

해외출장(싱가포르) 요약

부서 : 기후변화연구실

과제명 : 서울시 수방시설 대응능력 평가 기반 지역별 치수안전 종합대책 수립(2)

자료제공 : 윤선권

작성일 : 2023년 12월 12일

게시요망일 : 2023년 12월 20일

제목 : [해외출장노트] 싱가포르 정부의 도시침수 방어 및 물재이용 정책과 향후 과제

※ 서울연구원은 2012년 10월부터 해외출장보고서를 발췌, 요약하여 공개하고 있습니다.

1. 출장개요

1) 출장지

- 싱가포르

2) 출장기간

- 2023년 11월 26일(일) ~ 2023년 11월 30일(목) (3박 5일)

3) 출장목적

- 싱가포르 국립 환경청(PUB)의 침수피해 예방 정책 논의 및 다기능 빗물 재이용 시설인 마리나 배라지(Marina Barrage) 해양 댐 방문을 통한 우수저장-유수지 활용 관련 기술조사 및 서울시 적용방안을 논의하고자 함
- 싱가포르의 대표적 수방시설인 SDT(Stamford Detention Tank) 현장 방문을 통해 서울시의 대심도 배수터널 구축관련 기술 정보 수집 등을 수집하고자 함
- 싱가포르 자연형 저류공원 방문(Kallang River Bishan AMK Park) 시설견학 및 On-Line/Off-Line 저류조 운영·관리 방안을 조사하고자 함
- 싱가포르 기상청(MSS), 싱가포르 국립대학(NUS) 방문을 통한 강우예측 및 도수홍수 예경보 분야 연구동향 조사 및 협력 방안을 논의하고자 함

4) 출장일정

| 일 자 | 활동지역 | 주요 일정 |
|---------------------------------|---------|--|
| 23.11.26(일) ~ 23.11.27(월) | 인천/싱가포르 | ○ 한국(인천공항) 출발, 싱가포르(창이공항) 도착 |
| 23.11.27(월) | 싱가포르 | ○ 싱가포르 PUB 방문 및 기술협력 방안 논의 : 연구협약 및 국제 공동세미나 개최 계획 논의 |
| | | ○ 싱가포르 마리나 배라지(Marina Barrage)방문 : 다기능 빗물 재이용 시설 견학 및 협력방안 논의 |
| 23.11.28(화) | 싱가포르 | ○ 싱가포르 SDT 방문 및 기술협력 방안 논의 : 대심도 빗물터널 및 저류시설 관리 기술 조사 |
| | | ○ Kallang River Bishan AMK Park 방문 : 자연형 저류조 운영 및 관리 방안 조사 : 수변공간 개발 우수사례를 학습·벤치마킹 |
| 23.11.29(수) | 싱가포르 | ○ 싱가포르 환경부-기상청(NEA-MSS)방문 : 기상관측 및 홍수예보 기술조사 : 도시홍수 예경보 분야 비구조적 대책 논의 |
| | | ○ 싱가포르 국립대학(NUS) 방문 : 서울시 DT기반 도수홍수 예경보 기술 협력 방안 논의 |
| 23.11.29(수) ~ 23.11.30(목) | 싱가포르/인천 | ○ 싱가포르 뉴워터(NEWater) 방문 : 하수도 물재이용 및 수자원관리 기술 논의 |
| | | ○ 싱가포르(창이공항) 출발, 한국(인천공항) 도착 |

2. 출장결과 요약 및 시사점

1) 싱가포르 국립 수자원국(PUB)

□ 일 시 : 2023년 11월 27일(월) 오전

□ 장 소 : 마리나 배라지(Marina Barrage) 회의실

□ 참석자 : Lee Cai Jie (Senior Deputy Director), Jonathan Loh (Senior Assistant Director), Kong Jun Hui Isabelle (Senior Manager), Sabrina Leong (Executive Engineer), 최연호 과장, 윤희성 주무관(서울시), 윤선권 연구위원(서울연구원)

□ 주요 내용

- 싱가포르 방문 첫날 PUB와 서울시-서울연구원은 공동세미나 추진을 통하여 PUB는 싱가포르의 수자원개발 역사(Singapore Water Story) 및 도시홍수 관리 방안(Stormwater Management in Singapore)에 대해 소개하였으며, 서울연구원은 서울시의 도시홍수관리정책(Urban Flood Management Policy in Seoul)에 대해 소개하고 토론하는 시간을 갖음
- 싱가포르 국립환경청(PUB)은 싱가포르에서 물 관리와 환경 보호를 담당하는 정부 기관임. PUB는 "Public Utilities Board"의 약자로, 공공 시설 및 공공 서비스의 제공을 책임지고 있음. PUB는 1963년에 설립되었으며, 싱가포르의 물 관리 및 공급에 중점을 두고 있음. 그 이후에는 물 관리 외에도 환경 보호 및 지속 가능한 개발에 관련된 다양한 업무를 수행하고 있음
- 2020년 4월부터는 해수면 상승으로부터 싱가포르의 해안선을 보호하는 국립 해안 보호 기관으로서의 책임도 맡게 되었으며, 싱가포르의 내륙 및 연안 홍수 위험을 총괄하고 이끌어가는 중요한 역할을 수행하고 있음
- 물 공급 및 관리: PUB는 싱가포르에서 안정적이고 효율적인 물 공급을 제공하기 위해 노력하고 있음. 국가적인 수자원 관리와 물 절약을 촉진하며, 싱가포르가 수자원 부족에 대응할 수 있도록 다양한 수원을 활용하고 있음
- 기술 혁신 및 지속 가능성: PUB는 기술 혁신을 적극적으로 도입하여 물 관리 및 처리 과정을 향상시키는 데 주력하고 있음. 또한, 지속 가능한 개발을 위한 프로젝트와 이니셔티브를 촉진하여 환경 보호에 기여하고 있음
- 국제 협력: PUB는 국제적인 수질 및 물 관리 문제에 대한 협력을 적극적으로 추진하고 있음. 국제 기구 및 다양한 국가와의 협력을 통해 물에 관련된 글로벌 문제에 대응하고 있음

- 사용자 교육 및 인식: PUB는 물에 대한 인식과 교육을 증진하기 위해 다양한 프로그램과 이벤트를 개최하고 있음. 이를 통해 시민들에게 물의 중요성과 보존의 중요성을 알리고 있음
- 싱가포르의 물 부족으로 인한 도전에 직면한 국가로, PUB는 이에 대응하기 위해 체계적이고 혁신적인 방법을 적용하여 물 관리와 지속 가능한 발전을 이끌고 있음



