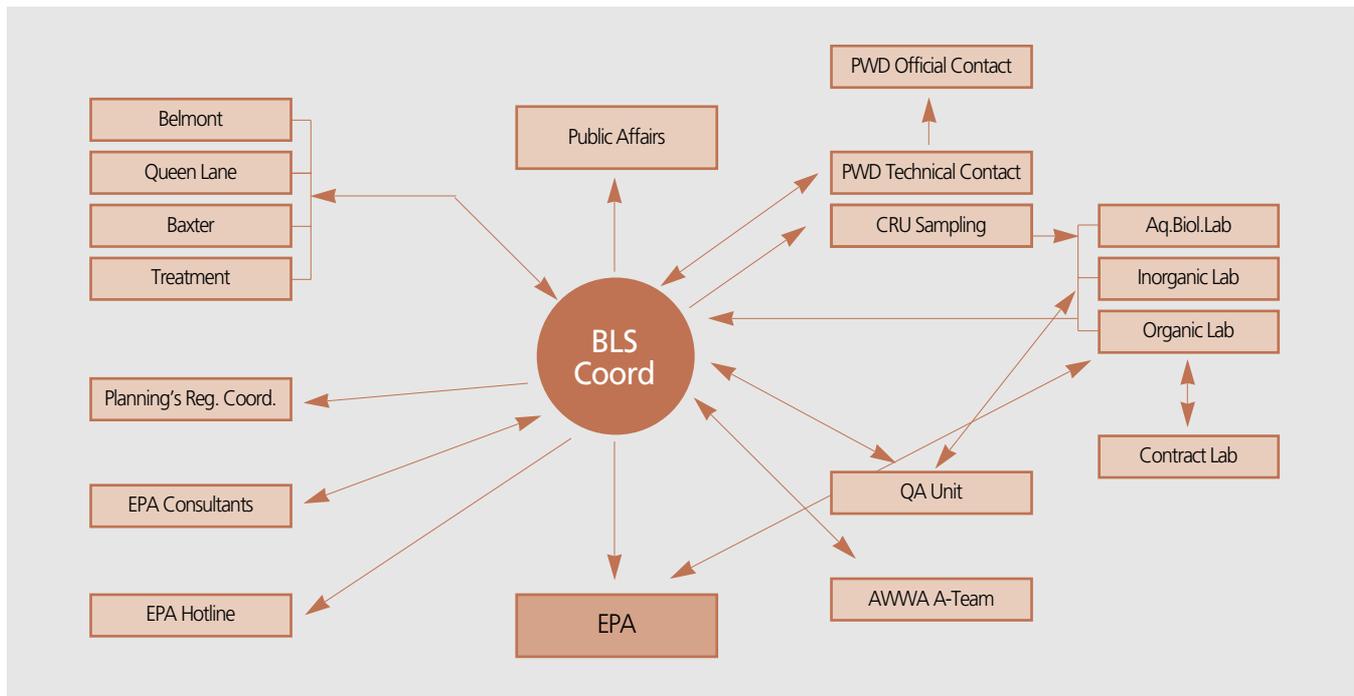
1) ICR은 미국 역사에서 가장 대규모의 조직적인 음용수데이터 수집프로젝트이다. ICR데이터는 2단계 소독부산물 규제법안을 제정하는 토대가 되며 부수적으로 1997~1998년 기간중 대규모 정수장의 원수수질, 처리공정, 부산물발생농도등에 대한 국가적정보를 제공한다.

