



WATER  
FOR  
FUTURE



# 경북대 Global Challenger 프로그램 Singapore의 물 관리 현장 탐방기



**송 준 선**  
경북대학교 토목공학과 학부과정  
middlese@nate.com



**한 건 연**  
경북대학교 토목공학과 교수  
kshanj@knu.ac.kr

## 1. 서론

경북대학교 글로벌 챌린저 프로그램은 학생들이 교양 및 전공과 관련된 주제를 가지고 선진각국의 교육현장에서 직접적인 체험학습을 함으로써 학습효과의 극대화와 함께 글로벌 Standard형 인재양성의 기회를 얻도록 하는 데 일차적인 목적을 둔다.

오늘날 세방화 교육프로그램(Glocalised Leadership Program)으로 일컬어지고 있는 경북대학교의 차별화된 국제화 프로그램은 전문직업능력과 국제표준의 교육 그리고 지도자적 봉사정신을 배양하고자 하는 의지를 담고 있다. 프로그램의 참가자들은 유럽, 아시아, 미주 지역에서 현지의 대학문화를 익히고 선진지 각국에서 전공분야를 어떻게 사회에서 적용하고 있는가를 배우고 익힌다는 점에서 큰 성과를 거두었다. 경북대학교는 앞으로도 글로벌 챌린저 프로그램을 비롯한 대학의 국제화 프로그램을 지속적으로 추진하고 참가 학생들에게 적극적인 지원을 해

나갈 예정이다.

2010 동계 Global Challenger - 아시아 권역에 선발된 우리 “물쟁이” 팀은 2011.01.07 ~ 2011.01.15 9일간의 여정으로 싱가포르 수자원 탐방을 다녀왔다. 경북대학교 Global Challenger Program의 추진현황 및 본 팀의 보고서는 <http://global.knu.ac.kr>를 통해 확인 가능하다.

본 팀은 현재 우리나라 수자원 산업의 미래를 싱가포르에서 찾아보았다. 싱가포르는 서울과 비슷한 면적의 영토를 가진 세계에서 2번째로 인구밀도가 높은 도시임에도 이렇다 할 하천이 하나 없다. 연중 강우가 여름에 집중되고 지역적 협소함 등을 두고 보자면 작은 대한민국의 형상이라 하겠다. 이렇듯 대부분의 국민 물 수요를 인접국 말레이시아로부터 수입으로 충족시키던 “물 기근 국가”인 싱가포르가 최근 전 국민을 담수화 사업에 참여시키고 세계 최고 수준의 중수처리기술을 선보이며 수자원 강국으로 떠오르고 있다. 그 비결은 “물”은 수입하되 “물 관리 기술”은 수출하는 노하우 덕분이라 한다.

본 탐방은 경북대학교 Global Challenger Program의 일부 지원 하에 싱가포르의 주요 수처리 시설물을 방문함으로써 싱가포르의 수처리 시설현황과 기술발달을 파악하고 우리나라 수자원의 발전 방향을 꾀함에 목적을 둔다.

## 2. 싱가포르의 수자원 현황

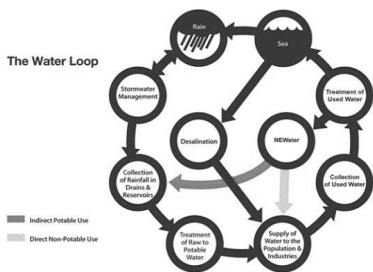
세계적인 미래학자 앨빈 토플러 박사는 “20세기가 석유의 시대였다면 21세기는 물의 시대”라며 물 산업

의 성장 잠재력을 강조했다. 물 산업의 강대국으로 단연 싱가포르를 꼽는 이들이 많다. 서울과 비슷한 면적에 약 460만 명의 인구가 사는 도시국가, 싱가포르. 바다와 접하고 있지만 수원지로 이용할 만한 제대로 된 하천이 없다. 그래서 식수 대부분을 이웃 국가인 말레이시아에서 수입하는 수자원 빈곤국으로 유명하다. (UN이 지정한 “물 기근 국가”)

싱가포르의 역사는 “물과의 전쟁”으로 요약된다. 네덜란드가 “너무 많은 바닷물”로부터 육지를 구하기 위해 싸워왔다면 싱가포르는 반대로 척박한 땅에서 식수를 확보하기 위해 싸워왔다. 실제로 1961년과 63년에는 극심한 가뭄으로 담수가 말라버려 바닷물을 배급하는 사태를 맞기도 했다. 그러나 최근 정부와 기업들이 힘을 모아 수준 높은 수처리 기술을 보유하고 “세계 물 산업의 허브”로 발돋움하고 있다.