〈싱가포르 국립수자원국(PUB) 기반 방문 및 주요업무 소개〉

- PUB에서는 싱가포르의 폭우 관리 전략과 홍수 대응 작업에 대해 논의함. 싱가포르는 적도 인근에 위치하며 열대 기후로, 강한 상승기류에 의한 소나기가 자주 발생함
- 싱가포르의 평균 해발고도가 5미터 미만이며, 바다보다 지면이 낮은 지역이 전체의 30% 정도를 차지함. 높은 인구 밀도로 인해 홍수 위험에 노출되어 있으나 홍수 방어 전략을 통해 홍수 위험 지역을 크게 줄였음. 주요 전략은 다음과 같음
 - 구조적 대책 : 정부·기관과의 협력을 통해 배수지 토지를 확보하고 배수로 확장 및 심도를 확보하여 원활한 흐름을 유도하는 솔루션을 적용함
 - 지침 및 규제 : 홍수 방지를 위한 법적 규제를 통한 명확한 지침을 시행함. 표면수 배출에 대한 기준(원천 관리) 제시, 토지 개발을 위한 최소 지반고 규제, 현장 유출 시설에 대한 요구 사항 등이 포함됨
 - 지속 가능한 개발 : 설계 기준을 충족하기 위한 정기적인 수로 개선, 녹지공간을 확보하여 블루-그린 통합과 같은 다목적 활용을 통한 유출량 저감 노력
 - 피해 예방 : 집중호우로 발생하는 급작스런 침수에 대응하기 위한 전문 차량, 장비 및 프로토콜을 갖춘 홍수 대응 팀 구축. 실시간 정보 및 경보를 위한 CWS 대시보드 등의 기술 활용

- 지역사회의 복원력 강화 : 교육용 게시물, 커뮤니티 참여 유도, 홍수피해 방지 장치(물막이판 등) 배부를 통한 대중의 인식 증진 유도. 실시간 홍수 관련 정보를 제공하는 앱 및 웹사이트 개발 및 보급
- 특히, 기후변화로 인한 강한 비와 해수면 상승으로 인해 홍수 대비 능력을 강화해야 한다고 강조하였음. PUB의 배수 개선 사례를 공유하고, 사전 강우 경보, 경보 단계 및 홍수의 사후 조사 등 다양한 홍수 대응 단계를 설명하였음



〈싱가포르 국립 수자원국(PUB) 방문 및 마리나 배라지 견학〉

□ 결론 및 시사점

- (정부 주도의 기획과 협력 강화) 싱가포르의 홍수 관리 성공 사례는 정부 기관간의 협력과 효율적인 기획이 중요하다는 점을 보여줌. 서울시도 다양한 기관과의 협력을 강화하고 효율적인 기획을 통해 홍수 관리 전략을 개선할 수 있음
- (법규 강화와 지침 수립) 싱가포르의 법적 규제와 지침은 홍수 관리를 지원하는 데 큰 역할을 하고 있음. 서울시도 홍수 관련 법규를 강화하고 명확한 지침을 수립하여 시민들과 기업이 적극적으로 홍수 대비에 참여할 수 있는 환경을 조성할 필요가 있음
- (기후 변화 대응) 기후 변화로 인한 집중호우와 해수면 상승은 서울시에도 홍수위험을 증가시킬 수 있음. 싱가포르처럼 기후 변화 대응을 강화하고, 미래의 더 강한 홍수 상황을 대비할 수 있는 계획을 수립하는 것이 중요함
- (기술과 정보 활용) 싱가포르는 기술과 실시간 정보를 효과적으로 활용하여 홍수 상황을 모니터링하고 대응하는데 활용하고 있음. 서울시도 IoT 활용이 용이한 만큼, 최신 기술을 이용한 데이터 기반의 홍수 예측 및 대응 능력 강화를 적용할 수 있음

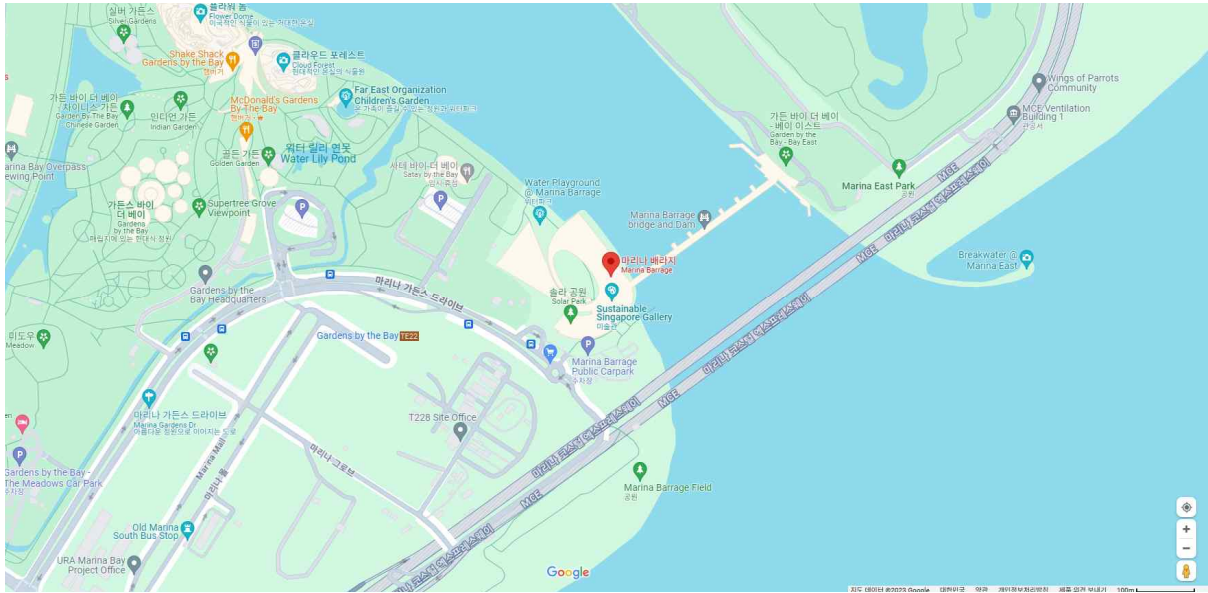
- (커뮤니티 참여와 인식 증진) 서울시의 시민들을 홍수 위험에 대해 인식시키고, 커뮤니티 참여를 촉진하는 노력이 필요함. 싱가포르와 같은 교육 활동, 커뮤니티 세션 및 정보 제공 플랫폼을 통해 시민들의 참여를 유도할 수 있음

