
국외 출장 결과보고서

[품질보증팀]

2019. 10.



제주특별자치도개발공사
JEJU PROVINCE DEVELOPMENT CO.

2019. 10.

동티모르의 지하수 관리현황과 역량강화 방안

(동티모르 지하수 관리역량 강화 워크숍 출장 보고서)

고 기 원(이학박사)

(제주특별자치도개발공사 품질연구본부장)

I. 출장개요

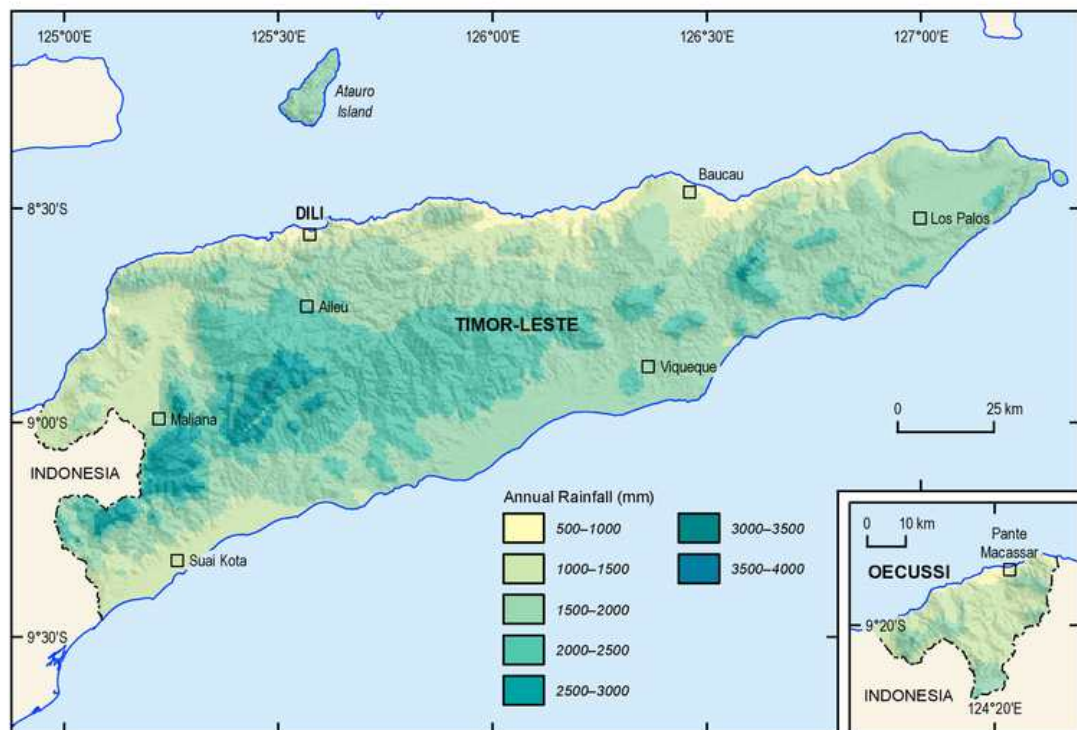
- 출장기간 : 2019. 9. 29 ~ 10. 5(6박 7일)
- 출장목적 : 동티모르 지하수관리 역량 강화 워크숍 주제 발표 및 지하수 관리 역량강화를 위한 향후 추진 방향 제언
- 주요 수행 일정

일자	주요수행 내용	비 고
2019. 9 29(일)	◦ 인천 → 싱가포르 → 인도네시아 덴파사(발리) ◦ 덴파사공항 노보텔 호텔 1박	
30(월)	◦ 덴파사(발리) → 동티모르 딜리	티모르호텔 투숙
10월 1(화)	◦ 동티모르 지하수관리 역량강화 1일차 워크숍 - 공공사업부 차관, 주동티모르 한국대사 등 참석 - 오전 : 동티모르 정부 측에서 4개 주제 발표 - 오후 : 한국 측에서 3개 주제 발표 - 토론 : 오후 4시부터 6시까지 2시간 진행	제주도의 수문지질과 지하수관리 발표
2(수)	◦ 동티모르 지하수관리 역량강화 2일차 워크숍 - 오전 : 유네스코, KOICA, UNDP에서 주제발표 - 토론 : 오전 11시부터 12시까지 1시간 진행 ◦ 오후 : 지하수 관측망(DM1) 현장견학 - 지하수 관측망(피압, 자유면) - 140m, 2012. 12 설치, 피압지하수위 EL. + 1.3m 정도 - 지하수 관리팀 방문(염료 추적자 시험, 9km/7시간) - 주동티모르 한국대사관 방문(이친범대사)	지하수관리팀 사무실에서 관측망 설치 및 운영보고서(호주에서 작성), 피압관측정 자동측정 자료 입수
3(목)	◦ 현장방문 - 오전 : GOTA 생수공장 견학 원수 72m 피압지하수, 모래여과-RO여과-오존소독, 중국에서 설비 도입, 원수 수질데이터 없고, 1일 간격으로 자동측정기로 수온, EC, pH 측정, 제품수에 대한 수질 분석 비주기적 - 오후 : Rare지역 용천수 인공함양 현장 견학 용천수 상류에 함양지 2곳(상류 약 100톤, 중류 약 10톤) 설치, 건기에도 용천수 흐름 유지, 100톤 함양지 만수 후 7일 경과 후 완전 함양됨	
4(금)	◦ 동티모르 딜리 → 덴파사 → 싱가포르 → 인천	
5(토)	◦ 오전 9시 20분 인천공항 도착 ◦ 김포 → 제주	제주 도착

Ⅱ. 동티모르의 지하수 현황

1. 수자원 현황

- 동티모르는 수자원 부존량이 비교적 풍부한 편이나, 강수량의 우기집중 및 지역적 편차, 수원개발 및 용수공급 시스템 등 인프라 열악, 수자원 관리 법제도 미비 등으로 생활용수 공급율이 9%(2004) 수준에 그치고 있음
- 연평균 강수량은 1,500 mm이나 지역별 편차가 매우 크고, 건기와 우기간의 강수량 편차도 큰 특성을 나타냄¹⁾
 - 북부해안지역 600~1,000mm, 남부지역 2,000mm, 중앙부의 산악지역 1,500~2,000mm(고산지역은 2,500mm 이상)<그림 1 참조>
 - 대체로 11월에서 다음해 4월까지의 우기로 구분되고, 5월부터 10월까지 약 5개월은 건기로 구분되고 있음



【그림 1】 동티모르의 연평균 강수량 분포도(Wallace et al., 2012)

- 특히, 엘리뇨(El-Nino)에 의한 극심한 가뭄은 용수부족, 작물 생산량 감소, 가축용수 부족, 생태계 고사 등을 초래하고 있으며,
 - 1990년대 이후 극심한 가뭄은 4차례로 기록되고 있음(APDC, 2012;

1) World Bank Group, 2018. Timor-Leste Water Sector Assessment and Roadmap

Wallace et al., 2012)

- 즉, 1991~1995년, 2002~2003년, 2006~2007년, 2015~2016년에 대가
물이 발생함
- 산악지역은 44% 이상의 급경사의 지형으로 이루고, 벌목 및 개간 등에
의한 토양침식으로 하천 유출수의 탁도가 높아 지표수 개발·이용에 큰
장해요인이 되고 있을 뿐 아니라, 하상퇴적 의한 홍수위험을 높이는 요인
으로 작용하고 있음
- 연평균 수문총량은 223억 톤으로 추정²⁾
 - 연간 재생가능한 수자원량 82억톤
 - 1인 당 연간 이용 가능한 수자원량 : 6,932톤/년/인

2. 수자원 이용현황

- 국가 전체 용수 사용량에 대한 최신 데이터는 2004년의 것임³⁾
 - 총 취수량은 연간 약 11억 7200만 m³이며, 이 양은 재생 가능한 수자
원의 14 %에 해당하는 것임
 - 이 중 관개 및 가축용수가 연간 10억 7100만 m³으로서 전체의 91 %를
차지하고, 생활용 9900만 m³(9 %), 산업용 200만 m³임(ADB 2004)
- 최근 발표된 Dili 지역의 2016년 기준 용수 취수량은 아래와 같음⁴⁾
 - 총취수량 : 52,440 m³/일 ----- 연간 19,141천 m³
 - 지하수 : 37,680 m³/일
 - 지표수 : 14,760 m³/일(수처리 8,600 m³/일, 미처리 6,160 m³/일)