물 한 방울이 절박했던 싱가포르가 택한 최우선과제는 수자원 개발이었다. 연평균 2300mm 안팎의 비를 한 방울이라도 허투루 흘려보내지 않기 위해 담수 저장이 가능한 지역을 찾아내 모두 저수지로 만들었다. 그 결과 현재 물 수요의 60% 가량을 저수지가 맡고 있다. 2009년 이후, Marina Barrage 등 대형 저수지가 17곳으로 늘어나 싱가포르 전역에 식수를 공급한다.

위의 그림을 자세히 보면 저수지(댐) 뿐이 아닌 다른 수자원 공급책이 있음을 알 수 있다. 그것은 싱가포르의 수자원 공사 (PUB; Public Utilities Board)에서 내세운 “4가지의 수도꼭지(Four Taps)”라 불리는 4가지 수자원 공급원이 있다. 빗물 집수(Local Catchment)(60%), 말레이시아로부터 수입(20%),



Singapore의 수자원 관리 흐름도

하수처리(15%), 해수담수화(5%)가 바로 그 4가지이다. 4가지 방법의 장단점을 이용하여 그 효과를 극대화 하여 지속적이고 안정적인 수자원 공급을 통해 Sustainable Singapore로 거듭난다는 것이 PUB의 전략이다.

이 중 주목해야 할 것은 3번째 수자원 공급원인 하수처리이다. 이들의 기술수준의 실용화를 나타내는 이 하수 재처리 시스템은 NEWater를 탄생시켰다. NEWater는 DTSS에서부터 시작한다. 싱가포르는 분류식 하수관거 시스템을 채택하여 전국에 설치, 활용하고 있다. 싱가포르 전역의 가정, 공장에서 나온 오·폐수는 이들이 자랑거리로 내세우는 지하하수터널(DTSS, Deep Tunnel Sewerage System)을 통해 전국 7개의 수처리공장으로 모인다. 그리하여 수처리공장에서 나온 처리수는 바다로 배출 되는데, 그 중 일부를 NEWater 공장으로 보내어 식수의 수준까지 처리하여 싱가포르의 수자원 공급책으로 사용되는 것이 NEWater이다.

이와 같은 싱가포르의 수자원 현황을 기관별로 나누어보며 소개하고자 한다.

### 3. 싱가포르의 수자원 관리

#### (1) NEWater Project

Bedok 지역에 위치한 뉴워터 비지터 센터는 싱가포르의 수자원공사 PUB 소속 기관으로 생활오수를 처리해 음용 가능한 NEWater가 생산되는 공정을 일반 시민들에게 알리기 위한 시설이다. 시설내부는 하



사진 1. Newater Visitor Centre에서 탐방 참가자들과 함께



수처리시설이라 믿기 힘들 정도로 깨끗하고 슬러지 냄새를 맡을 수 없었다. 그 이유는 창이 수처리공장(CWRP)에 방문 후 알게 되었는데 싱가포르 전 지역의 하수는 수처리공장에서 처리 후 그 처리수의 30%를 NEWater Centre에서 정수하여 공장지대 등의 산업용수로 공급한다고 한다.

NEWater로 물을 정화하기 위해서 기존의 수자원 처리 방식 외에도 마이크로필터, 역삼투압, 자외선 기법 등 이중막(Dual-membrane)이 사용된다. 하수는 수천 개의 플라스틱 튜브를 지나는데, 튜브의 구멍은 겨우 물분자 60개만 통과할 수 있다고 한다. 이는 물만 통과 시키고, 다른 고체 성분은 통과하지 못하게 하는 역할을 한다. 이 부분에서 더 작은 구멍을 갖춘 막(membrane)이 물을 밀고, 결과적으로 기술적인 정화가 이뤄지는 것이다. 처리된 물은 재차 안전을 위해 자외선 처리를 거친다.