PWD의 보고서팀은 ICR수행 수질데이터를 두가지 관점에서

1000cysts/100L를 넘지 않았으며 바이러스도 100MPNIU/100L를 초과하지않아 정수에 대한 분석은 실시하지 않았는데 지아디아가 Queen Lane 취수장에서 더 빈번히 검출되었고 크립토스포리디움은 Queen Lane과 Belmont에서 단지 한번 검출되었으며 모든 검출된 지아디아와 크립토스

	Baxter	Queen Lane	Belmont
Maximum	259	636	342
Minimum	3	2	2
Average	89.8	77.9	70
90th percentile	207	126	142

PWD의 원수에서 검출된 ICR Giardia Densities



분석하였는데 첫째 수질데이터에 근거하여 PWD에서 향후 수행해야 할 일, 둘째 미국 EPA가 향후 수질규제와 관련하여 가야할 방향과 가지 말아야 할 방향을 도출한다.

2) ICR 프로그램 관리도

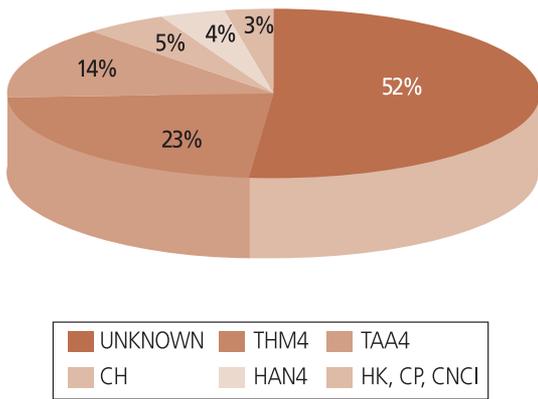
3) PWD의 원생동물, 바이러스, 대장균 시험결과 1997년 7월부터 1998년 12월까지 18개월간 원수중 원생동물, 바이러스, 대장균의 분석을 위하여 취수장에서 채수되었다. ICR수행 내내 원수중 지아디아와 크립토스포리디움의 농도는

포리디움은 추정이며 원수 ICR에서 확진된 검출은 없었다. Queen Lane 취수장으로 부터 가장 높은 지아디아 농도가 Schuylkill 강에서 검출되었고 Baxter에서 검출된 최고농도는 조류때문에 잘못 분석된 것이었다.

4) 지아디아와 크립토스포리디움에 대한 ICR은 PWD의 데이터베이스로부터 관찰된 것과 차이를 보였으며 바이러스는 ICR 데이터가 크립토스포리디움보다 더 빈번히 검출되었으나 지아디아보다는 적었다. 바이러스, 지아디아, 크립토스포리디움

의 발생빈도는 서로 다른경향을 나타내 원수에서의 세 미생 물간 관련성이 없음을 암시하였다. ICR colifom과 PWD coliform 데이터는 비슷한 경향을 나타냈으며 Queen Lane 이 더 분변오염이 있음을 암시하였다.

- 5) 소독부산물과 소독부산물 전구물질(2000년 2월)을 보면 THMs발생농도는 계절적 영향에 크게 좌우되었으며 Belmont와 Queen Lane 정수장에서 HAAs의 발생농도는 단 기간내에서 변화가 심하고 이런 경향때문에 HAAs에 대한 분기별 측정으로는 연평균농도를 대표할 수 없다.
- 6) TOX(2000년 2월)는 시료중 할로젠이 결합되어있는 소독 부산물질은 소독을 위해 주입되는 염소가 천연유기물질과 브로마이드 이온과 반응할 때 발생된다. THMs, HAAs, HANs, HKs는 GC에 의해 일상적으로 분석할 수 있는 잘 알려진 DBPs이다.  
그러나 수중에는 염소소독에 의해 아직 화학적구조가 밝혀 지지 않은 소독부산물도 발생시킨다. ICR TOX 데이터분석 결과 배급수에서 TOX 농도는 Baxter, Belmont, Queen Lane에서 각각 158, 161, 165ug/L였으며 평균적으로 THMs과 HAAs은 TOX중 각각 23%, 14%를 구성하였으며 다른 ICR DBPs의 구성비는 12%였다.
- 7) ICR의 목적중 한가지는 실제 배급수 계통에서의 소독부산물 시료를 실험실에서 정수를 숙성시켜 모의실험할 수 있는 지를 검토하는 것으로 PWD에서는 SDS(Simulated Distribution System)와 DSE (Distribution System



Equivalent) ICR 시료의 실험결과를 비교하여 SDS의 현실 적용가능성을 평가하였다.