3. 지하수 부존 및 산출 특성

가. 지하수 부존 특성

- 국가 전체 및 일부 지역의 지하수에 대한 조사·연구를 통해 부존 및
산출특성에 대한 개괄적인 정보는 축적되었지만, 여전히 수문지질학적
기초정보의 부족으로 세부적인 특성을 파악하기는 곤란한 실정임
- 2010년 동티모르 정부의 기후변화 및 에너지 효율국(DCCCE)과 Aus

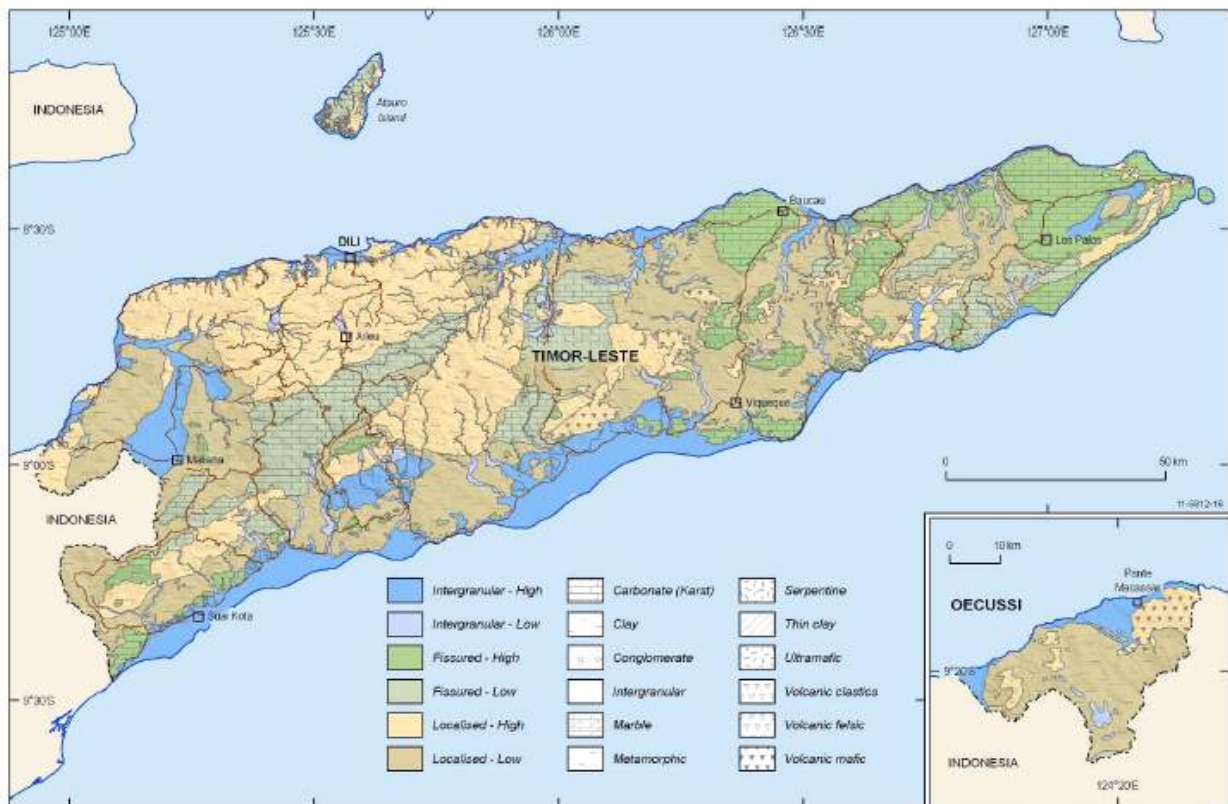
2) World Bank Group, 2018. Timor-Leste Water Sector Assessment and Roadmap

3) World Bank Group, 2018. Timor-Leste Water Sector Assessment and Roadmap

4) Dili metropolitan area water supply master plan 2016-2030, 2017, ADB

AID가 '동티모르의 지하수 자원에 대한 기후변화 영향 평가' 원조 프로젝트를 기획하고, Geoscience Australia에 의해 동티모르 전역의 수문지질도(hydrogeologic map) 작성사업이 추진됨

- 수문지질도는 유네스코(1983)의 'International Legend for Hydrogeological Maps' 지침에 따라 수행됨
- <그림 2>는 상기 프로젝트에 의해 제작된 동티모르 수문지질도로서, 구성암석의 종류 및 수리성, 대수층의 유형을 분류하고, 잠재적인 지하수 산출특성을 도면으로 표현하여 동티모르 전역의 수문지질 및 지하수 산출특성에 관한 개괄적 이해를 돕는데 유용함



【그림 2】 동티모르의 수문지질도(Wallace et al., 2012)

○ 한편, 특정지역에 대한 수문지질학적 조사도 수행되었음

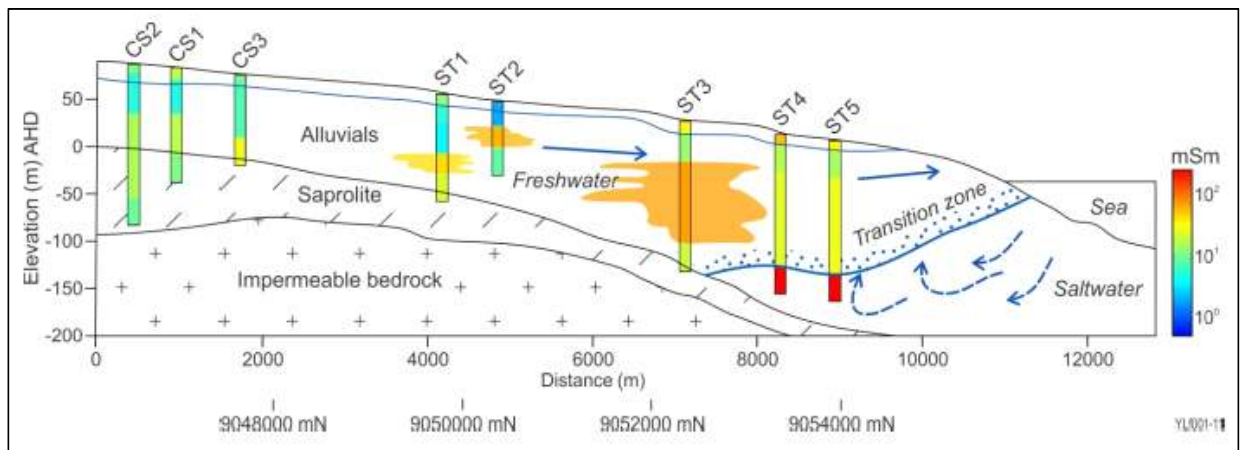
- Comoro River, Dili City, Tasi Tolu Salt Lakes, Laleia River, Baucau Caves지역에 대한 전자기탐사(TEM) 연구⁵⁾로부터 조사지역의 지하수 부존특성이 개괄적으로 파악되었음<그림 3 참조>

5) Yusen Ley Cooper and Tim Munday, 2011. Aquifer characterisation in Timor-Leste using ground Electromagnetics, CSIRO Technical Report: EP-22-08-11-43



