



# 선진 상수도 벤치마킹을 다녀와서...

일본의 동경도, 요코하마시와 서울시의 상수도 신기술 적용사례

글 허방련 \_ 서울특별시 강북정수사업소 정수과장

최근, 우리의 사회·경제·문화발달로 지구 자연환경은 점점 악화되고 있는 반면에 인간의 삶의 질 향상에 따른 먹음의 가치나 중요성은 날로 증대되어 가고 있다.

이에 따라 하천이나 지표수를 먹음의 수원으로 사용할 경우에는 기상변화 등 자연현상에 따라 수질이 급변하고 변화폭도 날로 증대되어 수돗물 생산시설에 실시간(Real Time)으로 적용할 수 있는 Unit Process와 Unit Operator를 조합한 자동화 운영관리가 절실히 요구되고 있는 시점에, 서울 수돗물의 미래지향적인 '맛있고 안전한 음용수'에 대한 추구로 서울시민에 보다 가까워질 수 있는 세계적인 수돗물의 생산·공급과 정수처리 기술향상을 도모하기 위한 선진 상수도기술 벤치마킹이 이루어졌다.

지난해 12월 중순부터 수자원공사, 일본 미사토정수장, 동경 물과학관, 수도역사관, 수운용센터를 경유하여 요코하마시 수도국, 상수도 공사현장 및 요코하마 니시야정수장을 1주간의 짧은 일정으로 본인을 포함한 각 분야 직원 20명이 충실히 다녀와 그 체류소감을 적어보고자 한다.

각자 지대한 관심을 갖고 서울을 출발, 하네다공항에 도착하여 입국수속으로 1시간 이상 기다리면서(자국민에 비해 3배 이상 시간이 소요 됨- TV 9시뉴스 지적 보도) 일본은 역시 가깝고도 먼 나라라는 느낌이 많이 들었다.

한국 국제화재단의 박성배과장 안내로 일본에서의 일정이 시작되었는데 입국수속에 너무 많은 시간이 낭비되어 약속시간을 맞추느라 짐을 버스 안에서 빵으로 대신하고 바로 미사토정수장으로 직행하였을 때, 약속시간을 준수해야 된다는 소

중함과, 신간선을 타고 오사카를 가는 도중에 하얀 함박눈이 무척이나 많이 내려 차창밖에 고전적인 시골정취가 물씬 풍기는 언덕 위에 하얀 집들을 보는 운치가 옛 우리네의 초등학교 시절을 떠올리게 하였다.

도착하자마자 숨 가쁜 스케줄이 진행되면서 각자 질문들이 너무 많아 현장답사가 지연되는 등 문제점도 노출되었고 분야별 전문성에 관한 질문에 대한 답변에 미흡한 점이 일부 있었지만, 상수도분야에 종사하는 대부분에 사람들을 만나면서 그들의 장인정신 및 오랜 전통과 전문성을 일부나마 체감할 수 있었다.



또한 정수장 현장 곳곳을 방문하면서 정수처리, 공정관리, 수운용 및 수질관리 등을 살펴보고 현장 직원들과 직접 대화를 할 수 있는 좋은 기회가 되었으며, 무엇보다도 인상 깊은 것은 최고 직위에서 현장 직원까지 모두 자기업무와 관련한 기술에 전문가가 되어 있고 안내원이 우리에게 더할 수 없이 친절함이 마음에 와 닿았다.

두 나라의 수도에 관한 역사를 살펴보면, 먼저 서울시는 1908년 독도정수장을 효시로 100여년의 상수도 역사를 가지고 옛 시설들을 그 동안 꾸준히 개량·보수하면서 신기술을 접목한 현대화사업을 계속 추진하여 1,032만 시민들에게 하루 약 350

만 톤(시설용량 570만 톤/일, 가동률 61.4%)을 강북정수장을 비롯한 여섯 개 정수장에서 현재 최상의 수돗물로 생산·공급하고 있다.