2.9 최근 수질규제법안 동향

- 1) 최근 EPA에서는 stage 2 D/DBP Rule과 Long-Term

ESWTR( Enhanced Surface Water Treatment Rule)을 제정 작업중에 있는데 필라델피아 수도국에서 현재까지의 추진정보를 보면

- 2) Stage 1 D/DBP Rule
  - THMs과 HAAs의 MCLs은 Stage 1 D/DBP Rule의 MCLs인 80ug/L와 60ug/L에서 기준을 더 낮추지는 않을 것이다.
  - bromate의 기준을 10ug/L에서 5ug/L로 낮추는 문제에 대하여 논란이 아직 많다.
- 3) Long-Term ESWTR
  - 대규모 수도사업체에 대하여 매월 원수에서 크립 토스포리디움을 모니터링하도록 요구할 것이며 그 기간은 2년 혹은 4년간이 될 것이다.
  - 모니터링 결과 원수중 크립토스포리디움의 평균 농도에 따라 ①7.5 oocysts/100L이하 : 어떤 조치도 필요하지 않음 ②7.5oocysts/100L ~100 oocysts /100L : 1log 제거필요 ③100oocysts /100L ~ 300oocysts/100L : 2log 제거필요 ④300oocysts/100L 이상 : 2.5log 제거필요.
  - 2log와 2.5log 제거를 위해서는 적어도 소독공정에서 1log 제거가 필요하다. 법안에는 소독방법으로 UV, 오존, 막, 강독여과 등을 포함시킬 것이다.

3. 기타 도시

3.1 Erie County 및 ERIE Sturgeon Point 정수장(버팔로 시)

- 1) 상수원은 나이아가라강 원수로 수질은 1급수(0,9 -1.5NTU), 아주 깨끗하고 수중 35ft(약10m) 심층수를 취수한다.
- 2) 버팔로시의 정수시설은 '78년도 건설한 이리 카운티 정수장(60MGD)과 '59년도 건설한 ERIE Sturgeon Point 정수장(150MGD)등 총 5개 정수장에서 수돗물을 생산하여 (2개 정수장에 평균 가동율은 50%미만)약 100만 시민에 물을 급수하고 있으며,
- 3) 여과공정에 현재 EPA의 요구로 원수평가를 실시중인 뉴욕시와 130만불 계약을 맺어 수익사업으로 지아디아와 크립토스포리디움을 분석하고 있으며, 응집제는 캐나다 산 STERN PAC를 사용하고 염기도가 50정도로 저장시 침전물이 적음.
- 4) 버팔로시의 이리 카운티 정수장과 ERIE Sturgeon Point 정수장의 공정별 탁도변화를 보며는 원수 : 0.9~1,5NTU, 침전지말 : 0.42~0.44NTU, 정수 :