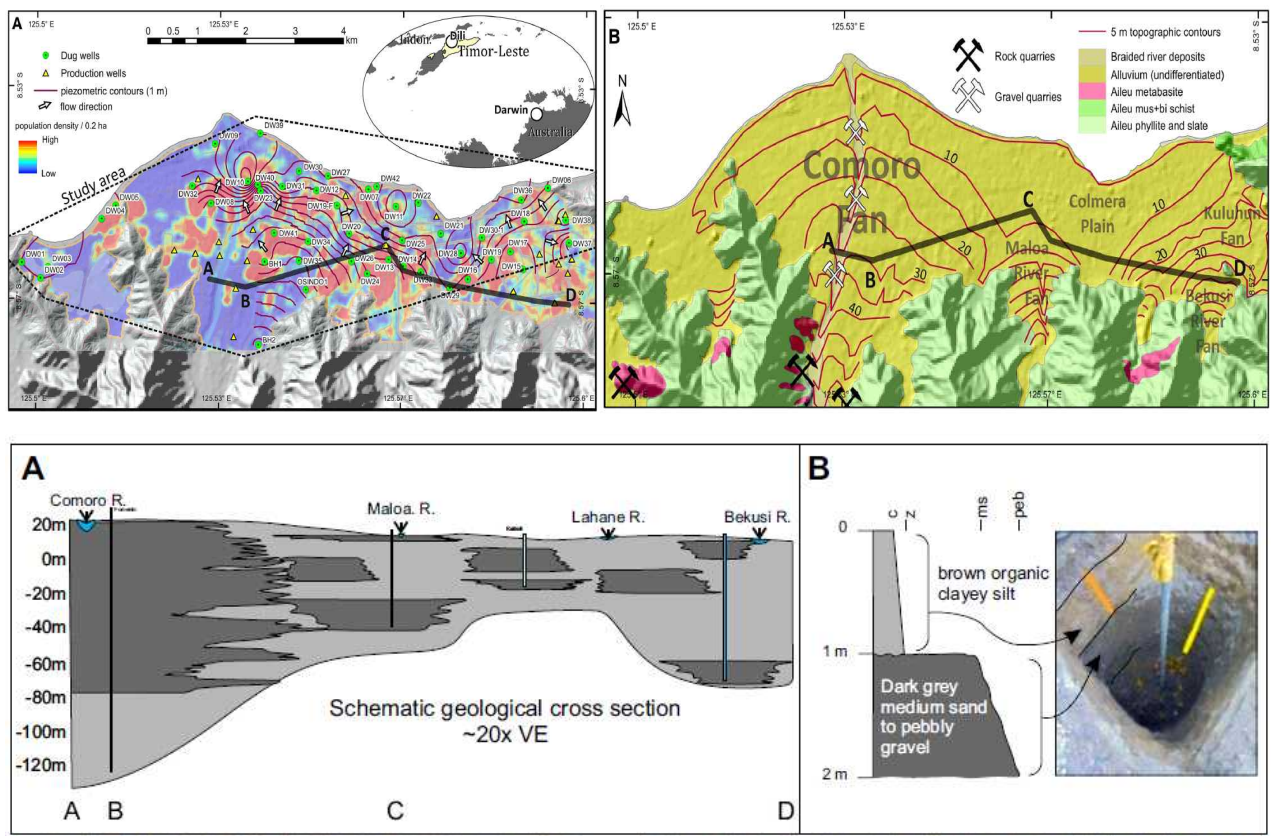
【그림 3】 Tasi Tolu Salt Lakes, Comoro River, Dili 지역 전자기탐사 위치도 (왼쪽) 및 Comoro River 충적층 단면(오른쪽)

- Comoro River 하상 8개 지점에 대한 탐사자료를 근거로 제시된 지하수 부존 모식도는 <그림 4>와 같으며, 주요 특징은 아래와 같음
 - Comoro River 하상은 “불투수성 기반암-풍화암(saprolite)-충적층”의 지질구조를 이루며, 담수지하수는 충적층에 주로 부존
 - 충적층은 내륙에서 해안 쪽으로 갈수록 두꺼워지는 경향을 나타내며, 해안 근처에는 담-염수 경계면이 형성됨
 - 충적층 내 점토층이 두터운 곳에서 지하수의 전기전도도는 대체로 $1,000\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상의 높은 값을 나타내고, 내륙으로 갈수록 낮아짐



【그림 4】 Comoro River 하상의 지하수 부존 모식도

- 또한, Comoro River를 포함한 Dili 지역의 지하지질구조도 개괄적으로 보고되었음(Ximenes et al., 2018).
 - Dili 해안지역은 갈색을 띠는 유기점토성 쉘트층과 어두운색을 띠는 중립모래~자갈 퇴적물로 이루어진 충적층이 두텁게 분포하고 있음
 - 어두운색을 띠는 중립모래~자갈 퇴적층은 Comoro River 주변에서 지하 80 m의 층후를 나타내고, 동쪽으로 가면서 10 m의 층후로 단속적인 분포를 나타냄<그림 5 참조>
 - 유기점토성 쉘트층은 Comoro River 하부를 비롯하여 Dili 지역에 광범위하게 분포하고 있음
 - 상기 2개 층을 포함한 충적층의 두께는 Comoro River 주변에서는 120 m 이상을 나타내고, Colmera 평양(단면 C) 쪽으로 오면서 얇아지다가 Kuluhun Fan 부근에서는 약 80 m의 층후를 나타냄

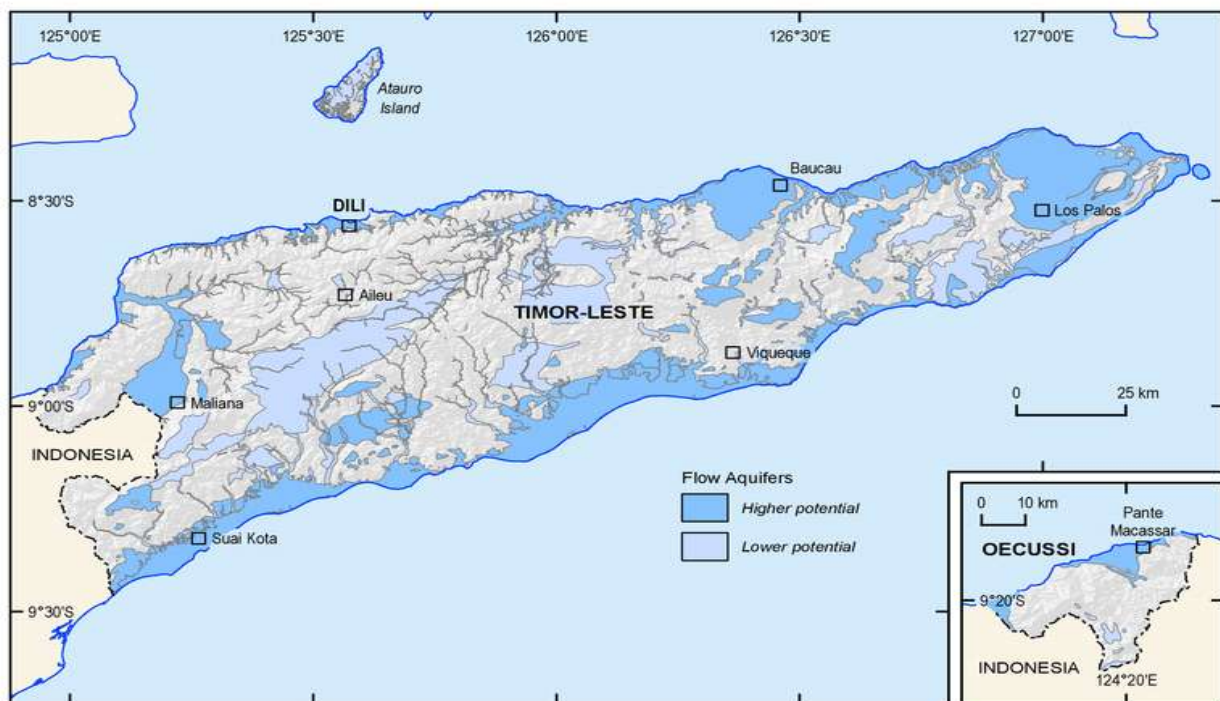


[그림 5] Comoro River를 포함한 Dili 지역의 지하수 관정, 우물, 지표지질, 지하지질구조를 보여주는 그림(Ximenes et al., 2018). 지질단면도는 위쪽 그림 A, B의 A-B-C-D 단면선을 따른 것임