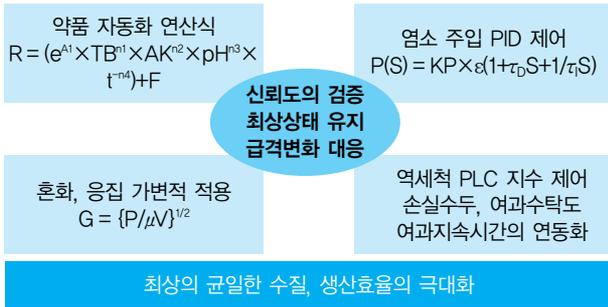


그림 3) CIE 종합시스템의 합리적 관리

일본 수도는 에도시대를 거쳐 1898년 요도바시정수장을 시작으로 근대수도가 확립되어 우리보다 앞선 역사를 지녔고, 동경도의 경우 1,195만 시민들에게 하루 약 450만 톤(시설용량 696만 톤/일, 가동률 64.7%)을 가네마치정수장을 비롯한 11개 정수장에서 생산·공급하고 있으며, 요코하마시는 437만 명의 시민들에게 하루 약 121만 톤(시설용량 181만 톤/일, 가동률 66.8%)을 삼정정수장을 비롯한 4개 정수장에서 생산·공급하고 있었다.

3개 도시가 공히 급수보급률이 100%에 가깝고, 우수율은 동경도(92.6%)나 요코하마시가 우리 서울시보다 약 10%정도 상회하여 살림을 알차게 꾸려가는 것을 엿볼 수 있었으며 최근에 이르러 경영합리화 등 수익구조 개선에 더더욱 노력하고 있는 것을 체감할 수 있었다.

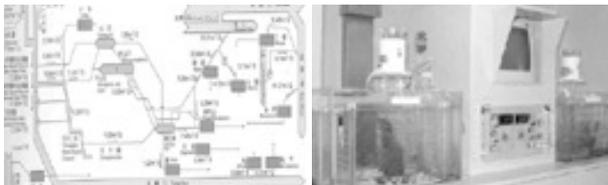


그림 5) 자동수질감시장치

우리가 본 두 나라의 상수원은 모두 지표수인 한강, 多摩川, 利根川, 道志川, 馬入川과 일부 호소에서 원수를 끌어들이어 끊임 없이 새로운 기술들을 적용하면서 각자 특징을 가지고 과학적으로 정수처리를 하고 있으며 원수의 오염정도에 따라 고도정수처리시설로 부분 개량하여 수돗물을 생산하고 있음을 엿볼 수 있었다.

특히 동경도의 경우 1901년부터 하천 상류지역의 수도수원림을 동서 약 30km, 남북 약 20km를 보존·관리하므로 삼림의 보존육성으로 양질의 수원함량, 토양보전, 토사유출방지 및 하천유지량의 확보와 물의 정화작용 증대 등 '자연보존의 중요함'을 위해서 노력하고 있음은 우리의 상수도보호구역지정이나 한강 수계관리위원회를 구성하여 인근 시도가 물보존에 힘쓰는 것과 유사함을 알 수 있었다.

고도처리 대상항목	제거율
2-MIB	100%
암모니아성질소	100%
음이온계면활성제	80%
THM생성물질	60%

표 1) 고도처리 대상항목의 제거율

일본 동경도와 우리 서울시의 상수도에 대한 기술을 비교해 볼 때 일본의 경우,

- ① 상수원 보호를 위한 수원림관리
- ② 물과학관 및 역사관 등을 활용한 상수도홍보분야 확대
- ③ 원수수질 악화 및 냄새물질 제거를 위한 고도정수처리시설 현장 활용
- ④ 정수장과 배·급수시설의 수량·수압의 분배·조정·감시 기능의 수운용센터 활용과 수질센터의 통합시스템 구축
- ⑤ 수익구조 개선을 위해 소금을 분해하여 차아염소산나트륨 소독설비 활용
- ⑥ 정수슬러지 처리시 필터프레스에 의한 탈수와 파쇄처리로 함수율이 50~60%대를 유지하고 원예토의 재활용과 일부는 태양건조지에서 자연건조
- ⑦ 물고기를 이용한 독성물질 감시시스템
- ⑧ 시민편의 위주의 상수도공사장관리
- ⑨ 지진대비 관리
- ⑩ 통합시스템의 지진 등 재해발생시 대처를 위한 무선회선의 송전탑활용
- ⑪ 유효율향상대책
- ⑫ 기타 정수장에 태양광발전시스템의 환경친화적 시설 등이 우리의 가슴에 와 닿았으며 일반적인 정수처리공정시스템은 우리와 거의 大同小異함을 볼 수 있었다.