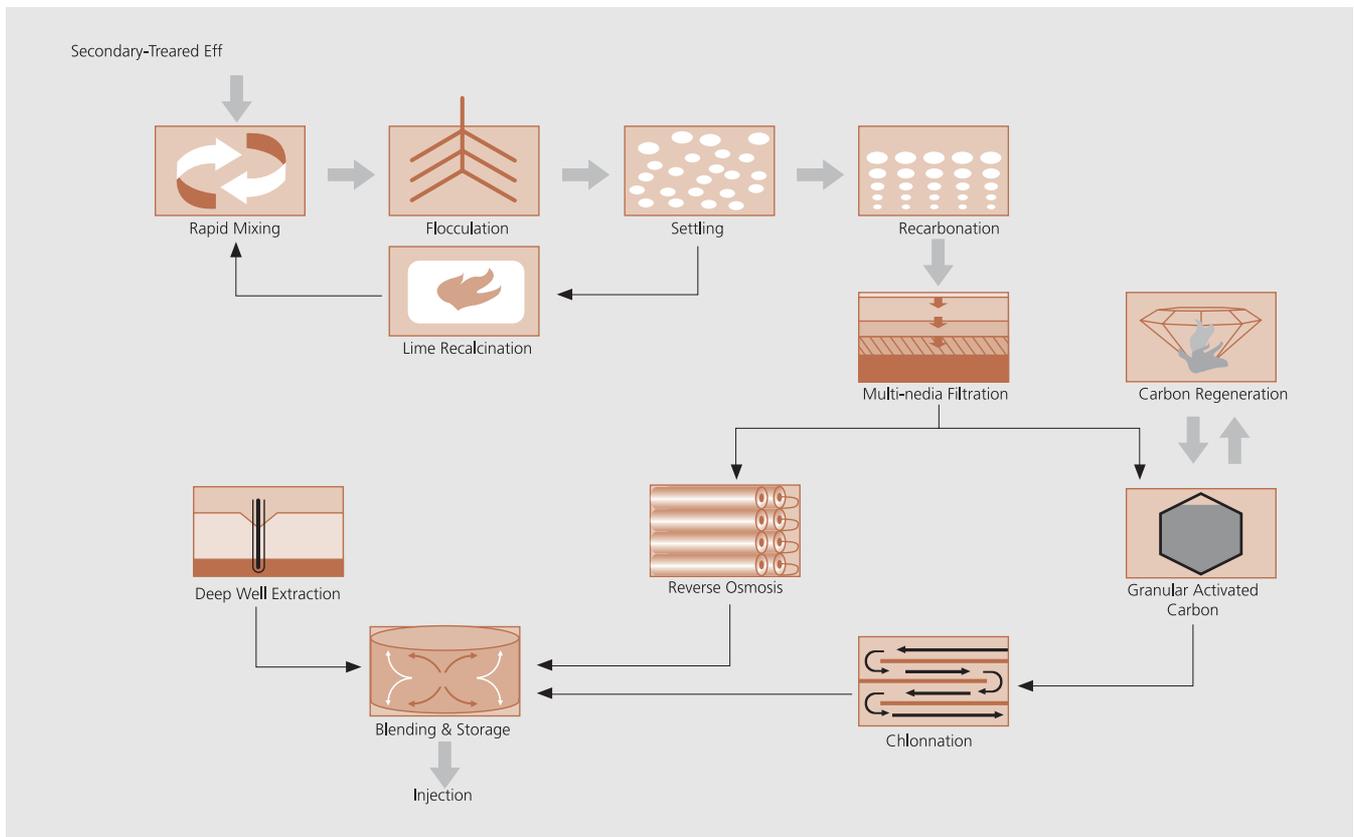
0.043~0.049NTU로 양호하고 정수수질은 pH가 7.9, 경도가 약 110으로 부식예방지수가 높아 인산염처리는 하지 않고 있음(인산염에 의한 2차오염을 고려하여 부식방지를 pH조절만 실시).