나. 대수층 유형

- 이전의 연구(Wallace et al., 2012⁶⁾)를 통해 파악된 Timor-Leste의 대수층 유형과 분포는 다음과 같이 3가지로 요약됨<그림 6 참조>
 - 국지적 대수층(localized aquifers) - 부유지하수
 - 틸이 발달한 카르스트 대수층(fissured karst aquifers)
 - 충적대수층(inter-granular alluvial aquifers)
- ① 국지적 대수층(localized aquifers) - 부유지하수(perched aquifer)
 - 이 대수층은 산악지역에서 일반적으로 발견되며 잠재적인 산출율이 낮아 지하수 개발 가치가 낮음
 - 중앙부 및 서쪽 산악지역에 한정되어 분포
 - Bobonaro 및 Oecusse의 지방자치 단체와 Manatuto 및 Manufahi의 일부 지역에 발달하지만, 지하수 산출율이 매우 낮음
 - 암석의 낮은 공극률로 인해 침투한 물은 암석의 절리 틈을 따라 흐르다가 용천수로 솟아남
 - 일반적으로, 파쇄암 국지 대수층에서 유출되는 용천수는 계절적인 함양량의 변화에 따른 수량변화가 매우 큼
 - 일부 지역에서 이 대수층의 용천수를 수원으로 이용하고 있음
- ② 틸이 발달한 카르스트 대수층(fissured karst aquifers)
 - 이 대수층은 잠재적으로 높은 산출량을 나타내며, 이 대수층으로부터 유출되는 다수의 용천수는 이미 수원으로 개발·이용 중임
 - 그러나 복잡한 수문지질로 인해 지하수 관정개발은 실패하였음
 - 이 대수층은 동티모르 전역에 분포하고 있지만, 주로 Baucau 및 Lautem 지방자치단체 지역에 발달이 양호한 편임
 - 일부 용천수는 초당 수십~수백 리터의 매우 높은 용출량을 나타내며, Baucau시의 경우 이 대수층으로부터 용출하는 용천수가 중요 수원이 되고 있음

6) Wallace, L., B. Sundaram, R. Brodie, S. Marshall, S. Dawson, J. Jaycock, G. Stewart, and L. Furness. 2012. Vulnerability Assessment of Climate Change Impacts on Groundwater Resources in Timor-Leste - Summary Report. Record 2012/55. Canberra: Geoscience Australia.



【그림 6】 동티모르 대수층의 잠재적 산출능력 분포도(Wallace et al., 2012)

③ 충적대수층(inter-granular alluvial aquifers)

- 이 대수층은 많은 양의 지하수를 저류하며, 잠재적인 산출율이 높음
- 지속 이용가능량(sustainable yield)을 산정하기 위한 연구가 수행될 경우, 추가 개발 기회가 제공될 수 있을 것으로 평가되고 있음
- 이 대수층을 형성하는 퇴적층은 동티모르 전역의 해안선 주변과 강 수로를 따라 퇴적된 평야지역에 분포하고 있음
- 일반적으로, 이 대수층은 다른 유형의 대수층보다 기후 변동성에 대한 이용성이 더 높고, 대량의 지하수가 저류될 가능성이 높지만, 해안 가까이에 발달하고 있어 해수침투에 취약하다는 약점이 있음
- 특히 인구밀집 지역에 발달하고 있어 수질오염의 위험성이 높고, 해수면 상승에 의한 염수화에 의한 수질저하 가능성이 높음

다. Dili 대수층의 지하수 산출특성

- Dili 대수층은 Dili지역 용수공급의 70 % 이상을 자치하는 주요 수원이며, 그 면적은 약 30 km²에 이르고, 지하수 개발심도는 100 m 정도임
- 2017년 ADB에 의해 완료된 ‘Dili metropolitan area water supply

master plan 2016-2030' 보고서 작성과정에서 Dili지역에 개발된 26개 공공용 지하수 관정을 대상으로 지하수위 측정과 양수시험이 실시됨

- 부록 3 'Production survey report'에 조사결과가 수록되어 있으며, 이를 재분석하여 지하수 산출능력을 파악함(그림 7, 표 1 참조)

○ 관정의 지하수 산출능력

- 최대 4,100 m³/일, 최소 120 m³/일, 평균 1,450 m³/일로 편차가 매우 큼
- 특히, 26개 관정 중 1,000 m³/일 이하가 9개 공이며, 이들은 주로 경사가 급한 산악에 인접해 개발된 관정이라는 공통점을 보이는데, 이는 충적층 두께가 얇아 지하수 저류능력이 떨어짐을 의미함
- 이와는 반면, 나머지 17개 관정은 1,000 m³/일 이상의 양호한 산출량을 나타내며, 특히 충적층 두께가 두꺼운 Comoro River 주변 및 해안저지대에 개발된 관정들은 2,000~4,000 m³/일의 아주 양호한 지하수 산출 특성을 보이고 있음

○ 지하수 취수에 따른 지하수위 하강

- 26개 관정 중 양수시험 자료가 있는 17개 관정의 수위 강하량을 보면, 최대 15 m, 최소 0.3 m, 평균 3.7 m로 분석됨
- 특히, 4개 관정(Comoro A/G, Bidau 4, Becora Cipol, Camea Sede Suco)은 지하수 양수 시 5~15 m의 큰 수위 하강을 나타내고 있고, Comoro C 등 4개 관정은 지하수위가 해수면 하부로 떨어지는 것으로 분석되었음
- 지하수 산출량과 양수 시 수위 강하량을 고려할 때, 지하수 산출량이 작고, 수위 강하량이 크고, 수위가 해수면 하부로 떨어지는 관정은 장기간 가동할 경우, 해수침투의 우려가 높을 뿐 아니라, 대수층 고갈을 초래할 우려가 있음(표 1에 고딕으로 기재된 8개 관정)
- 또한, 해안에 가까운 거리에 개발된 취수량이 많은 관정(1일 2,000 m³ 이상 취수)도 지하수 과잉양수와 가뭄에 의한 지하수 함양량 부족 시 해수침투가 발생할 우려가 높기 때문에 수위-수질 모니터링이 필요함



【그림 7】 Dili 지역 공공용 지하수 관정 위치도

【표 1】 Dili 지역 공공 지하수 관정의 지하수 산출능력 분석⁷⁾

관정번호 (개발연도)	관정명	표고 (m)	양수능력 (m³/d)	자연수위 (EL.m)	안정수위 (EL.m)	수위 강하량 (m)	비 고
B01(2014)	Comoro G		744				
B02(2006)	Comoro C	22	1,248	-0.8	-1.1	-0.3	양수시 해수면 하부로 수위 하강
B03(1995)	Comoro D	22	2,280	7	6.55	-0.45	
B04(1995)	Comoro E	23	672	7.1	6.75	-0.35	
B05(1988)	Comoro B1	18	4,104	7.85	6.76	-1.09	
B06(2004)	Comoro B2	18	1,656	7.52	6.25	-1.27	
B08(1988)	Comoro A/G	30	4,080	10.52	-2.55	-13.07	양수시 해수면 하부로 수위 하강
B09(2010)	Manleuana	42	2,496	15.3	14	-1.3	
B10(2014)	Mercado Manleu		1,128				
B11(2014)	Marconi		1,392				
B12(2013)	Bairopite 1		1,536				
B17(2012)	Mascarenhas		1,344				
B18(2015)	Taibesi Horta		1,416				
B19(2004)	Bidau 3	9	192	5.77	-0.23	-6	양수시 해수면 하부로 수위 하강
B20(2004)	Bidau 2	9	1,992	5.05	3.9	-1.15	
B21(2010)	Bidau 4	10	192	-6.35	-15.2	-8.85	양수시 해수면 하부로 수위 하강
B22(1995)	Kuluhun A	17	1,632	4.48	1.9	-2.58	
B23(1995)	Kuluhun B	11.5	1,920	4.04	1.28	-2.76	
B24(2004)	Becora Mota Laran		2,160				
B25(2013)	Becora Mercado	16	1,656	5	3	-2	
B26(2001)	Becora Cipol	45	792	18	3	-15	
B27(2014)	Canea Ailok Laran	45	120	16.8	16.5	-0.3	
B28(2013)	Camea Sede Suco	48	768	18.1	11.79	-6.31	
B29(1994)	Camea Cendana		312				
B31(2000)	Hera A	45	1,032	21.3	20.73	-0.57	
B33(2000)	Hera C		816				