우리 서울시(강북정수장)의 신기술이나 개발된 현장 적용사례를 보면,

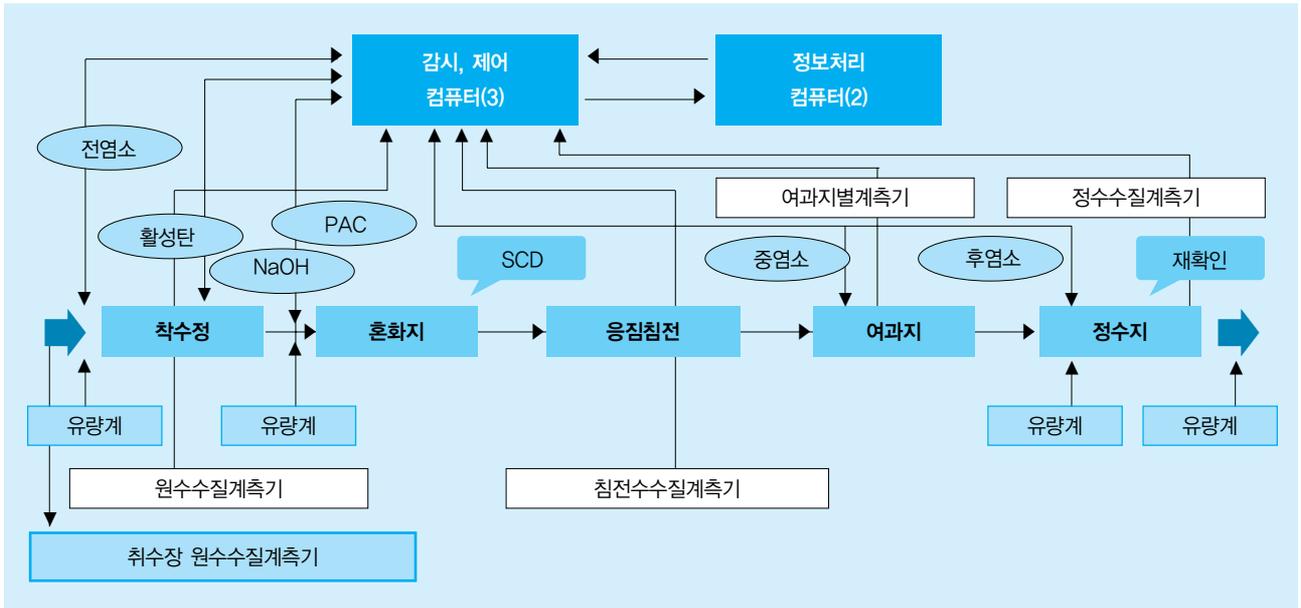


그림 6) 정수처리 종합 계통도

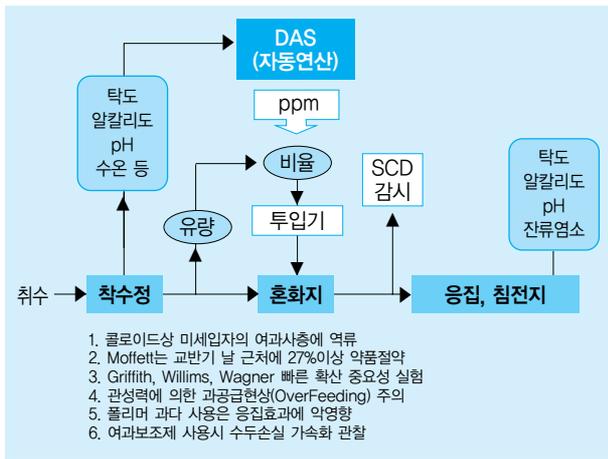


그림 7) 응집약품 주입제어

1. 콜로이드상 미세입자의 여과사출에 역류
2. Mofett는 교반기 날 근처에 27%이상 약품절약
3. Griffith, Williams, Wagner 빠른 확산 중요성 실현
4. 관성력에 의한 과공급현상(OverFeeding) 주의
5. 폴리머 과다 사용은 응집효과에 악영향
6. 여과보조제 사용시 수두손실 가속화 관찰