2) 마리나 배라지(Marina Barrage) 해양댐

- 일 시 : 2023년 11월 27일(월), 점심
- 장 소 : 마리나 배라지 홍보관(8 Marina Gardens Dr, Singapore)
- 참석자 : Lee Cai Jie (Senior Deputy Director), Jonathan Loh (Senior Assistant Director), Kong Jun Hui Isabelle (Senior Manager), Sabrina Leong (Executive Engineer), 최연호 과장, 윤희성 주무관 (서울시), 윤선권 연구위원(서울연구원)

□ 주요 내용

- 마리나 이스트(Marina East)와 마리나 사우스(Marina South) 사이의 마리나 협을 가로질러 5개의 강이 합류하는 지점에 건설된 싱가포르 남부의 다목적댐으로 식수 공급, 홍수 조절 역할 뿐만 아니라 싱가포르의 대표적 관광 명소로 휴양시설 제공하는 시설
- 마리나 배라지(Marina Barrage)는 싱가포르의 주요 물 관리 프로젝트 중 하나로, 싱가포르에서 물 공급, 홍수 통제 및 햇빛 발전을 위한 중요한 시설임
- 마리나 배라지는 싱가포르의 마리나 동쪽에 위치하고 있음. 마리나 사우스 지역에 위치하며, 싱가포르 도심 지역과 가까워 도심과 연결된 장소로 알려져 있음
- 물 관리 및 수문 시스템: 마리나 배라지는 수문으로 구성된 물 관리 시스템을 갖추고 있음. 수문은 싱가포르의 주요 강이자 수원인 싱가포르 강을 효과적으로 관리하고 물의 수준을 조절하는 역할을 함. 이를 통해 홍수를 통제하고 정확한 물 공급을 유지할 수 있음



〈싱가포르 마라나 배라지(Marina Barrage) 위치〉



마라나 배라지(왼쪽: 담수, 오른쪽: 해수): 높이 28m의 9개 수문 운영 중

□ 시사점

- 저수지 및 놀이 공원: 마라나 배라지는 큰 규모의 인공 저수지를 형성하여 주변 지역에 자연 환경을 제공함. 이 지역은 시민들에게 산책, 피크닉, 운동, 가족 행사 및 기타 레크리에이션 활동을 즐길 수 있는 공간으로 조성됨
- 에너지 생산: 마라나 배라지는 태양광 패널을 이용하여 에너지를 생산함. 태양광 발전소를 통해 생성된 전기는 시설 자체 운영을 위해 사용되며, 지역 전력 공급에

도 기여

- 교육 및 관광 명소: 마리나 배라지는 물 관리 및 지속 가능성에 관한 교육 프로그램을 제공하고 있음. 또한, 이 지역은 싱가포르의 관광 명소 중 하나로 손꼽히며 많은 관광객과 시민들이 찾는 장소 중 하나

■ 마리나 배라지(Marina Barrage) 홍보관 사진



마리나 배라지 소개



마리나 배라지 펌프시설



마리나 배라지 축소모형 운영 시연



마리나 배라지 수문 상부도로

3) 싱가포르 스탬포트 저류탱크(SDT, Stamford Detention Tank)

- 일 시 : 2023년 11월 26일(월), 오후
- 장 소 : SDT (Stamford Detention Tank) 상황실 및 설치현장
- 참석자 : Kong Jun Hui Isabelle (Senior Manager), Sabrina Leong (Executive Engineer), 최연호 과장, 윤희성 주무관(서울시), 윤선권 연구위원(서울연구원)

□ 주요 내용

- (위치 및 목적) SDT는 싱가포르 식물원의 코치 파크와 국립 난초 양식장 아래에 있는 거대한 저수조임. 2010년과 2011년의 홍수 피해 이후, 오차드 로드의 침수 피해를 줄이기 위해 설치됨
- (제원) SDT의 면적은 약 0.5ha, 깊이는 30m, 저류량은 38,000m³로 15개의 올림픽 규모 수영장의 물을 담을 수 있음. 설치된 펌프는 총 7대이며, 초당 5.6ton의 물을 방류하여 4시간 내 전량 배제가 가능함
- (운영) 본류 하천의 수위가 상승하면 자동으로 하천수를 유입하며, 강우 종료 후 저장된 물을 다시 수로로 보내 홍수 문제를 완화시킴. 시설 깊이는 30m지만, 실제 저류는 7.5m 까지만 이루어지며, 그 이유는 자연유하 방식으로 하천수를 유입시키기 위한 최소 수두차를 고려한 것
- (유지관리) SDT는 지속적으로 모니터링과 유지보수를 실시하고 있음. 제어실에서는 CCTV 모니터링 및 시스템 관리가 이루어지며, 센서와 장비를 사용하여 시설의 상태를 체크함

□ 시사점

- 싱가포르는 우수와 오수가 분리되는 분류식 하수체계를 사용하고 있어, 강우시 하천수나 빗물을 저류해도 오염물 유입이 적고 유지관리가 용이함
- 저류조 크기에 비해 실제 물을 담는 수심이 7.5m로 매우 작는데, 이를 이용하여 저류조 상부에 견학 탐방로를 구성하고 다수의 조명과 환기 시설을 갖추었음
- 그러나 하천수를 유입하는데 비하여 시설 규모는 신월 빗물저류배수시설의 1/10로 작은 수준이므로, 실제 침수피해 저감 효과에 대해서는 검증이 필요할 것으로 판단됨
- (지하 저류조 설치) 서울시의 신월 대심도 빗물저류배수시설이나 싱가포르의 SDT와 같은 시설은 자연형 저류조 설치가 불가능한 도심지에서 홍수피해를 효과적으로 저감할 수 있는 시설임. 싱가포르의 경우에도 하천수를 저류하기에는 용량이 턱없이 부족하지만, 다른 대안이 없었다고 함. 보다 효과적인 시설 구축을 위해서 유관기관과의 긴밀한 협조와 함께 체계적인 시설 운영 및 유지관리 계획 수립이 필요함
- (생태 저류조 설치) 도시 공원을 확장하고 하천환경을 자연적으로 변화시키는 것은