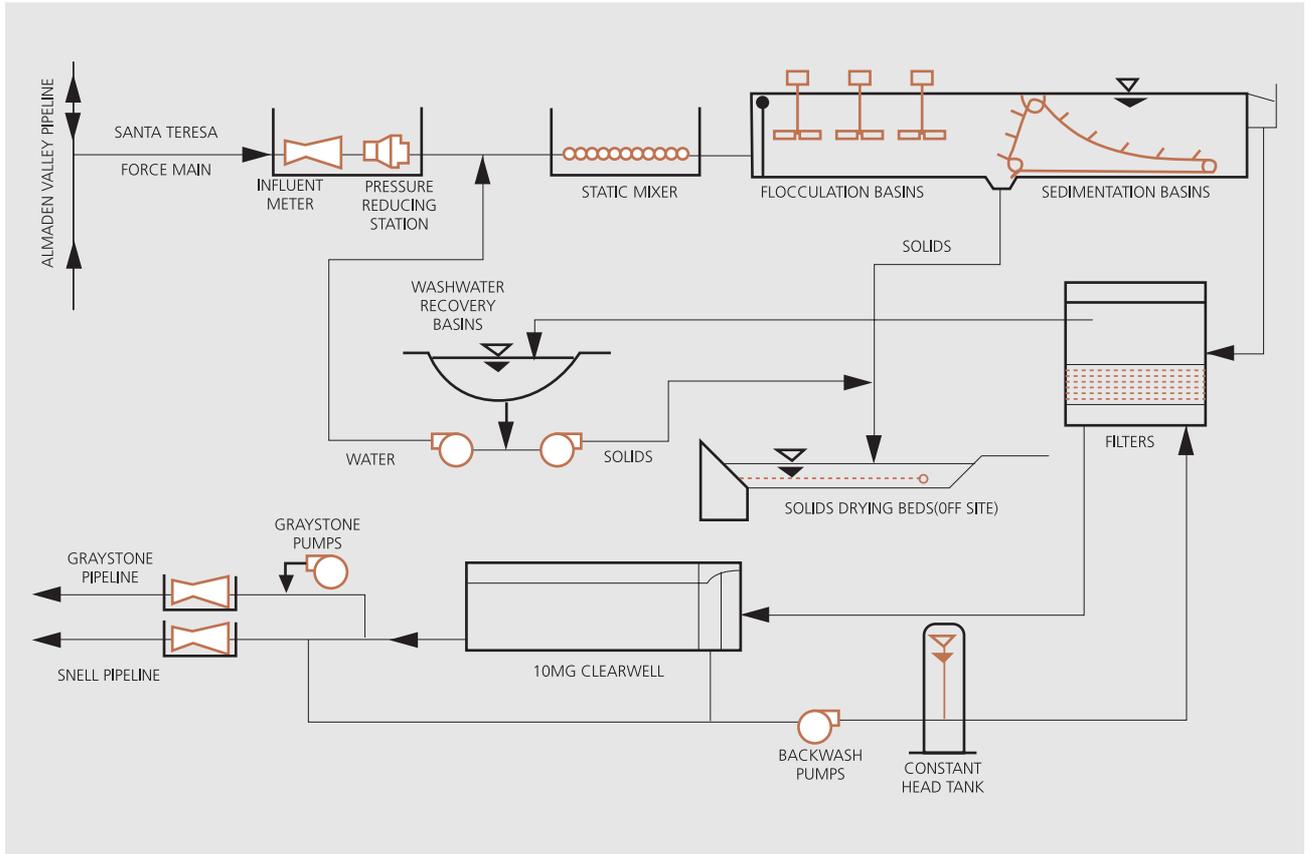
- 5) 지아디아, 크립토스포리디움을 예방하기위해 CT값을 향상시킬 목적으로 정수지 5만톤을 증설하여 운영하고 응집지를 walking beam 타입으로 4단 운영하고 Tapered flocculation이며 각 침전지는 기계적인 체인과 슬러지를 제거하기 위해 flight형 콜렉터를 가지고 있고 2회/년정도 응집침전지를 인위적으로 청소 실시
- 6) 정수장 일일생산일보 결산시 원수유량, 처리유량, 역세척유량, 생산량등을 비교하고 특이한 것은 피크시의 단위유량을 기록하여 최대 생산시에 수질을 관리하고 있음.
- 7) 여과지는 mixed-media filters로 안스라싸이트, 실리카모래, 고밀도 garnel모래로 구성되어 있고, 여과수에 후염소가성소다, 불소화처리를 한 다음 여과지밑의 정수지에 저장되며, 취수 모터펌프운동을 무인으로 회전수제어하고 정수장에서 SCADA식으로 운전한다.
- 8) 정수처리시 발생 슬러지는 벨트프레스 방식으로 석회를 투입, 함수율을 20%대로 유지하여 우리 서울시와 같이 시멘트

보조원료로 재사용한다.