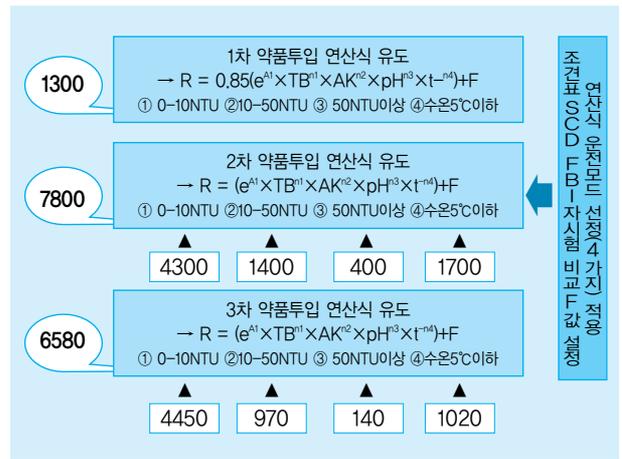


그림 8) 약품투입 자동화 연산 제어식

조건표 SCD/FBI 자시할 비교 F 값 설정

연산식 운영모드 선정(4가지) 적용

1차 약품투입 연산식 유도  
 $R = 0.85(e^{A1} \times TB^{n1} \times AK^{n2} \times pH^{n3} \times t^{-n4}) + F$   
 ① 0-10NTU ② 10-50NTU ③ 50NTU이상 ④ 수온 5°C 이하

2차 약품투입 연산식 유도  
 $R = (e^{A1} \times TB^{n1} \times AK^{n2} \times pH^{n3} \times t^{-n4}) + F$   
 ① 0-10NTU ② 10-50NTU ③ 50NTU이상 ④ 수온 5°C 이하

3차 약품투입 연산식 유도  
 $R = (e^{A1} \times TB^{n1} \times AK^{n2} \times pH^{n3} \times t^{-n4}) + F$   
 ① 0-10NTU ② 10-50NTU ③ 50NTU이상 ④ 수온 5°C 이하

1300

7800

6580

4300 1400 400 1700

4450 970 140 1020

- ① 수돗물의 병원성미생물에 대한 안전성을 입증할 수 있는 소독능(CT값)의 실시간 모니터링시스템 구축
- ② 자동화 정수약품 최적제어(CIE시스템)의 QA/QC 운영관리와 원수수질 급변시 정수약품의 과다·과소투입의 사전 예방 대책
- ③ 자동화 연산식을 이용한 응집제 적응제어 프로그램 활용과 피드백화의 실시간으로 보완·운영(Jar-test, FBI지수시험, SCD 등)
- ④ 다단계 역세척(Step-BackWashing)시행의 여과사 유실 방지법 및 용수량 절감
- ⑤ 정기적인 오염도 및 사층조사 결과를 역세척 Sequence Time에 가변적으로 적용하는 여과지수별 제어방식으로 역

- 세척 효과증대
- ⑥ 시동방수 대신에 Waiting실험 대체운전으로 여과 초기탁도 누출 예방과 3단형 강화세척법을 활용한 오염도제거 방안
- ⑦ 혼화·응집의 G값 가변적 운영으로 원수 수질에 따른 흡착 하전중화 유도하여 약품비 절감
- ⑧ 유기물산화에 필요한 Feedback Time을 감안하는 전염소 자동화투입 프로그램개발로 소독부산물(DBPs) 저감대책
- ⑨ 계절별 목표값에 수렴하는 균일한 후염소 PID제어로 소독약품 최적화 및 수질안전성과 균일성 확보

$$\left[ P(S) = K_p \cdot \varepsilon \left( 1 + \tau_D S + \frac{1}{\tau_I S} \right) \right]$$

- ⑩ 물질수지에 의한 생산 유효율분석과 직접투자비의 일일결산제 시행
- ⑪ 계절별 목표 잔류염소 유지로 수돗물의 안전성유지와 송·배수시스템간의 유달시간 조절로 균등한 수운용체계를 수립하여 Seoul-Water-Now와 연계한 실시간 공개시스템 관리
- ⑫ 응집기의 가변적 G값 적용과 Baffle에 따른 회전방향 적정성 검토사례
- ⑬ 정수처리 단위 공정별 목표관리제 시행으로 단계별 상·하한값을 벗어난 이상정보의 메시지를 활용하여 사전 예측판단 운전
- ⑭ 수요량과 공급량의 계획운전으로 에너지절감에 능동적 대처할 수 있는 모터펌프의 토출압 비례운전 등

이 모든 기술들은 수돗물에 생산성증가와 품질향상 및 실질적인 경영합리화를 도모할 수 있는 최적 설계관리사업(Value Engineering)의 신기술로 기술자의 자긍심을 가져도 될 것이다.

