

병합 수도시스템에서 잔류염소의 유지

- Maintaining Chlorine Residual in a Conjunctive Use Water System -

Michael B. Gilton*
Ronald E. Henderson**

◆ 목 차 ◆

1. 서론
2. 배경
3. 양 시스템의 통합
4. 개통계획 - 초안
5. 개통계획 - 시 관리위원회에 의한 수정
6. 총 대장균 규정(TCR)의 위반
7. 박테리아 동정
8. 결론
9. 교훈

1. 서론

새로운 배수관망의 개통은 종합적인 주민홍보/소비자 대책을 포함하여 (개통을 위해 필요한) 일들의 엄밀한 순서를 잡는 세부적인 계획이 필요하다. 그러나 개통 중간에 정치인들이 개통계획을 바꿔버렸을 때 어떤 일이 일어나겠는가? 본 논문은 가동 첫해에 개통계획에 심각한 변경이 일어난 Modesto Domestic Water Project (DWP)의 실 예를 적고 있다. 또한 본 논문에서는 DWP 가동중에 Modesto시의 운영진들에 의하여 취해진 조치를 기술하고 있으며 아울러 시의회가 Del Este Water Company (DEW)라는 이웃한 사적인 수도시스템

을 인수받는 계약을 체결함으로써 인하여 개통계획에 미친 영향에 대하여 적고 있다. 이 인수에 의하여 약 75,000의 소비자를 시에 추가하였고 이미 업무가 과중한 수도 경영진에게 막대한 양의 일을 추가하였다. DWP의 가동 첫 해중에 새로운 지표수원으로부터의 물이 이전에는 염소를 쓰지 않았던 2개의 지하수 배수관망에 투입되었다. 정상적인 가동에 들어간지 2달만에 시는 2개의 시스템을 공동 배수시스템으로 통합하였다. 이 변화는 시의 월간 박테리아 검사에서 수개의 대장균 양성시료가 나타나는 결과를 초래하였다. 대부분의 배수시설 운영자들에게는 최악의 악몽이었던 것들이 보건당국의 관리들에게 주민의 안전에 이상이 없다는 것을 확신시켜 주기 위하여 열심히 노력한 Modesto시 수도 경영진들에 의하여 잘 극복되었으며, 대 주민경보와 이에 따른 부정적인 영향은 일어나지 않았다.

2. 배경

캘리포니아 주의 Stanislaus County에서 지금까지 중 가장 규모가 큰 공공 공사 프로젝트인 Modesto Domestic Water Project (DWP)가 새로운 지표수원 시스템에 대한 20년간의 계획, 설

* Senior Civil Engineer, City of Modesto, California

** Project Manager, Black & Veatch, Concord, California

계, 건설, 및 가동으로 그 끝에 도달하여 있다. 이 프로젝트의 공정에 관한 논의와 개통 시간표를 포함하여 보다 상세한 사항들을 담고있는 발표원고와 금번의 발표회 잡지에 포함되어 있다. Allen C. Short, Gilton과 Henderson에 의해 공동으로 작성하였으며, Mr. Short이 발표하였다.

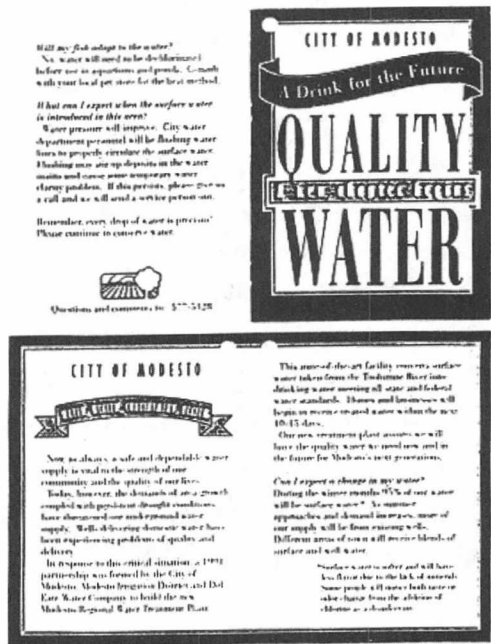
새로운 수도 시스템이 1994년 후반에 개통되기 전에, 캘리포니아 주의 Modesto 주민들은 물 수요량의 100%를 지하수로부터 공급받았다. Modesto 지역의 깊은 대수층은 지표수를 도입하기 전에는 염소소독이 필요하지 않았다. 시와 DEW의 두 시스템은 통합하기 전에는 모두 대장균 양성반응이 없이 "청정" 하였다. Modesto 지역은 DWP 시행 이전 수년간 과도한 양을 양수하였고, 결과 수질은 질산성질소와 2브롬화염화프로판(DBCP) 이라는 농약에 의하여 오염되어 졌다. 지하수원의 부족한 양과 약화된 질이 DWP를 수행하도록 만들었다.