우리가 살펴보고 있는 중에도 이러한 수처리 공정이 작동하고 있었으며, 수처리 과정을 일반인들이 직접 눈으로 보고 쉽게 이해할 수 있도록 체험프로그램이 만들어져 있었다. 또한 직원들이 함께 코스별로 이동을 하며 공정을 설명해 줌으로서 각 공정에 들어간 기술과 설비에 대한 이해를 도와주었다. 중앙통제실에서 근무 중인 직원들의 모습도 볼 수 있었는데, 전산화된 프로그램을 이용하여 실시간으로 처리된 하수의 수질을 그래프로 확인하고 관리하고 있었다.

하수를 정화해 음용수까지 얻어낸다는 발상이 처음부터 환영받지는 못했다. 그러나 오늘날 싱가포르의 NEWater는 성공적 사례로 세계인의 주목을 끌고

있다. PUB가 엄격한 환경기준을 적용할 뿐 아니라 정수처리 과정에서 발생하는 오염물질도 철저히 관리하기 때문이다.

## (2) Marina Barrage Project

2008년에 완공된 마리나 저수지는 싱가포르 정부의 체계적이고 집중적인 연구와 투자를 통해 이루어낸 기술 집약의 결정체로서 싱가포르 국민들의 젓줄이자 관광산업의 일환으로 도시계획의 중심 테마라 일컬어지는 곳이었다.

이 댐은 350여m에 이르는 해협을 가로막으며 싱가포르 국토 면적의 6분의 1인 1만ha 규모의 공급이 가능한 물을 가두고 있다. 기존의 있던 바닷물은 강우 유역으로부터 공급된 빗물로 2년간 대체되어 댐의 안쪽은 담수가, 댐의 바깥쪽은 해수가 있게 된다. 육안으로도 선명한 댐의 안팎의 색의 차이를 구별 할 수 있었다. 개폐가 가능한 9개의 수문으로 댐을 막아둠으로서 홍수 시에는 물을 흘려보내고 가뭄 시에는 모아둔 물을 사용할 수 있었다. 이렇듯 수위를 일정히 조절가능한 점과 마리나베이 지역이 조류의 영향을 크게 받지 않는다는 점 덕분에 수위 차에 따른 압력으로 인해 수문이 영향을 받지 않도록 설계되어 있었다.

2008년 이전 싱가포르 수자원 확보원에서 빗물집수가 차지하는 비율은 30% 안팎이었지만, 마리나 저수지를 개장하면서 그 비중을 50~60%까지 올릴 수 있었다. 싱가포르 내의 17개의 저수지(푼골, 세랑군 등)는 싱가포르 3분의 2에 해당하는 지역에 물을 공급한다.



사진 2. 마이크로필터링 공정



사진 3. Ultraviolet-ray pipe



사진 4. Marina Barrage 전경



사진 5. Singapore City와 River 전경 모형



사진 6. Barrage의 9개의 수문



사진 7. Gallery 안에 있는 Barrage 수문 모형

또한 재미있는 사실은 이러한 기술적 집약 위에는 항상 싱가포르 시민이 있었다. 저수지 위로는 항상 보트나 카누경기를 즐기는 시민들을, 마리나 건물의 잔디밭에는 소풍을 즐기는 가족들을 볼 수 있는 등 국민들의 여가생활의 한 장으로 활용되고 있었다. 건물의 내부는 갤러리를 비롯하여 마리나 저수지의 역사와 설비를 설명하는 시설들을 두어 국민 참여와 함께 유명관광 명소로 까지 발전시킨 모습이 인상적이다.