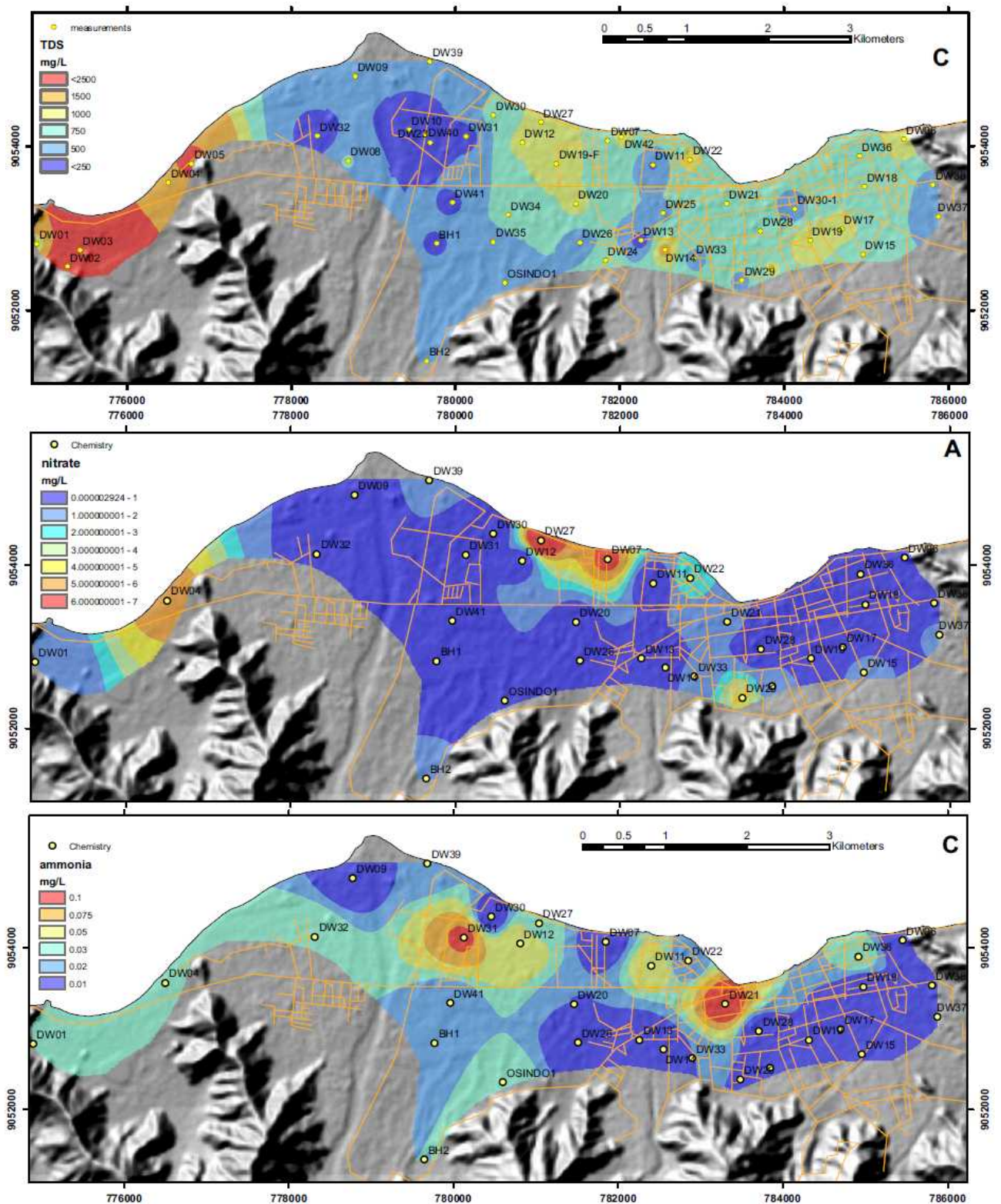
7)Dili metropolitan area water supply master plan 2016-2030, ADB, Appendix 3; Production survey report

라. Dili 대수층의 지하수 수질

- 국가 전체적인 지하수 수질특성과 오염실태에 대한 조사자료는 부족한 실정이며, 최근 Dili 자유면 대수층을 대상으로 수질실태 연구가 진행됨 (Ximenes et al., 2018)
 - Tasi-Tolu 지역 염지하수 부존현상을 지표면의 강렬한 증발(자연적 영향)과 지하수 취수에 의한 해수침투로 해석하고 있음
 - Colmera Plain 지하수는 대장균 오염이 심각하며, 독성을 지닌 망간과 함께 검출되고 있음. 이러한 현상은 지하수 관정 가까이에 설치된 재래식 화장실의 분뇨가 천층 지하수로 유입되기 때문임<그림 8, 9 참조>
 - 지하수위 구배가 낮은 지역 지하수는 질산염과 아질산염으로 오염되어 있는데, 이는 생활오수, 대사관 지역의 부실한 배수 관리와 잔디밭에 비료를 과도하게 사용하기 때문으로 해석됨
 - 일반적으로 심층 지하수 관정의 수질은 양호한 편이나, 천층 지하수는 오염이 상당히 진행된 상태로 파악됨. 천층 지하수 시스템의 수질오염 문제를 해결하기 위해서는 Dili를 포함한 국가 전체적으로 적절한 위생 정책을 신속하게 수립·시행해야 하고, 수질기준 설정과 전체적인 수자원 관리에 대한 사고의 전환이 시급함



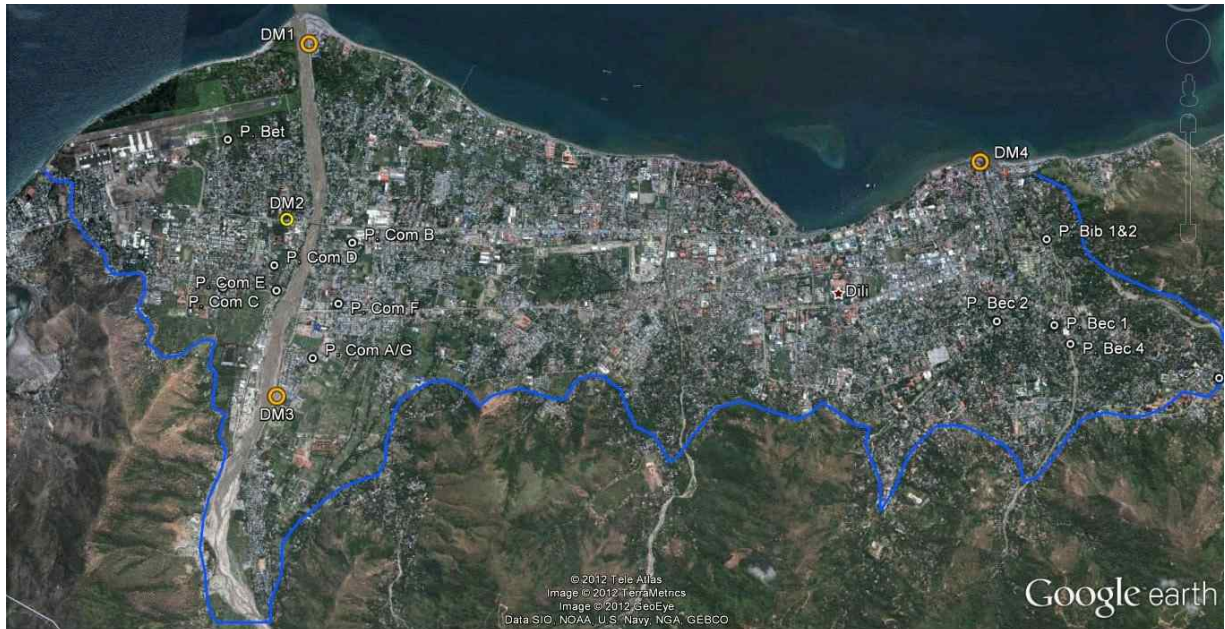
【그림 8】 Dili 지역 얕은 우물, 생활하수 처리실태(Ximenes et al., 2018).