3. 양 시스템의 통합

Del Este 수도 시스템은 수년간 매물로 나와있었다. 그 사기업 수도시스템은 특히 우물의 DBCP 오염 때문에 막대한 시설비를 투자해야할 필요가 있었다. DEW의 개인소유주는 수도사업으로부터 은퇴할 작정이었다. 시는 곧 이 수도시스템을 인수하기 위하여 상담중이었으나 DWP가 가동되기 시작할 때까지 상당한 시간이 지난 후까지도 합병은 일어날 것 같지 않았다. DWP를 위하여 추천된 배수관망 개선방안은 두 시스템 간에 9개소의 연결지점을 설치하고, 각 연결점에서는 (계량기를 설치하여) 유량을 측정하는데 이는 지표수의 70%는 시로 30%는 DEW로 분배되는 것을 확인하고 DEW에 수도대금을 청구하기 위한 것이었다. 시와 DEW는 물이 역류할 수 없도록 이 위치에 check 밸브를 설치하는 것에 동의하였다.

4. 개통계획- 초안

시는 DWP에서 자신들의 관할부분에 대하여 상세한 개통계획을 수립하였다. 4단계의 지표수 시스템 도입이 1995년의 첫 4개월에 걸쳐서 집중적인 주민홍보(그림1), 배수관의 청소(flushing), 그리고 개통과 관련된 주민들의 불평을 처리할 수 있도록 하는 시 직원의 교육과 함께 시행되었다.



〈그림 1〉 Modesto 시의 시민홍보 campaign

처음에, 시는 DWP 정수장의 물에 충분히 높은 농도의 잔류염소를 유지하고, 기존 관망내의 미생물막을 제거하기 위하여 적극적인 배수관망 청소작업을 시행함으로써, 염소 추가시설을 필요할 때 사용하는 시설 정도로 추가함으로써 충분하다고 생각하였다.

5. 개통계획 - 시 관리위원회에 의한 수정

도시의 모든 소비자들이 DWP의 물을 맛보기도 전에 시와 DEW시스템 사이의 최종 병합이 실현되

었다. 새롭게 변형된 배수관망 연결 사용을 잘 관리하도록 책임받은 시 직원이 이제는 공식적으로는 1995년 7월 7일에 일어난 통합을 책임지게 되었다. DEW 시스템은 초기 가동기간 동안 철저하게 방류청소(flushing)가 되지 않았으므로 하여 염소수에 충분히 노출되지 않은 상당량의 미생물 막이 기존 관망내에, 특히 노후화된 관망의 막다른 구석(dead-end)에 남아 있었다. 두 시스템은 1995년 7월 7일에 두 시스템 사이의 기존연결점들을 열어 통합되었다. 연결지점들의 체계적인 추가가 계획되었다. 연결한 후 처음 수 주동안은 노후한 DEW 시스템에서 일주일에 평균 10번 정도의 파손사고가 발생했다. 개인 수도회사는 40 psi의 수압으로 운전된 관망의 대부분에 최소한으로 라이닝된 코팅되지 않은 얇은 두께의 강철관을 사용하였다. DEW는 더 높은 압력으로 운전하기 위해 주관을 Class 150관을 이용하여 교체하기로 계획하였다. 그러나 합병 기간동안 주관의 교체는 연기되었다.

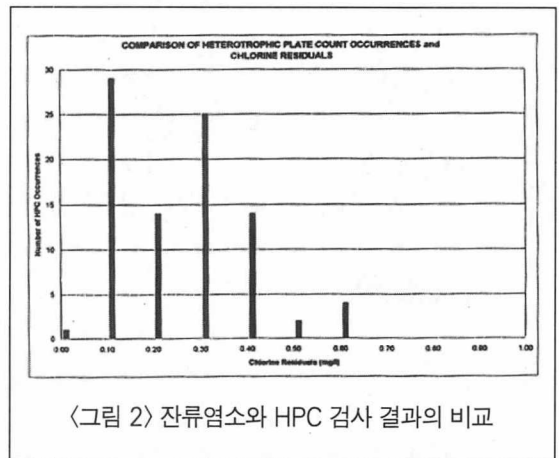
두 시스템의 가동과 상호 연결은 DEW 시스템에 SCADA시스템이 없어서 더욱 악화시켰다. 이 시스템은 우물의 pressure points로부터 운전되었지만 이 시스템에서는 어떠한 데이터도 원격으로는 얻을 수 없었고 또한 우물의 펌프에 관한 기록도 없었다. 시는 DEW 시스템이 기존의 시 SCADA 시스템에 의해 관리될 수 있도록 DEW 우물 현장에 RTU를 추가하는 작업을 시작하였다.