누구나 쉽게 대중교통을 이용하여 방문할 수 있는 이곳 Marina Barrage 건물은 기술력을 통해 이루어 낸 실용적 성과를 바탕으로 예술적 미 또한 발산하고 있었다. 지붕을 회오리 모양으로 설계하고 잔디를 덮음으로써 건축물의 경관을 높이고 실내 온도를 낮추는 역할까지 한다고 한다. 건물의 실내에는 Gallery가 있었는데, 직원들이 친절히 안내해주며 예술작품과 함께 Marina Barrage의 건설 과정, 작동원리, Singapore의 도시계획과 그 청사진을 파악할 수 있었다.

### (3) Changi Water Reclamation Plant Project

현재 싱가포르에서는 수처리 공장은 벵독(Bedok), 셀레타(Seletar), 크람지(Kramji), 울루 판단(Ulu Pandan), 주롱(Jurong)과 이곳 Changi에 6개가 있고 투아스(Tuas) 공장이 완공되면 7개가 된다. 2010년에 완공된 이곳 창이 수처리 공장(CWRP, Changi Water Reclamation Plant)은 하수를 DTSS(Deep Tunnel Sewerage System)를 통해 모아서 처리 후 바다로 방류한다.

첨단기술이 밀집되어 있고 외부업체로부터 관리되는 공정이 많기에 경비가 삼엄하였다. 허가 없이는 사진촬영 또한 제한되어 있었으나 직원들의 배려로 회의실에서 싱가포르 하수처리시설에 대한 전반적인 브리핑을 받음으로서 싱가포르 하수처리시설의 흐름을 파악할 수 있었다.

현장 시설물을 둘러볼 시간을 가질 수 있었는데, 이곳에서도 슬러지 악취를 맡을 수 없었다. 공정 중 하수가 외부로 노출되는 부분 없이 전 공정이 관수로 따라 이동되기 때문이었다. 이외에도 한 가지 특

이한 점은 바로 Bio-Gas Tank였다. Digester에서 미세 유기물을 통한 슬러지 처리공정으로 인해 상당수의 천연가스가 발생하는데, 이를 Bio-Gas Tank로 이송시켜 저장해 두었다가 공정에 필요한 동력원으로 사용한다는 점이 인상 깊었다.

싱가포르 하수처리시설은 이들의 기반인 DTSS (Deep Tunnel Sewerage System)를 빼놓고는 얘기할 수 없다. PUB는 오수만을 위한 이 DTSS를 구축하였는데 이것은 싱가포르 전역에 걸쳐 지하철 터널보다도 더 큰 터널을 지하에 매장함으로써 전국의 하수를 모아 WRP로 운반하는 시스템이다. 이를 통해 전국의 가정에서 오수를 수집하고 구역별로 각 WRP에서 체계적으로 수처리를 하여 바다로 방류를 하기 때문에 국민들에게 식수에 대한 수질 및 환경오염에 대한 불안감으로부터 자유로울 수 있도록 했다. 이것은 철저한 도시계획과 기술력을 수용한 싱가포르 이기에 가능한 시스템이었다.

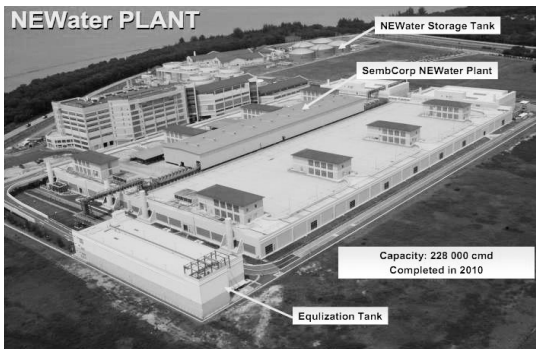


사진 8. Changi Water Reclamation Plant 전경

#### 4. 결론

마지막으로 우리가 탐방 기간 동안 흥미롭게 발견할 수 있었던 것은 우수 처리시설이다. 국내의 물 문제와 마찬가지로 싱가포르 또한 물 저장 공간에 대한 심각한 문제를 앓았던 적이 있다. 하지만 싱가포르는 새로운 사고방식으로 물 문제를 접근한다. 그 중 하나가 빗물 한 방울도 놓치지 않고 모두 모아서 활용을 하겠다는 것이다.