많은 시민들에게 친환경적인 친수공간을 제공하는 긍정적인 프로젝트임. 그러나 친수공간 접근성이 증가함과 동시에 홍수시 인명피해 가능성 또한 증가하므로, 하천 주변의 침수 위험에 대한 인식을 높이기 위해 벌금제와 같은 규제를 도입하여 시민들이 홍수 위험을 인식하고 조심하도록 유도하는 노력 또한 필요하다고 판단됨

■ Stamford Detention Tank (SDT) 내부 현장 조사 사진



4) 자연형 저류지(Bishan-Ang Mo Kio Park)

- 일 시 : 2023년 11월 28일(화), 오전
- 장 소 : Bishan-Ang Mo Kio Park 현장
- 참 석 자 : Kong Jun Hui Isabelle (Senior Manager)외 2인, 최연호 과장, 윤희성 주무관(서울시), 윤선권 연구위원(서울연구원)

□ 주요 내용

○ 사업 대상지 개요

- (위치 및 역사) Bishan-Ang Mo Kio Park는 싱가포르 중심부에서 가장 큰 도시 공원 중 하나로, 자연적인 환경과 다양한 활동을 즐길 수 있는 공간으로 꾸며져 있음. 이 공원은 Bishan 지역과 Ang Mo Kio 지역을 횡적으로 가로지르며, 싱가포르의 푸른 공기와 휴식을 찾는 이들에게 인기가 있음
- (규모) 공원의 길이는 3km이고 전체 면적은 62ha이며 공사 비용은 약 7,600만 SGD(한화 약 750억원) 2012년에 완공됨

○ 사업 대상지 특징

- (수원 및 호수) 주 수원은 Bishan-Ang Mo Kio Park 유역 상류 저수지에서 유지유량을 공급하며, 주로 큰 인공 호수와 연못으로 이루어져 있음. 이 호수는 공원을 횡단하면서 아름다운 수면을 만들어내고, 주변에는 산책로와 자전거 도로가 있어 방문객들이 풍경을 즐길 수 있음
- (활용) 많은 시민들이 공원에 접근할 수 있도록 공공주택 단지 인근에 공원을 조성하였으며, 다양한 레크리에이션 활동을 즐길 수 있는 잔디밭, 강변 정원, 평지와 산책로, 자전거도로 등을 갖추고 있음



* 사진 출처: <https://www.asla.org/2016awards/169669.html>

- (특징) 공원의 계획 단계에서부터 국립 공원청과 국가 수자원청이 협력하여 시민

들에게 공공의 이익을 가져오도록 협력하였음. 이러한 협력 성과를 바탕으로 유사한 프로젝트에서도 기관간 협력을 유도했으며, 생태적 측면과 사회적 인프라를 모두 만족하는 성공을 거두었음

- PUB의 ABC 프로젝트(Active, Beautiful and Clean Waters)를 통해 콘크리트 운하를 자연 하천으로 변화시켰음
- (테마 정원과 식물원) 공원 내에는 다양한 테마 정원과 식물원이 위치하고 있음. 이곳에서는 자연의 다양성을 감상하면서 꽃과 식물에 대한 지식을 얻을 수 있음
- (자전거 도로와 산책로) Bishan-Ang Mo Kio Park은 자전거 도로와 산책로가 잘 구비되어 있어 걷거나 자전거를 타며 공원 주변을 돌아다닐 수 있음. 이는 지역 주민들과 방문객들에게 운동과 자연 감상을 결합한 활동을 제공함
- (공원 시설 및 레크리에이션 영역) Bishan-Ang Mo Kio Park에는 어린이 놀이터, 피크닉 장소, 야외 운동 시설, 카페 등이 포함되어 있어 가족과 친구들과 함께 즐거운 시간을 보낼 수 있음
- (행사 및 문화 활동) 공원은 다양한 문화적 행사와 활동의 장으로도 활용되고 있음. 지역 사회 행사, 공연, 예술 행사 등이 주기적으로 열리며, 이는 지역 주민과 방문객들에게 다양한 문화 경험을 제공함

■ Kallang River Bishan AMK Park 건설 전후 모습



* 사진 출처: <https://www.asla.org/2016awards/169669.html>

□ 시사점

- Bishan-Ang Mo Kio Park은 싱가포르에서 자연과 휴식을 즐기기엔 좋은 장소 중 하나로 평가되고 있음. 자연과 도시의 조화로운 결합을 통해 이곳은 다양한 활동과 이벤트를 즐기기엔 이상적인 장소임
- Bishan AMK Park 홍수조절 기능
 - Bishan-Ang Mo Kio Park는 홍수저감 및 지역 홍수 관리에 기여하는 중요한 역할을 하는 프로젝트 중 하나임. 이 공원은 싱가포르 정부의 PUB(Public Utilities Board)와 협력하여 설계되었으며, 다양한 기술과 설비를 활용하여 홍수 관리에 기여하고 있음
 - 저수지 및 인공 호수: Bishan-Ang Mo Kio Park는 큰 인공 호수와 저수지를 중심으로 구성되어 있음. 이러한 저수지는 강우량이 많아질 때 물을 저장하고, 필요에 따라 물을 방출하여 지역의 홍수를 완화시킴. 홍수로부터 보호되는 주변 지역의 안전성을 향상시키는 역할을 함
 - 수문 및 홍수 제어 시스템: Bishan-Ang Mo Kio Park에는 PUB에서 설치한 수문과 홍수 제어 시스템이 운영되고 있음. 이 시스템은 지역의 강우 예측과 실시간 데이터를 기반으로 홍수를 예방하고, 필요에 따라 물을 효과적으로 관리함
 - 생태학적 홍수저감 기술: 공원 내에는 홍수를 조절하고 지역의 홍수 위험을 감소시키기 위한 생태학적 기술이 도입되어 있음. 이는 자연적인 생태계의 특성을 활용하여 물을 흡수하고 저장하는 데 도움을 줌
 - 강우 시 안전한 수칙 준수: 공원은 강우량이 많을 때 수위를 안전 수준으로 조절하여 주변 지역의 홍수위험을 감소시킴. 이러한 안전 조치는 지역 주민과 주변 인프라에 대한 홍수로부터 보호 역할을 함