6. 총 대장균 규정(TCR)의 위반

총 대장균 규정은 지표수 배수시스템은 적어도 0.2mg/L 이상의 잔류 소독제를 유지하거나 월 1회의 세균학적 시료에서 총 HPC(heterotrophic plate counts)는 500HPC/ml을 초과하지 않아야 한다고 요구하고 있다. 시와 DEW 시스템은 모두 상기의 기준에 관한한 위반한 적이 없다. 그러나 규칙은 월 세균검사 시료의 5% 혹은 그 이상이 세균의 존재 유무시험에서 양성일 때는 언제나 보건국

에는 24시간내, 소비자들에게는 72시간 내에 통보할 것을 요구한다.

기존의 DEW 시스템은 상호연결 후 첫 수 주 내에 무작위 대장균 실험에서 9개의 양성 결과를 나타냈다. DEW 시스템은 시료채취에 관한 체계적인 계획이 없어서 2차 시료 채취 지점을 정하지 못하였다. 잔류 염소와 대장균 양성 결과 사이에는 아무런 상관관계도 없었다. <그림 2>에는 측정된 잔류 염소량에 대하여 대장균 양성 시료수를 표시하였다. 법에 의하여, 시는 이 대장균들이 건강에 유해한 것이 아니라는 것을 보건국이 인정할 정도로 증



<그림 2> 잔류염소와 HPC 검사 결과의 비교

명하지 못하면, 이러한 건강상 잠재적 문제를 주민들에게 알리고 이에 대처하여야만 했다.

7. 박테리아 동정

bioMerieux에 의하여 개발된 동정시험을 활용하여, 시의 실험실은 양성으로 나타난 대장균이 병원균이 아니라는 것을 보건국에 증명하기 위해 박테리아 동정 실험을 행하였다. 이것이 증명될 수만 있다면, 보건국은 시가 장래에 또다시 양성결과가 나오지 않도록 하는 조치를 취하는 한, 주민들에게(대장균 양성결과를) 통보해야하는 의무를 면제해 줄 수 있다.

OCURRENCE OF COLIFORM SPECIES IN THE MODESTO DISTRIBUTION SYSTEM JANUARY 1995 - APRIL 1996

SPECIES	NUMBER OF OCCURRENCES	PERCENT OF OCCURRENCES
<i>Aeromonas caviae</i>	2	3.13%
<i>Aeromonas hydrophila</i>	19	28.60%
<i>Aeromonas hydrophila/veronii bio sobria</i>	3	4.50%
<i>Aeromonas sp.</i>	1	1.50%
<i>Aeromonas veroni</i>	1	1.50%
<i>Citrobacter freundii</i>	7	10.34%
<i>Enterobacter aerogenes</i>	1	1.50%
<i>Enterobacter agglomerans</i>	2	3.13%
<i>Enterobacter agglomerans ind-acc</i>	1	1.50%
<i>Enterobacter aerogenes</i>	0	0.00%
<i>Enterobacter cloacae</i>	17	25.50%
<i>Enterobacter sp.</i>	1	1.50%
<i>Escherichia coli</i>	0	0.00%
<i>Escherichia hemmanti</i>	1	1.50%
<i>Klebsiella oxytoca</i>	0	0.00%
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	1	1.50%
<i>Klebsiella sp.</i>	0	0.00%
<i>Lactaria edocarbarytata</i>	1	1.50%
<i>Serratia fonticola</i>	2	3.13%
<i>Serratia liquefaciens</i>	0	0.00%
<i>Serratia marcescens</i>	2	3.13%
<i>Serratia odorifera</i>	1	1.50%
<i>Vibrio fluvialis</i>	1	1.50%
Total	64	100.00%

(표 1) Modesto 배수관내 대장균의 발생빈도. 1995년 1월- 1996년 4월

시험결과 판명된 박테리아 종류의 목록은 (표 1)에 보여지고 있다. 병원성 종 들은 *Escherichia* 종들이다. 대부분의 대장균들은 *aeromonas hydrophila*(30%)와 *enterobacter cloacae*(27%)로서 배수관망내의 미생물막에서 흔히 발견되는 박테리아 였다.