과거 외국에 기술연수 떠나 이번 선진벤처마킹에서 느낀 점은 어느 나라든 그들의 기후조건과 원수 수질에 따라 그들 나름대로의 꾸준한 연구와 새로운 물질에 대처하여 노력하는 모습을 볼 수 있어 같은 일에 종사하는 상수도 전문인으로서 많은 자부심을 갖게 하였고, 나아가 최근 상수도의 발전경향과 수도종사자들이 관심을 기울여야 할 과제 및 일련의 연구동향을 인지 할 수 있어 더더욱 도움이 되었다.

더불어, 이번 일본 기술연수에서 새로 벤치마킹한 내용과 미국 환경보호청(USEPA)와 AWWA 가 중심이 되어 추진하는 총괄적 정수장 개선사업(CCP) 및 Partnership for Safe Water의 정수장 공정 최적화와 최적처리기술(BAT), 등은 앞으로 우리가 본받아 계속 발전시켜야 할 과제이며, 나아가 최근 나노기술을 바탕으로 한 내분비계 장애물질과 환경 잔류성 유기오염물질의 新발생물질에 대한 연구가 꾸준히 진행되어야 하고, 産·學·研이 상호 협력하여 상수도 전문엔지니어를 양성함으로써 우리나라의 기술향상에 일익을 도모해야 할 것이 작금의 우리에게 사명임을 절실히 느낄 수 있었다.

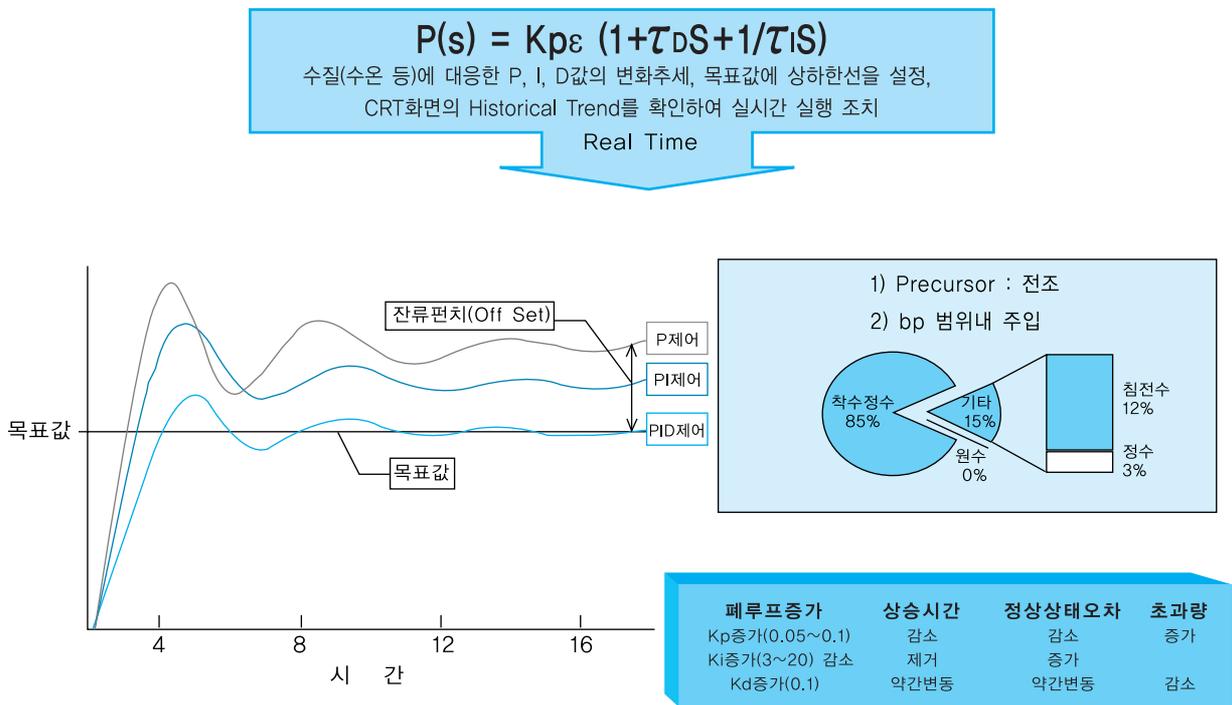


그림 9) 전·후 염소처리 최적화 기법

## Summers(1997), White(1992)의 Pre-treatment of Guideline

- ① THMs의 전구물질 최대한 제거
- ② 암모니아성질소 농도 0.10mg/L까지 감소
- ③ 질소유기화합물 농도 0.05mg/L까지 감소
- ④ Enhanced Coagulation, Flash Mixing, Coagulation, Flocculation 등