【그림 9】 Dili 지역 지하수 오염실태(Ximenes et al., 2018). 상: 지하수 중의 총고형물질 함량 분포, 중: 질산염 농도분포, 하: 암모니아 농도 분포

마. Comoro River 및 Dili 대수층의 지하수위

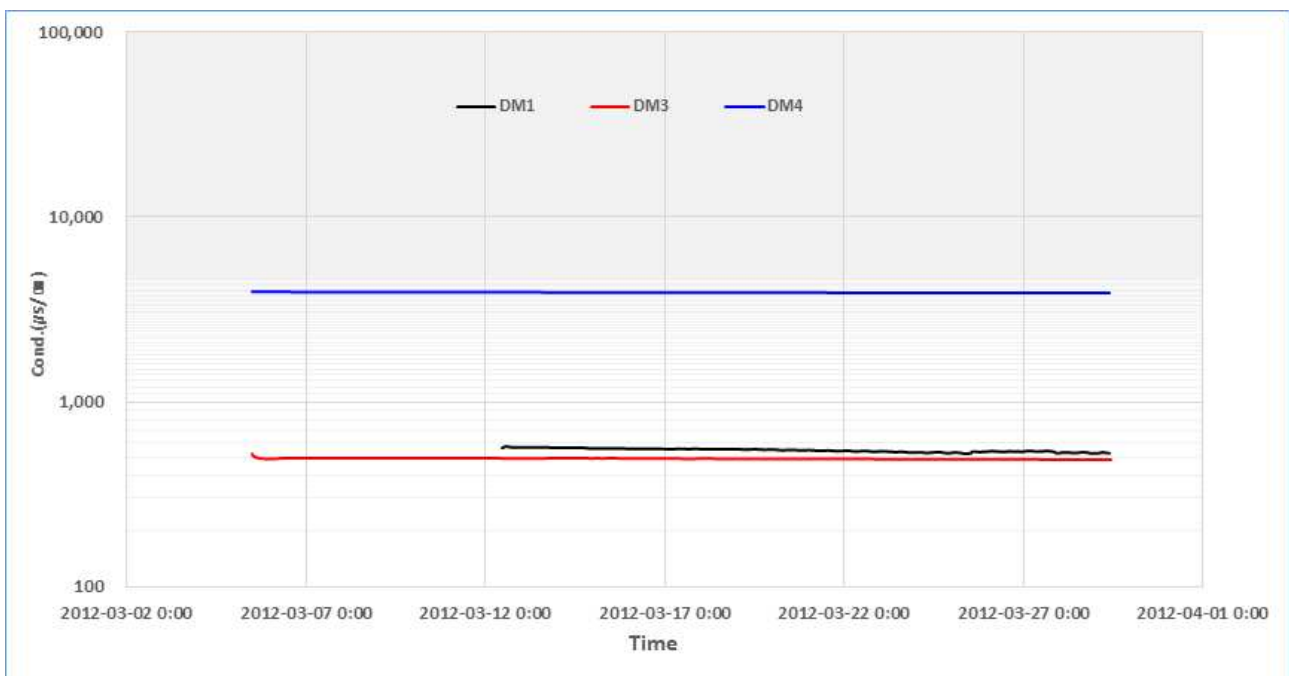
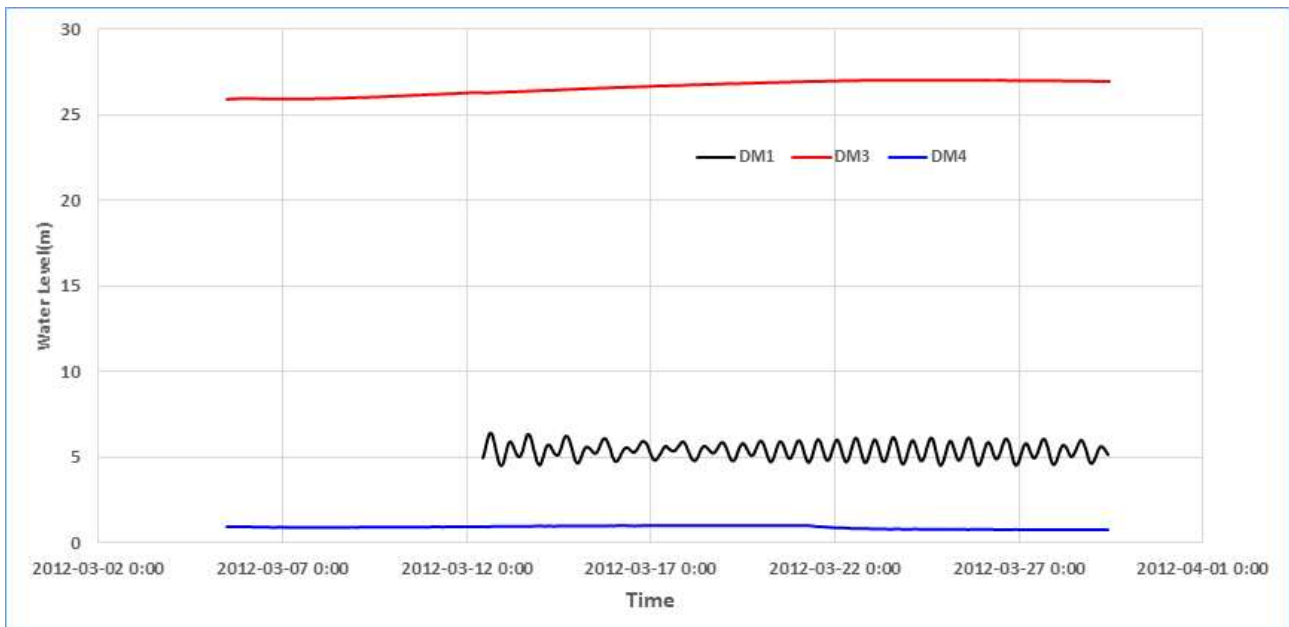
- 동티모르 정부 지하수관리센터 방문 시 수집한 Comoro River 주변에 설치된 3개의 관측정에서 자동 측정된 2012. 3. 2~3. 27 자료를 분석하였음
- 천층지하수의 수위/수질 관측정 목적의 관측정의 심도는 30 m 이고, 심층지하수의 경우는 140 m를 굴착하였음



【그림 10】 Comoro River 주변 및 Dili 대수층 지하수 관측정 위치도



【그림 11】 Comoro River 주변에 설치된 DM1 관측정(2019. 10. 2. 방문)



【그림 12】 Comoro River 주변 및 Dili 대수층에 설치된 3개 관측정의 지하수위(상)와 전기전도도(하) 변화. 관측기간 : 2012. 3. 2~3. 27

- DM1과 DM4 관측정은 모두 해안 가까이 위치하고 있으나, DM1의 수위는 조석(tide)의 영향을 받아 주기적인 등락을 반복하고 있는 반면, DM4 관측정은 조석의 영향을 받지 않고 있음
 - 또한, DM1 관측정의 수위는 5 m 내외인 반면, DM4의 경우는 약 1 m 내외로 두 관측정 간에 차이를 나타내고 있음

- 해안에서 내륙으로 비교적 멀리 떨어진 지점에 위치한 DM3 관측정의 수위는 25~26 m로 매우 높은 위치에 형성되고 있음
- 전기전도도는 DM1과 DM3는 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이하 값을 유지하는 반면, DM4 관측정은 평균 3,900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 를 나타내 해수와의 혼입이 이루어지는 것으로 판단됨

4. 지하수 관리

가. 수문 및 지하수 관측망 운영

- 동티모르 전체적으로 운영 중인 수문 및 지하수 관측망은 아래와 같음
 - 하천수위 14개소, 강수량 관측 42개소
 - 지하수 관측망 20개소
 - Dili 대수층 모니터링 프로그램 4개소
- 동티모르의 수문 및 지하수 관측망은 제주도와 비교하면 턱없이 모자란 실정으로 향후 이에 대한 투자가 필요해 보임

【표 2】 동티모르와 제주도의 수문 및 지하수 관측망 비교

구 분	동티모르	제주도	비 고
면 적(km^2)	14,922	1,850	
수문 관측망	14	30	
기상(강수량) 관측망	42	95	
지하수 관측망	24	206	
지하수 이용량 관측망	-	1,095	
지하수 수질 관측망	-	152	