창이 수처리공장을 방문하는 날 1시간가량 갑작스런 폭우가 쏟아져 버렸다. 하지만 비가 그치고 1시간 후 빗물이 고여 있는 곳은 찾아 볼 수 없었다. 그것은 도시계획에서부터 우리나라와의 차이점을 보여주었다. 싱가포르는 빗물을 모으기 위해 도로 곳곳에 깊은 하수구를 만들고, 교량마다 볼펜 하나가 들어갈 정도 크기의 자그마한 하수구 구멍을 수백개씩 만들어 놓았다. 이물질을 걸러내기 위해서다. PUB의 직

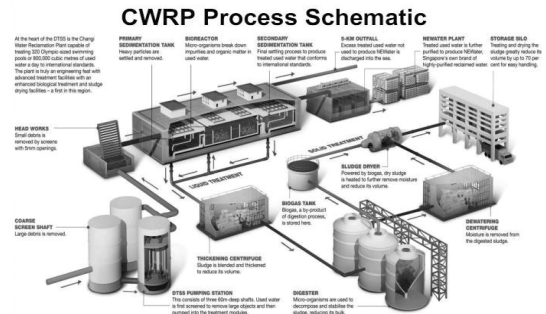


사진 9. 수처리 공장 공정도

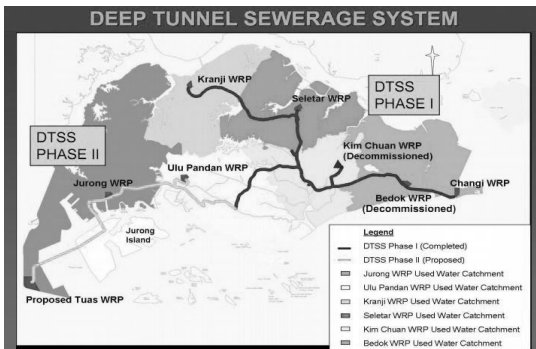


사진 10. 싱가포르의 DTSS 매설노선 수처리공장 위치

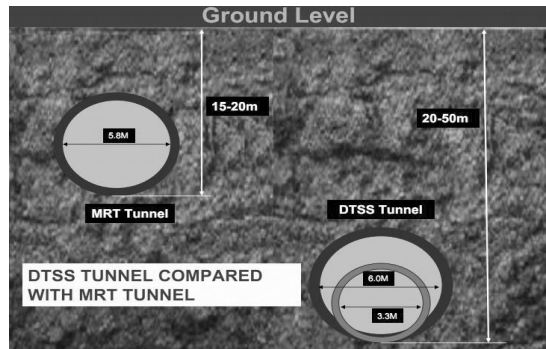


사진 11. DTSS와 Singapore 지하철의 비교

원에게 물으니 “빗물을 결코 헛되이 낭비하지 않는다. 이러한 빗물이 모여 Marina 저수지에 저장된다. 빗물은 우리의 주식수원이다.”고 말했다.

또한 싱가포르의 도로에서는 자연식생이 차지하는 부분이 상당했다. 왕복 8차선 도로임에도 절반 이상의 공간을 식생을 위해 내어두어 빗물이 지면으로 자연흡수 될 수 있도록 도왔다. 이는 갑작스런 강우에도 홍수를 완화시키는 기능을 맡을 뿐 아니라, 심미적 효과도 가져올 수 있다. 세계에서 2번째로 인구밀도가 높다는 싱가포르 임에도 용지 이용에 있어 사람

이 먼지가 아닌 자연과 함께인 환경친화적인 사고방식이 국민들의 내면에 깔려 있음을 알 수 있었다.

부정부패가 없는 나라, 거리가 깨끗한 나라라는 이미지답게 아무데서나 안심하고 수돗물을 마실 수 있는 나라. 그래서 사람들은 수돗물을 마실 때마다 싱가포르가 깨끗한 나라라는 확신을 갖게 된다. 하지만, 그들의 이러한 성과는 타고난 것이 아니라 스스로 불리한 조건을 이겨내고 만들어낸 것임을 잊지 말아야 할 것이다. 🍵