〈Kallang River Bishan AMK Park 시설 현장 견학〉

5) 싱가포르 기상청(MSS), 기후변화연구소(CCRS) 방문

- 일 시 : 2023년 11월 28일(화), 오후
- 장 소 : 기후변화연구소(CCRS) 회의실
- 참 석 자 : Dr. Prasana Venkatasman (Senior Research Fellow), Dr. Byoung Woong An (Senior Research Fellow), 최연호 과장, 윤희성 주무관(서울시), 윤선권 연구위원(서울연구원)

□ 주요 내용

○ 방문기관 개요

① 싱가포르 기상청(MSS)

- (연혁) 싱가포르 기상청(MSS, Meteorological Service Singapore)은 1920년 9월 1일 설립되었으며, 싱가포르 정부의 환경 및 물부(Ministry of the Environment and Water Resources) 산하에 있으며, 싱가포르의 기상 예보를 담당하고 있음
- (주요업무) MSS의 주요 업무는 기상 및 기후 관측, 기상 예보, 기상 재해 경보, 기상 교육 및 홍보 등임. MSS는 레이더, 위성, 지상 관측소 등 다양한 데이터를 기반으로 기상 예보를 하고 있음. 또한, 초단기 강우 예측 기술을 개발하여 5분 단위로 강우량을 예측하고 있음
- (관측소) MSS는 싱가포르 전역에 20여 개의 지상 관측소, 3개의 위성 관측소, 1개의 레이더 관측소를 운영하고 있음. 또한, 세계기상기구(WMO)와 협력하여 국제 기상관측 네트워크에 참여하고 있음

② 싱가포르 기후연구소(CCRS), <http://ccrs.weather.gov.sg/mission-vision>

- (연혁) 싱가포르 CCRS(Centre for Climate Research Singapore)는 싱가포르 기상청(MSS) 산하의 기후 연구 기관임. 2007년 설립되었으며, 싱가포르의 기후 변화에 대한 이해를 높이고, 기후 변화에 대응하기 위한 정책과 기술을 개발하는 것을 목표로 하고 있음
- (주요업무) CCRS의 주요 연구 분야는 기후 모델링, 기후 변화 영향 평가, 기후 변화 적응, 기후 변화 완화 등이며, 싱가포르뿐만 아니라 국제적으로도 기후 변화 연구를 선도하는 기관으로 인정받고 있음. CCRS의 연구 결과는 싱가포르 정부의 기후 변화 정책 수립에 중요한 기초 자료로 활용되고 있음

○ 주요 협의 내용 및 논의 사항

- 싱가포르 기상청(MSS)은 초단기 강우예측 기술을 개발하여 2023년부터 본격적으로

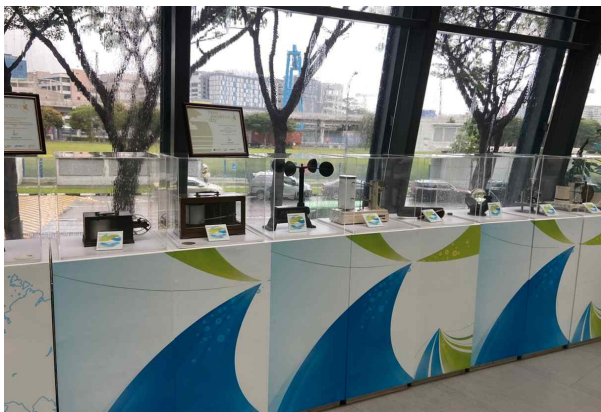
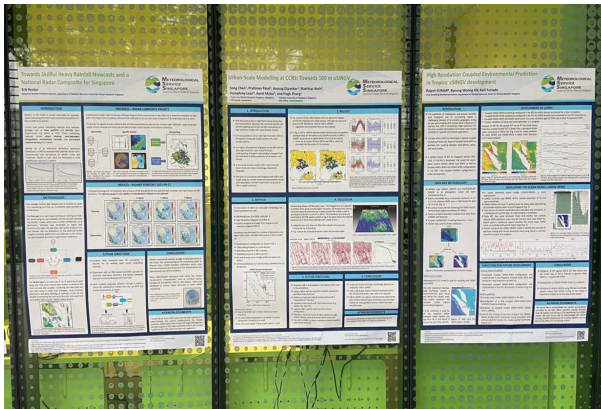
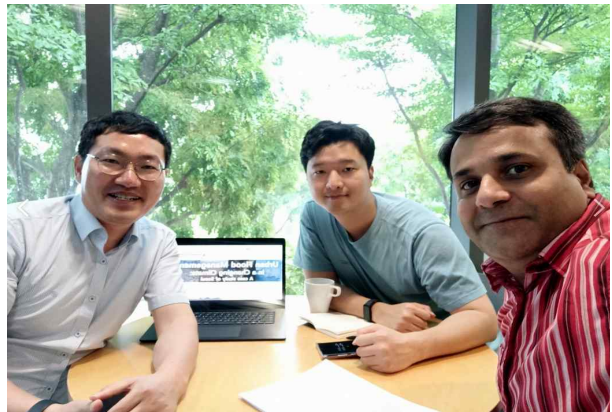
- 로 활용하고 있음. 이 기술은 레이더, 위성, 지상 관측소 등 다양한 데이터를 기반으로 5분 단위로 강우량을 예측함
- MSS의 초단기 강우예측 기술은 다음과 같은 분야에서 활용될 수 있음
 - 교통분야: MSS의 초단기 강우예측 기술을 사용하여 교통량을 예측하고, 교통 혼잡을 줄이고, 안전을 확보할 수 있음. MSS는 초단기 강우예측 기술을 사용하여 교통 신호를 조절하고, 버스 운행을 조정하고, 우산을 들고 다니는 사람들을 위한 정보를 제공하고 있음
 - 재난 관리분야: MSS의 초단기 강우예측 기술을 사용하여 홍수와 같은 재난을 예방하고, 피해를 최소화할 수 있음. MSS는 초단기 강우예측 기술을 사용하여 홍수 경보를 발령하고, 하천수위 예측 등에 활용하고 있음
 - 홍수 경보: MSS의 초단기 강우예측 기술을 사용하여 홍수 경보를 발령하고, 주민들에게 대피를 안내할 수 있음. 예를 들어, MSS는 초단기 강우예측 기술을 사용하여 홍수 경보를 발령하고, 주민들에게 대피를 안내하고, 재난 대응 계획을 수립하고 있음
 - 하천 수위 예측: MSS의 초단기 강우예측 기술을 사용하여 하천 수위를 예측하고, 홍수를 예방할 수 있음. MSS는 초단기 강우예측 기술을 사용하여 하천 수위를 예측하고, 하천 제방을 관리하고, 홍수 대응 계획을 수립하고 있음
 - 우산 예보: MSS의 초단기 강우예측 기술을 사용하여 5분 단위로 강우량을 예측하고, 우산을 들고 다니는 사람들을 위한 정보를 제공할 수 있음. 예를 들어, MSS는 초단기 강우예측 기술을 사용하여 앱이나 웹사이트를 통해 우산 예보를 제공하고 있음
 - MSS의 초단기 강우예측 기술은 아직 개발 초기 단계에 있지만, 다양한 분야에서 활용될 수 있는 잠재력을 가지고 있음. MSS는 앞으로도 초단기 강우예측 기술의 정확도를 높이고, 다양한 분야에서 활용될 수 있을 것으로 보임