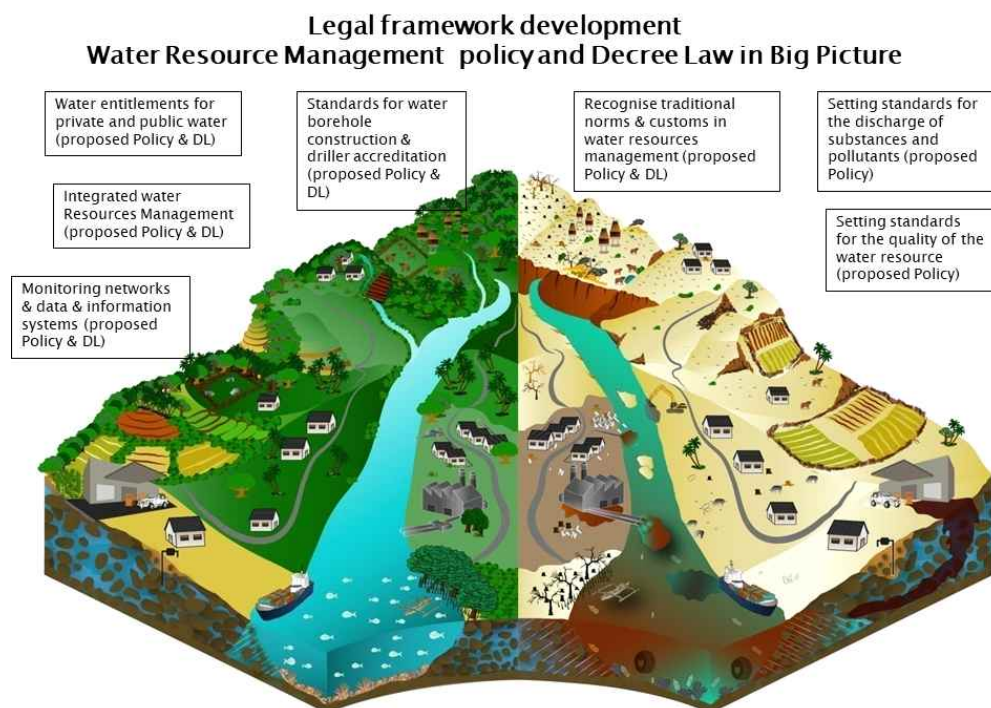
나. 지하수 관리조직 및 법령

- 동티모르의 지하수 관리조직
 - MOPTC(Ministry of Public Works, Transport, and Communications)
산하의 DNGRH(National Directorate of Water Resources Management)
에서 담당함

- DNGRH는 현재 용수 수요와 향후 수자원 개발을 지원하기 위해 수량과 수질에 대한 모니터링 및 연구를 담당
- DNGRH는 주로 수문기상·해수침입에 대한 법률제정 및 정책개발, 그리고 모니터링 프로그램에 국가 차원의 업무를 수행
- DNGRH에는 약 60명의 직원이 있는데, 그 중 45명은 전국 수문기상 모니터링 프로그램을 지원하는 지방자치단체에 근무하고 있음

○ 지하수 관리 법령

- 지하수를 포함한 수자원 관리를 위한 법률과 정책이 없어 환경기본법령을 준용하고 있음
 - 환경기본법은 국가가 지표수 및 지하수의 양과 질을 보호·보존 및 개선하고 통합수자원관리(IWRM)를 통해 수자원의 지속 가능한 사용이 이루어지도록 노력할 것을 권장하고 있음
- 수자원관리 법률은 입법 계류 중이고 정책도 미승인된 상태
 - 이 법(안)은 수자원관리 계획, 수자원 이용, 물 취수를 위한 요건 및 조건, 홍수·가뭄·오염·안전 및 비상 보호계획, 벌칙 등이 포함됨



【그림 12】 동티모르의 수자원 관리정책과 Decree Law(2019. 10. 2. 워크숍 발표자료)

Ⅲ. 동티모르의 지하수관리 역량강화 방안 제언

1. 동티모르의 지하수 관련 이슈 분석

- 동티모르 현지 워크숍 및 견학, 이전에 출간된 보고서 및 연구논문, 현지 관계자들과의 인터뷰 등을 종합할 때, 현재 동티모르의 지하수 관리와 관련된 빅 이슈는 다음과 같이 정리할 수 있음

【표】 동티모르의 지하수관리 관련된 이슈 분석

구 분	주 요 이 슈	비 고
정부의 의지	지하수자원 관리의 중요성에 대한 인식이 낮음 - 지하수 관리 법령 미제정 - 지하수 보호 및 관리정책 미수립 - 지하수 관리 예산 배정 불충분 - 해외 원조에 의존	
지하수 관리기반	- 지하수 전문인력 절대적 부족 - 지하수 모니터링 중요성 인식 결여 - 지하수 관리 법, 제도, 정책 부재 - 지하수 개발·이용에만 편중하고 있고, 자체 문제 해결 능력이 절대적 부족	국가 전체적으로 지하수 전문가 부재 통계수학 전공자가 수질연구
지하수 기초조사	- 해외원조에 의한 조사사업에 의존 - 지하수 함양량/지속이용 가능량 산정자료 부재 - 지하수위/수질 실태 지속적 파악 미 실시 - 용천수, 우물 등 부존 수자원 기본현황자료 부재 - 지하수 개발·이용실태조사 미 실시 - 지하수 취수량 규모 미 파악 - 지하수 오염/해수침투 등 원인규명 노력 부족 - 지하수 관련 기존자료 DB구축 노력 절대적 부족	해외원조사사업에 의해 설치된 모니터링 시설을 제대로 유지관리하지 못하고 있음
지하수 수질관리	- 지하수 수질오염원 제거 노력 부족 - 생활하수/재래식 화장실에 의한 오염 지속	
해외원조	- 동티모르의 제반 사정을 고려해 실질적 지하수 관리에 필요한 단계별 조사사업이 아니라, 원조국 전문가들의 실적 쌓기 지원 또는 손쉽게 접근 가능한 사업(예: 관측망 설치)에 치중 - Aus AID가 기획해 Geoscience Australia에서 수행한 '동티모르의 지하수자원에 대한 기후변화 영향평가' 및 'GIS 교육 프로그램'은 현지 실정에 맞지 않는 보 여주기 사업으로 판단됨	

- 결론적으로, 동티모르는 용수공급 및 물이용에서 있어서 지하수에 크게 의존하고 있음에도 불구하고 체계적 관리에 대해서는 국가차원의 인식과 투자가 매우 부족한 상황이며,
 - 해외원조에 의한 지하수 관련 조사사업은 현지 실정과는 거리가 있는 원조국가 전문가들의 연구용 사업으로 전략된 느낌이 강함

2. UNESCO-iWSSM의 추진방향

- 유네스코 물 안보 국제연구교육센터(UNESCO-iWSSM)가 향후 동티모르에 대한 지하수 관리역량 강화 프로그램을 수립할 때, 지향해야 할 추진 방향을 다음과 같이 제안함
 - ① 현지 지하수 관리에 실질적으로 필요한 사업 발굴
 - ② 현지 영향력이 있는 선도자(leading leader) 발굴 및 선발
 - ③ 지하수 관리 지원사업에 대한 현지 수요조사 및 의견수렴
 - ④ 정부기관-국제기구와의 협력관계 구축
 - ⑤ 시설구축 지원보다는 역량강화 지원 프로그램 중심으로 기획
- 상기 5가지 추진방향은 ‘공급자 중심에서 수요자 중심’의 지원 프로그램을 발굴해 현지인들과의 협업체계를 구축해 추진한다는 기본방향을 제시한 것임

3. UNESCO-iWSSM 추진과제 제언

- 동티모르의 지하수 관리와 관련된 이슈와 상기 5가지 기본방향을 고려해 UNESCO-iWSSM가 향후 추진할 과제를 다음과 같이 제언함

1. 지하수 개발 및 이용실태 DB구축 및 지하수 관리역량 향상 지원 사업

- 현재까지 동티모르 전체적으로 지하수 개발·이용실태에 대한 조사가 이뤄지지 않아 지하수를 얼마나 사용하고 있는지조차도 모르고 있는 실정
- 지하수 관정 및 우물에 대한 전수조사를 현지 선도자들이 중심이 되어 전수조사를 실시하고, 조사자료를 DB로 구축할 수 있도록 지원
 - UNESCO-iWSSM에서는 조사 프로젝트를 기획하고, 현지 선도자들에 대한 조사요령을 교육하고, 조사자료에 대한 주기적인 점검을 통해 조사스킬이 향상될 수 있도록 교육지원 프로그램을 실시
 - 현지 선도자들이 조사팀을 구성하여 현지조사 담당