### 3.2 Orange County Water District(OCWD) 정수처리 개요

- 1) 하수처리장의 1차 처리수를 재차 처리하는 일종에 중수도 처리시스템으로 800여개의 지하수 수원을 관장하고 있으며 오렌지카운티의 수원은 75%가 지하수이고 25%가 콜로라도강의 지표수이다.
- 2) 혼화·응집단계에 석회(CaO)를 투입, pH를 11.2이상으로 유지하여 박테리아, 바이러스, protozoa을 사멸시키고 다음 침전과정을 거친 후 RO멤브레인이나 활성탄 흡착여과를 다시하여 injection well이나 deep well에 넣어 지하수원과 혼용하는 일종에 해수유입을 방지하는 중수도 처리시스템이다.
- 3) 침전된 석회를 70~80% 재활용 회수하고 이때 발생하는 CO<sub>2</sub>를 침전과정에 조류발생 방지에 사용한다 또한 최종 처리수에 5ppm 정도의 염소살균을 실시한다.
- 4) 신발생 발암물질 NDMA(N-nitroso dimethylamine.)를 분석하여 현재 비교분석중(20ppt 기준이나 현재 10ppt 정도, 1개 샘플당 600~750불 정도 소요)이며 가솔린에 옥탄가 향상을 위해 2%첨가하는 MTBE(대기의 주 오염물질이며 발





암물질) 등 휘발성유기물 분석을 심도있게 실시하고 있다.

### 3.3 Santa Clara Valley Water District - RINCONADA Water Treatment Plant 개요

- 1) '68년도 정수장을 건설하여 '87년도 운영방식을 SCADA 시스템으로 변경하였으며 역세척은 PLC제어, 역세척시간은 공기3-4분, 물5-6분으로 역세후에 수질에 따라 증감관리하고 역세척수는 회수사용(공기+물 병용세척시간은 없음)한다.
- 2) 상수원은 주기적으로 델타강 25% 센더스호수 75%의 물을 맛·냄새에 따라 배분하여 희석 사용하고 그 수질은 탁도가 5~8NTU, 수온이 22.5℃, pH가 7.73로 SCU값(-5.40)에 따라 응집약품으로 황산알루미늄을 주입하나 방문당시는 기계이상으로 수동주입하고 있었으며, 주 1회 정도 황산동을 투입하여 조류를 예방시키고 있다.
- 3) 정수처리 시설용량은 78MGD(약30만톤/일)이고 침전지형태는 슬러지 블랭킷트형으로 혼화지가 없으며 응집지의 속도제어를 1,39rpm, 1,37rpm, 1,36rpm, 1,30rpm 4단으로

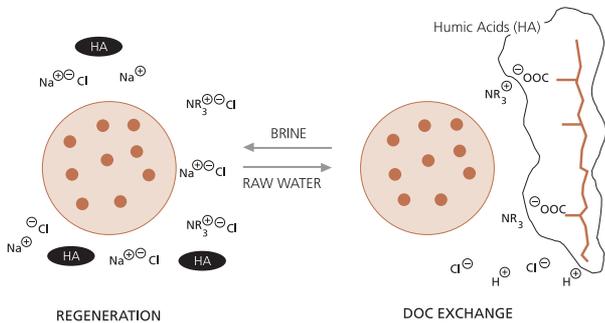
- 점감식 운영하여 침전지말 탁도가 0.40NTU대를 유지한다.
- 4) 여과지가 총6지로 지상에 노출되어 있는게 특색이며 여과지에 CT값을 1.5, 유출수에 pH가 7.6, ZnPO4 0.6ppm이 나오도록 운영하고 있다.
  - 5) 이취미는 총 12종류로 등급분류하여 FPA시험분석을 하고 현장 근무자들이 주정부의 오퍼레이터 자격증을 구비하여 책임감과 자신감을 갖고 소신있게 근무하고 있다.
  - 6) 송수 모타펌프 운영을 회전수 제어(62.6%대, 567rpm)하고 여과수질의 탁도가 평균 0.04NTU대를 유지한다.