□ 시사점

- 최근 개발을 시작한 싱가포르 기상청(MSS)의 초단기 강우예측 기술의 협력방안 마련(X-band 레이더, 위성, 지상 관측소 등 다양한 데이터를 기반으로 5분 단위로 강우량을 예측)
- MSS의 초단기 강우예측 기술을 사용하여 홍수 경보를 발령하고, 주민들에게 대피를 안내 방송 실시 및 재난 대응계획 수립에 활용, 초단기 강우예측 기술을 사용하여 하천 수위를 예측하고, 하천 제방을 관리하고, 홍수 대응 계획을 수립에 활용
- MSS는 5분 단위의 초단기 강우량을 예측 기술을 사용하여 앱이나 웹사이트를 통

해 우산 예보를 제공하고 있으며, 서울시 또한 초단기 강우예측 기술을 활용하여 우산을 들고 다니는 사람들을 위한 정보를 제공할 수 있음

- 싱가포르 CCRS의 기상 모델링, 기후 데이터 분석 등을 통해 싱가포르의 기온, 강우량, 해수면 상승 등의 기후변화 예측 기술의 서울시 협력 가능
- 기후 모델링, 기후 데이터 분석 등을 통해 기후 변화가 싱가포르의 농업, 수자원, 해양, 재난 등에 미치는 영향을 평가 수행



〈싱가포르 기상청(MSS) 주요 연구동향 조사〉

6) 싱가포르 뉴워터 팩토리(NEWater) 방문

- 일 시 : 2023년 11월 29일(수), 오전
- 장 소 : 뉴워터 팩토리(NEWater) 홍보관
- 참 석 자 : 뉴워터 팩토리(NEWater) 홍보 담당자 외 2인, 최연호 과장, 윤희성 주무관(서울시), 윤선권 연구위원(서울연구원)

□ 주요 내용

○ 방문기관 개요

- 싱가포르의 NEWater는 하수를 처리하고 재이용하는 선도적인 수자원 관리 시스템 중 하나이며, 고도로 처리된 하수를 극초순수 수준으로 정화하여 식수원으로 활용하는 프로세스를 의미함
- 싱가포르 뉴워터 팩토리(NEWater)는 싱가포르의 하수를 재처리하여 식수로 사용하는 시설임. 1998년부터 운영을 시작했으며, 현재 싱가포르 전체 물 공급량의 약 30%를 담당하고 있음



싱가포르 NEWater 플랜트 센터



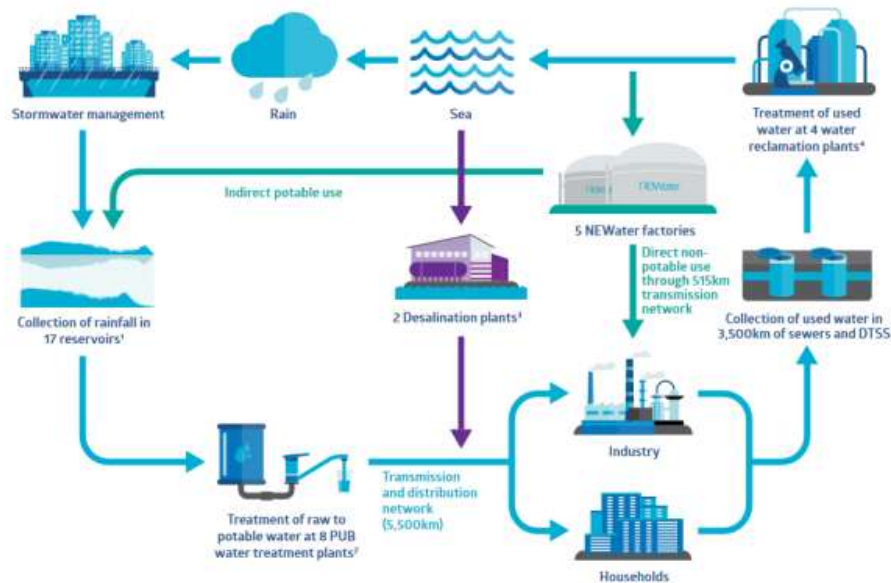
싱가포르 NEWater 하수처리 시설

〈싱가포르 뉴워터 팩토리(NEWater) 센터 및 하수처리 시설〉

○ 하수재이용 생산 시설 및 수처리 과정

- 수집 및 초기 처리: 생활 및 산업에서 발생한 하수가 수집되고, 처음에는 기초적인 물리적 및 화학적 처리가 이루어짐. 이 단계에서 고체 물질, 부유 물질 및 일부 오염물질이 제거됨
- 고급 처리 및 여과: 초기 처리 후, 물은 고도 처리 단계로 이동함. 여기에서 반투과성 막 및 고도 화학 처리를 통해 미생물, 세균 및 남아 있는 오염물질을 효과적으로 제거함
- 고도 정화: NEWater는 높은 수준의 정화가 이루어짐. 이 단계에서는 역삼투과