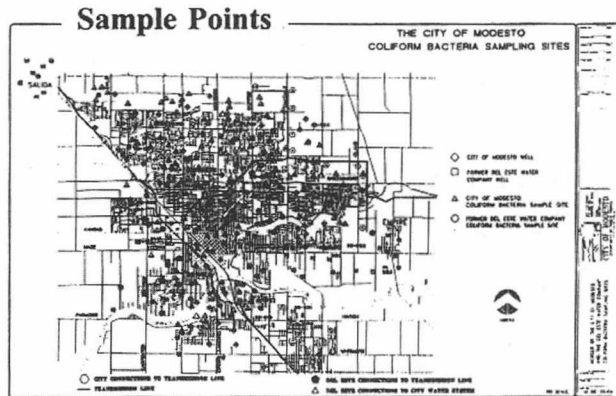
8. 결 론

Modesto 시는 TCR을 위반하지 않았고, 관망내에 대장균이 있음을 주민들에게 통보할 필요도 없었다. 양성 coliform이 발견된 사고 이래로 시는 앞으로 양성 시료의 재발을 막기 위하여 아래와 같은 조치들을 취했다.

- 1) 노후한 DEW 시스템의 dead-end와 순환이 미비한 지역의 대부분에 관을 추가하여 loop를 형성함으로써 순환을 개선하였다.
- 2) 도시는 시스템내에 차아 염소산 나트륨 주입 장소를 설치했고 DWP 송수 본관을 따라 있는 증압시설과 모든

기존 우물지역에 차아염소산나트륨 주입시설을 설치하였다.

- 3) 전에 DEW의 수원이었던 모든 우물에 제어능력을 향상하고, 압력과 염소를 감시하고, 염소 사용량을 통제하기 위하여 SCADA가 추가될 예정이다.
- 4) 1차 및 2차 시료채취 지점을 선정하고 양 시스템의 박테리아 감시 계획이 개발되었다.
- 5) 60곳의 세균시험 장소가 추가되어 총 180개의 주요 검사장소를 설정하였다. 검사장소의



(그림 3) 시료채취 지점

추가는 시료의 채취와 시스템의 대표성을 개선하기 위하여 추가되었다. (그림3)

- 6) 연속적인 방류청소(flushing)와 시료 채취를 포함한 생물막 관리계획이 개발되었다.
- 7) 냄새와 맛에 대한 불평이 소비자로부터 접수 될 때마다 수도사업소 직원이 문제가 발생한 지역의 관망 내의 물을 방류하도록 파견되었다.
- 8) EPANET 수질 모델을 만들기 시작했다. 이 모델은 시료 채취지점의 선정을 위해 보다 과학적인 근거를 제공할 것이며, 시가 새로운 시스템의 보다 명확한 상태를 파악할 수 있도록 할 것이다.

9. 교훈

- Domestic Water Project로부터 배우고 확인된 교훈 -

몇가지 매우 중요한 점들이 Modesto Domestic Water Project의 성공적인 가동에 의해 강조되었다

- 어떠한 공정이나 혹은 시스템의 변경은, 조정된 시스템이 새로운 변화가 또 추가되기 전에 긍정적이든 부정적이든 간에 변화에 대응할 수 있도록 한번에 하나씩만 이루어져야 한다. 양성대장균 시료와 같은 문제의 해결은 복수의

다양한 변수가 문제에 관계되어 있을 때 훨씬 더 복잡해 진다.

- 수세의 상황에 있더라도, 적극적인 행동은 큰 보답을 받을 수 있다. 처음에 보기에는, 이 시가 대장균 양성 반응에 관해서 소비자에게 알리는 것이 피할 수 없는 것 같았다. 그러나 시 직원들의 적극적인 반응은 그들의 직업과 성공적인 Domestic Water Project의 명성을 구하였다.

시민 홍보와 소비자와의 관계는 종종 시 직원들에게 가장 중요한 역할이다. 시민들이 수도와 수도 직원들에게 신뢰를 잃도록 하여서는 결코 안된다.

시 직원들이 배수 시스템의 “모든것”을 배우고 이해하는 것이 매우 중요하다. 모든 배수 시스템은 화학공정과 시스템 압력의 변화에 조금씩 서로 다르게 반응한다. 배수시스템의 특성을 이해하는 것이 직원들로 하여금 어떠한 때에 문제가 발생할 것인지를 짐작하게 하고 이러한 문제에 대처할 시간을 준다.