### 3.4 Santa Teresa Water Treatment Plant 개요

- 1) 정수시설은 1989년도에 건설하여 SCADA시스템으로 운영하고 여과지는 PLC제어, 역세척 판단기준은 손실수두가 9.95피트, 여과수탁도가 0.1NTU, 여과지속시간 150시간이나 실제 우리와 같이 여과수탁도에 의한 재 세척이 발생된 사례가 있다하고, 공기+물병용 세척방식으로 운영한다.
- 2) 상수원 수질은 탁도 7.4NTU, pH 7.7로 SCI(-4.2)값에 따라 양이온과 음이온 폴리머를 주입하고 혼화지가 없이 Inline mixer에 2초 이내에 믹싱되는 static mixer를 부착

하여 주입하며 회수 재활용수는 응집전단계에 투입한다.

- 3) 응집지가 3단으로 2가지형의 G값 75, 45, 20 - 50, 30, 10으로 운영한다.
- 4) 역세척수를 재사용하며 여과지가 안쓰라싸이트를 사용한 복층 여과시설로써(Dual Media)지상에 노출되어 있는게 특색이며 두께가 안쓰라싸이트 20인치에 모래가 10인치 층을 이루고 안쓰라싸이트의 유효경은 1,10~1,20mm, 균등계수는 1.40이하. 모래의 유효경은 0,60~0,65mm, 균등계수는 1.40이하로 구성되어 있다.
- 5) 정수시설용량은 100MGD(38만톤/일)에 60MGD를 생산하고, 약품투입기는 다이아후렘으로 오차가 다량 발생하여 시설을 개량 중에 있다.
- 6) 실험실의 샘플링수 수질검사를 2시간 간격으로 보고서를 작성하나 실제 실시간 모니터링 계측기의 값과 오차발생시 실험실 실측값으로 대외기관에 보고하고 주 1회정도 기기보정을 실시한다.



- 7) 정수처리시 발생하는 슬러지는 2km밖에서 라군처리하여 비료로 재활용한다.

### 3.5 자기이온 교환수지(Magnetic Ion Exchange Resin : MIEX)법

- 1) 원수 DOC 제거를 목적으로 Orica Watercare, South Australian Water Corporation에 의해 개발된 새로운 처리 공법으로 지하수를 원수로 이용하는 Wanneroo 정수장에 설치되어 1997년과 1998년에 운영된 결과 기존의 정수처리공정에 비해 알루미늄응집과 MIEX 조합시 FOC(Filterable Organic Carbon) 75% 이상, NSRS(Non Sulphide Reduced Sulphur) 90% 이상, THMFPP는 85% 정도 제거 효과가 매우 높은 것으로 알려져 있으며
- 2) 공정개요를 보면 MIEX resin은 기존정수처리공정의 급속 혼합공정과 같은 교반조에서 용존유기물이 흡착되도록 개발된



자기이온 교환수지(Magnetic Ion Exchange Resin)로써 SEC(Size Exclusion Chromatography) 결과에 따르면 과량 응집제 주입량(Sweep응집)과 pH조정에 의해 유기물의 제거율을 향상시키는 고도응집(Enhanced Coagulation)이 낮은 분자량의 DOC제거율은 낮는데 비하여 MIEX공정은 높은 것으로 분석되었는데 여러해 동안의 연구과정을 거쳐 현재는 MIEX 공정이 더 이상 개발단계가 아닌 DOC제거에 적용 가능하고 경쟁력이 있는 공정으로 호주 Mt Pleasant 정수장에 탁도와 이취미를 향상시킬 목적으로 MIEX시설을 설치하여 운영하는 것으로 알려져 있다. ☺