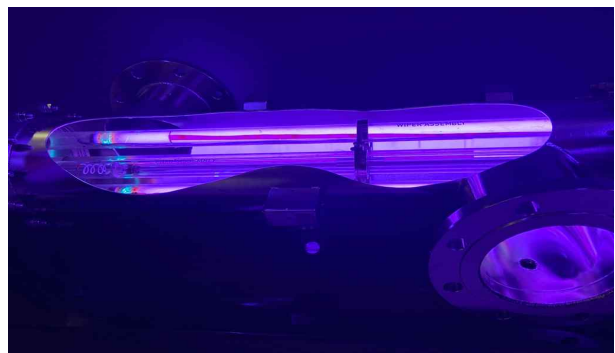
- 막(RO)을 사용하여 남아 있는 미량의 물질과 미생물을 거의 완전히 제거함
- 유지 보수 처리 및 신선한 물 추가: 신선한 물이나 바다 물을 일부 첨가하여 정화된 물을 세척하고 수질을 유지 보수함
- 저장 및 공급: 마지막으로, NEWater는 저장 탱크에 저장되어 지역의 식수 공급 체계에 공급됨
- 뉴워터 팩토리는 다음과 같은 과정을 거쳐 하수를 재처리함
 - 1차 처리: 중력 침전, 여과, 응집 등의 과정을 통해 거친 찌꺼기와 부유물 제거, 미생물을 이용하여 유기물과 질소 제거
 - 2차 처리: 역삼투막(RO)을 이용하여 미세한 불순물 제거
 - 3차 처리: 자외선 살균 오존(UV) 수처리공정을 통한 음용수 생산



〈싱가포르 뉴워터 팩토리(NEWater) 하수재처리 과정〉



RO 수처리 장치



자외선 살균 오존(UV) 수처리 장치

〈싱가포르 뉴워터 팩토리(NEWater) RO 및 UV 수처리 장치〉

○ 기관방문 및 주요 논의 사항

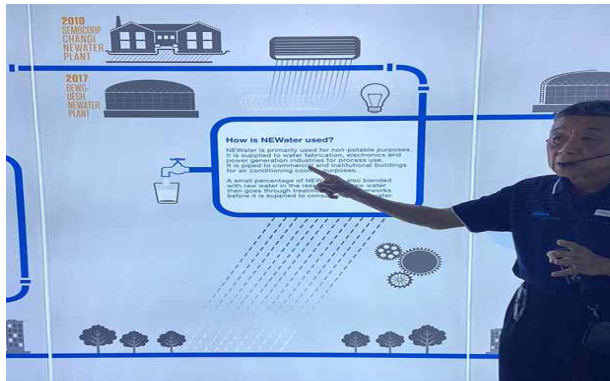
- 싱가포르의 자원 부족한 지역으로서 물 부족에 직면해왔음. 섬 국가이기 때문에 자연적인 담수원이 한정적이며, 기후변화와 인구 증가로 인해 물 부족 문제가 더욱 심각해지고 있음. 싱가포르의 물 부족 대응 및 현황에 대한 몇 가지 주요 포인트는 다음과 같음

- NEWater 프로젝트 및 신도시 계획: 싱가포르는 NEWater와 같은 고급 물 재이용 기술을 도입하여 하수를 정화하고 식수로 재이용하고 있습니다. 또한, 새로운 도시 개발과 관련하여 비온 기수를 최대한 활용하고 비전박을 통해 물을 저장하는 등의 방법을 도입하고 있습니다.
 - 건물 물재이용 및 담수확보: 싱가포르는 건물 물재이용 시스템을 통해 비가 오면 물을 저장하고, 증발을 최소화하여 물을 효율적으로 활용하고 있음. 또한, 국가적인 수자원 계획을 통해 말레이시아와 협력(관계 개선)하여 수입해 오는 수자원을 확보하는 등 다양한 방식으로 부족한 수자원에 대응하고 있음
 - 지속 가능한 수자원 관리: 싱가포르는 물 부족 문제에 대한 대응책으로 지속 가능한 수자원 관리를 강조하고 있음. 이는 농업, 산업, 그리고 개인 사용에 있어서도 물을 효율적으로 사용하고 절약하는 것을 의미함
 - 물가 상승: 싱가포르는 물 부족 문제에 대응하기 위해 싱가포르는 물 가격을 조절하고 물 소비에 대한 경각심을 높이기 위해 노력하고 있음. 높은 물 가격은 물 소비자에게 물을 절약하고 효율적으로 사용하도록 동기부여할 수 있음
- 이러한 노력들을 통해 싱가포르는 물 부족 문제에 대응하고, 미래에도 지속 가능한 물 공급을 확보하기 위한 다양한 정책을 추진하고 있음

○ 뉴워터 팩토리의 주요 특징은 다음과 같음

- 하수를 재처리하여 식수로 사용: 뉴워터는 하수를 재처리하여 식수로 사용하는 세계 최초의 상업용 시설임
- 높은 수질 기준: 뉴워터는 식수로 사용하기 위한 모든 기준을 충족하고 있음
- 다양한 용도로 사용: 뉴워터는 식수뿐만 아니라 화장품, 자동차 부품, 반도체 제조 공정 등에도 사용되고 있음

○ 뉴워터 팩토리는 싱가포르의 물 부족 문제를 해결하고, 지속 가능한 수자원 관리를 위한 중요한 역할을 하고 있음



싱가포르 하수 수처리 공정 역사

(싱가포르 뉴워터(NEWater) 하수처리 시설 조사 및 현장견학)



DTSS 시스템과 연계된 하수처리 과정 모식도

□ 시사점

- 싱가포르는 국토가 좁고, 강수량이 적어 물 부족에 취약한 국가임. 물의 50%를 인근 말레이시아 조호르에서 저렴한 가격에 수입하지만 처리 비용은 많이 듦
- NEWater라고 불리는 재생 폐수를 생산하여 싱가포르 현재 물 수요의 최대 40%를 충족하고 있음. 싱가포르 물 수요의 최대 25%를 충족할 수 있는 물을 담수화하지만 에너지 집약적 기술을 운영하는 데 드는 높은 비용으로 인해 선호되는 공급원이 아님
- 싱가포르 뉴워터 팩토리(NEWater)는 주로 공업용 물과 전통적인 수자원을 보충하기 위해 사용됨. 이것은 싱가포르가 한정된 자원을 효과적으로 활용하고 지속 가능한 물 공급을 유지하기 위한 혁신적인 노력의 한 부분임. 이러한 기술은 서울시의 물 부족이나 물 확보에 어려움을 겪는 일부지역에서 모델로 삼을 수 있음
 - 물 재이용 기술 도입: 서울시도 물 부족 대응을 위해 첨단 기술을 도입하여 하수를 재이용할 수 있음. 싱가포르에서처럼 물을 극초순수 수준으로 정화하는 기술이나 빗물 저장 및 활용 시스템을 도입함으로써 지속 가능한 수자원 관리를 강화할 수 있음
 - 도시물순환 시스템 및 그린인프라 활용: 서울시는 도시물순환 시스템을 더욱 강화하고, 비가 올 때 빗물을 수집·저장하는 시스템을 확대해 나갈 수 있음. 이를 통해 홍수저감에 기여하고 물재이용 시설을 효율적으로 확보하고 물을 절약할 수 있음