살균되기 전에  
Precursor 제거

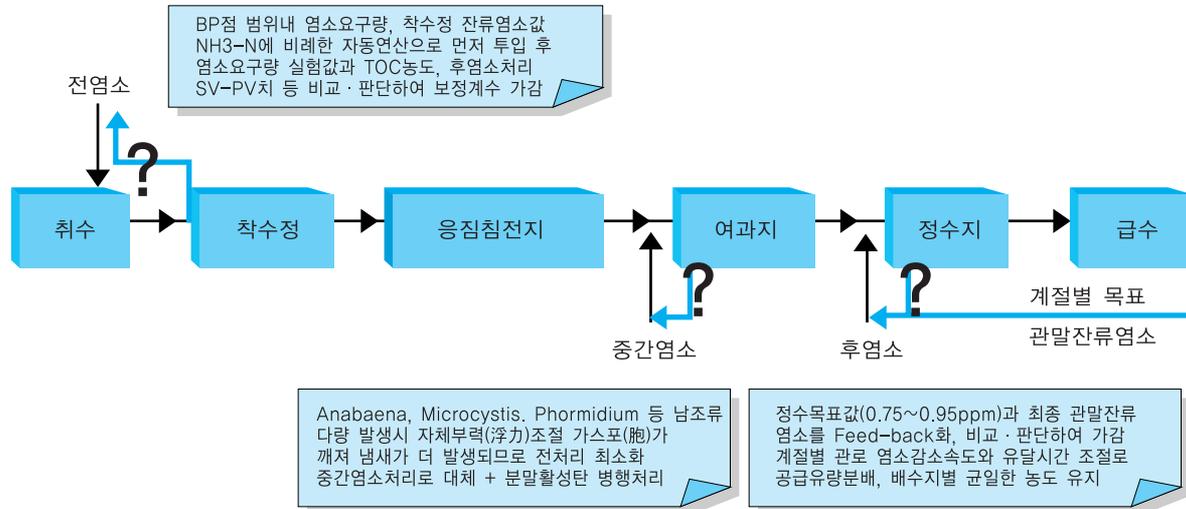


그림 10) 상수원 2급수의 DBPs 저감화 전·중·후 BAT 시스템

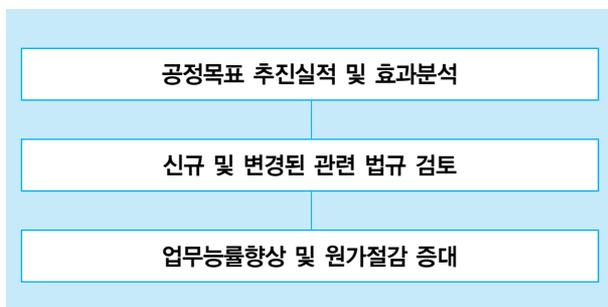


그림 11) 상수도전문엔지니어 양성과 신기술 연수의 목적

우리들의 이러한 신기술 연수의 궁극적인 목적은 경영합리화를 달성하여 보다 안전하고 깨끗한 수돗물을 서울시민이 안심하고 마실 수 있도록 하는데 있으며, 이러한 기회에 더 많은 기술과 이론을 배워 우리 실정에 맞게 비교·연구·활용함으로써 우리나라 수돗물의 질적인 향상과 비용절감 등 많은 부가 가치를 창출할 수 있을 것으로 기대하며, 서울시 상수도 발전에 조금이나마 기여할 수 있도록 우리 모두 마음에 다짐을 하고, 한국인의 기술적 자긍심을 갖게 해준 기술자 모든 분들께 찬사를 보낸다.

끝으로, 이러한 선진 상수도 벤치마킹을 주선한 모든 분들과 우리를 위해 세심하게 안내를 주신 한국 국제화재단의 박성배과장을 비롯해 대담에 성심성의를 다해 기술적 토론에 임해준 현지의 모든 분들께 진심으로 깊은 감사를 드린다. ☺