7) 싱가포르 국립대학(NUS) 방문

- 일 시 : 2023년 11월 29일(수), 오후
- 장 소 : 싱가포르 국립대(NUS) 토목공학과 및 도시계획학과 회의실
- 참 석 자 : Prof. Filip Biljecki 교수 외 대학원생 3인, 최연호 과장, 윤희성 주무관(서울시), 윤선권 연구위원(서울연구원)

□ 주요 내용

○ 방문기관 개요

- (연혁) 싱가포르 국립대학(National University of Singapore, NUS)는 1905년에 싱가포르 의과학교로 설립되었으며, 1980년에 싱가포르 대학과 난양 대학이 합병하여 NUS로 개명되었음.
- (규모) 싱가포르의 서남부에 위치한 켄트리지 캠퍼스를 중심으로 12개의 캠퍼스를 운영하고 있으며, 2021년 기준으로 17개의 학부, 30개의 대학원, 3개의 연구소, 그리고 30여개의 연구센터와 협력기관을 갖추고 있음. 재학생은 38,000명 이상이며, 그 중 약 10,000명은 외국인 학생들로 구성되어 있음. 교직원인 4,000명이며, 그 중에서 약 80%는 해외 출신임
- (평가) 세계 최상위권 대학 중 하나이며 QS World University Rankings 2023에서 전 세계 11위, 아시아 1위로 선정되었음. 그 중 공과대학 분야에서는 전 세계 16위로 선정되었으며, 과학, 사회과학 등 과목별 랭킹으로도 거의 대부분이 15위 내의 순위에 안착 해 있음. Times Higher Education World University Rankings 2023에서는 전 세계 19위로 평가되었음

○ 싱가포르 국립대 디지털 트윈(Digital Twin, DT) 기술

- 싱가포르국립대학교(NUS)는 디지털 트윈 기술을 연구하고 개발하는 선도적인 대학 중 하나이며, 다음과 같은 분야에 중점을 두고 있음
- 도시 계획 및 관리: NUS는 도시의 인프라, 교통, 환경 등을 모델링하는 디지털 트윈을 사용하여 도시 계획 및 관리를 개선하는 방법을 연구하고 있음. NUS는 싱가포르의 도시 디지털 트윈을 사용하여 교통 혼잡을 줄이고 에너지 효율성을 높이는 방법을 연구하고 있음
- 건물 및 시설 관리: NUS는 건물 및 시설의 상태를 모니터링하고 유지 관리하는데 도움이 되는 디지털 트윈을 개발하고 있음. 예를 들어, NUS는 싱가포르의 한 병원의 디지털 트윈을 사용하여 병원의 에너지 사용을 최적화하는 방법을 연구하고 있음

- 산업 및 제조: NUS는 산업 및 제조 프로세스를 개선하는 데 도움이 되는 디지털 트윈을 개발하고 있음. 예를 들어, NUS는 싱가포르의 한 제조 공장의 디지털 트윈을 사용하여 공장의 생산성을 높이는 방법을 연구하고 있음
- 싱가포르국립대의 Filip Biljecki 교수의 연구실은 싱가포르의 3D 디지털 트윈을 개발하고 있으며, 싱가포르의 지형, 건물, 인프라, 교통, 환경 등을 정밀하게 모델링하고 있음



〈싱가포르국립대 디지털 트윈(DT) 연구실〉

□ 시사점

- 싱가포르국립대 Filip Biljecki 교수의 연구실은 싱가포르의 디지털 트윈을 활용하여 기후 변화가 싱가포르에 미치는 영향을 평가하고 있으며, 싱가포르의 디지털 트윈을 사용하여 서울시의 도립천 유역 등 도시하천의 홍수 발생 가능성을 평가하고, 해수면 상승에 따른 침수 피해 예측 모델을 개발관련 연구협력이 가능함
- 또한, 싱가포르국립대가 보유한 디지털 트윈을 사용하여 홍수에 대비한 방재 시스템을 개발하고, 해수면 상승에 대비한 해안 보호 시스템을 개발할 수 있음.
- Biljecki 교수의 Digital Twin 연구실의 연구는 서울시의 기후 변화에 대한 이해를 높이고, 기후 변화에 대응하기 위한 정책과 기술을 개발하는 데 중요한 기여할 수 있을것으로 사료됨
- 디지털 트윈(DT) 기술의 서울시 활용 가능분야를 정리하면 다음과 같음
 - 도시 계획 분야: 벵추얼 싱가포르는 새로운 도시 개발 계획이나 교통 인프라 개

선 계획 등을 수립하는 데 활용됨. 예를 들어, 버추얼 싱가포르를 사용하여 새로운 도로의 교통 흐름을 시뮬레이션하여 최적의 도로 경로를 결정할 수 있음

- 교통 관리 분야: 버추얼 싱가포르는 교통 혼잡을 줄이고 교통 안전을 개선하는 데 활용됨. 예를 들어, 버추얼 싱가포르를 사용하여 교통량을 예측하여 교통 정체를 방지할 수 있음
- 환경 관리 분야: 버추얼 싱가포르는 환경 오염을 줄이고 기후 변화에 대응하는 데 활용됨. 예를 들어, 버추얼 싱가포르를 사용하여 대기 오염을 시뮬레이션하여 대기 오염을 줄이기 위한 정책을 수립할 수 있음
- 재난 관리 분야: 버추얼 싱가포르는 재난 발생 시 피해를 최소화하기 위해 활용됨. 예를 들어, 버추얼 싱가포르를 사용하여 홍수나 화재 발생 시 피해 예상 지역을 파악하여 대피와 구조 활동을 효율적으로 수행할 수 있음