- 조사자료는 DB로 구축해 GIS에서 공간분석이 가능하도록 하여 현지 지하수관리 공무원들이 실무에 활용할 수 있도록 시스템 구축
- 조사요령 매뉴얼을 제작하여 교육 및 배포

2. 산악지역 용천수를 활용한 농촌지역 소규모 급수지원 사업

- 동티모르는 대부분 험준한 산악지형으로 이루어져 있고, 산출량이 많은 대수층도 대부분 해안저지대 충적층에 발달하고 있기 때문에 광역적인 용수공급시스템을 구축하기 어려운 형편임
 - 또한, 지하수 관정 또는 해수담수화와 같은 시설을 설치한다고 하더라도 운영비용 부담문제로 활용하지 못하는 문제가 발생하고 있음
- 따라서, 강수량이 많은 산악지대에서 함양된 지하수가 유출되는 용천수에 대한 조사를 실시하고, 이를 기반으로 소규모 급수가 가능한 용천수를 선정하여 급수에 필요한 기반시설(집수정, 소독시설, 관로, 공동수도 등)을 설치해 줌으로써 농촌지역의 급수문제를 해결하는데 도움이 될 수 있음
 - 특히, 산악지대의 용천수를 이용하는 경우, 중력에 의해 물이 하류지역으로 이송되기 때문에 전력료 부담이 없고 수압을 올리기 위한 추가적인 가압시설도 불필요함
- 이용 가능한 용천수의 분포 및 급수대상지역 선정을 위한 사전조사 필요

3. 현지 지하수 전문가 양성을 위한 교육프로그램 개발 및 시행

- 동티모르에는 지하수 관련 전문가가 없으며, 비전문가 또는 석유지질을 전공한 사람들이 해외원조 국가의 단기 교육과정에 참여해 약간의 지식을 쌓는 실정임
 - 따라서, 지하수조사는 물론 현재 발생하고 있는 현안을 어떻게 해결해야 할지에 대한 방향 설정을 할 수 없음은 물론, 조사 프로세스 및 방법, 조사자료의 처리 및 분석(해석)을 할 수 있는 역량이 거의 없음
- 특히, 대부분의 지하수 역량강화 교육은 현지인들을 외국(예: 한국, 호주, 일본 등)으로 불러서 1개월 내외의 단기교육을 실시함으로써, 교육을 이수한 사람들이 현지로 돌아간 후 현장에 적용하는 경우가 많지 않음
 - 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 해외 전문가들이 동티모르 현지에 가서 분야별로 현장교육을 실시하는 프로그램 개발이 필요함
 - 특히, 교육을 받을 사람들을 장기간 출장조치가 어렵다는 점을 감안할

때, UNESCO-iWSSM가 실시하는 조사프로젝트(예: 지하수 개발이용 실태조사, 용천수 전수조사, 물수지 분석 및 지속이용 가능량 평가 등)에 참여시켜 기초에서부터 응용단계까지 교육을 실시함으로써 문제해결 능력을 향상시킬 수 있을 것으로 판단됨

- 교육생들이 조사사업에 참여해 교육을 받을 경우, 조사사업으로부터 취득된 자료를 직접 정리·분석하고 보고서 및 연구논문으로 작성해 발표함으로써 연구에 대한 의욕을 고취시킬 필요가 있음

4. Dili 대수층 지하수 함양량 및 지속이용 가능량 평가사업

- 동티모르의 수도인 Dili지역에 분포하는 대수층은 2016년 기준 1일 37,680 m³, 연간 13,753 천m³의 지하수를 취수하고 있으나, 아직까지 지하수 함양량 및 지속 이용 가능량에 대한 평가가 이뤄지지 않았으며,
 - 특히, 2017년 ADB에서 수립한 ‘Dili metropolitan area water supply master plan 2016-2030’에서는 기존 관정 양수량 확대 및 상수원 관정 추가 개발계획이 포함되어 있어 향후 지하수 취수량이 증가될 전망이다
 - 협소한 지역에 발달한 충적대수층으로부터 이처럼 과다한 지하수의 취수가 장기간 지속되고, 또 엘리뇨에 의한 극심한 가뭄이 이어질 경우 Dili 대수층은 고갈 및 해수침투 위험성이 더욱 높아질 것임
- 따라서, Dili 대수층에 대한 지하수 함양량 및 지속 이용 가능량 평가를 조속히 진행하여 가용할 수 있는 지하수량을 평가하고, 현재 및 미래 지하수 취수계획량이 타당한지 여부에 대한 평가가 시급함
 - 만약, 지하수 지속이용 가능량을 초과한 지하수 취수가 이루어지고 있는 경우에는 취수량 감량 및 대체수원 개발들의 조치가 뒷받침되지 않을 경우, Dili 대수층의 지속 이용 가능한 균형은 붕괴될 수 있음
- Dili 대수층의 지하수 함양량 및 지속 이용 가능량 평가사업에도 현지 선도자들을 조사의 기획단계에서부터 수행 전 과정에 참여시켜 현장학습이 이뤄질 수 있도록 하는 것이 필요함

5. 지하수 등 물 시료 수질분석 지원사업

- 현재 동티모르에는 정부기관 1개소에서 수질분석을 담당하고 있으나, 분석요원이 3명에 불과하고, 분석이 완료되기까지 장시간 소요된다는 불만이 많은 실정임

- 실제로 GOTA 생수공장을 방문했을 때, 원수(지하수 관정)에 대한 수질 분석 자료가 없었으며, 제품수에 대한 간이 분석결과만 있었음
- 우리나라의 먹는물관리법에서는 먹는물의 경우 52개 항목에 대한 검사를 하도록 규정하고 있고, 미국 FDA의 경우는 300개가 넘는 항목에 대한 검사를 실시하고 있음
- 현지 공공용 및 사설 지하수 관정을 비롯하여 용천수, 우물, 지표수, 빗물 등에 대한 수질조사를 체계적으로 진행하고, 그 결과에 근거한 합리적 수질보호 정책이나 대책을 마련하기 위해서는 현지에 수질분석 역량을 강화할 수 있는 지원사업이 필요함
 - 상기 지원사업의 추진방향으로는 동티모르 국립대학교에 수질분석실을 설치해 대학생 및 대학원생들을 대상으로 교육을 시킴과 아울러, 국가공인 분석기관으로 지정받아 수질검사기관으로 운영할 수 있도록 지원하는 방안을 고려해 볼 수 있음
- 우리나라의 경우, 시도에 수질분석 장비를 갖춘 기관들이 많으며, 이들 기관에서 사용 중인 분석기기 중 교체해야 할 기기들을 기증받아 동티모르 대학생/대학원생 교육용으로 활용할 수도 있음

참고문헌

- ADB, 2017. Dili metropolitan area water supply master plan 2016–2030
- ADB, 2017. Dili metropolitan area water supply master plan 2016–2030, Appendix 3; Production survey report
- ADPC(Asian Disaster Preparedness Centre). 2012. Report on Drought Hazard Assessment: Democratic Republic of Timor–Leste. ADPC.
- Cooper, Y.L. and Munday T., 2011. Aquifer characterisation in Timor–Leste using ground Electromagnetics, CSIRO Technical Report: EP-22-08-11-43
- Wallace, L., Sundaram, B., Brodie, R.S., Dawson, S. and Furness, L., 2012. Hydrogeology of Timor Leste, Geoscience Australia.
- Wallace, L., B. Sundaram, R. Brodie, S. Marshall, S. Dawson, J. Jaycock, G. Stewart, and L. Furness. 2012. Vulnerability Assessment of Climate Change Impacts on Groundwater Resources in Timor–Leste – Summary Report. Record 2012/55. Canberra: Geoscience Australia.
- World Bank Group, 2018. Timor–Lete Water Sector Assessment and Roadmap
- Ximenes M., Duffy B., Faria M.J., and Neely K., 2018. Initial observations of water quality indicators in the unconfined shallow aquifer in Dili City, Timor–Leste: suggestions for its management. Environmental Earth Sciences, 77:711

[별지 4] <신설 2016.12.27.>

국외출장 계획서

(제23조제1항 관련)

① 출장개요

출장목적	○ 2019 동티모르 지하수관리 역량강화 워크숍 ‘제주도의 지하수관리 사례’ 발표					
출장기간	2019. 9. 28. ~ 10. 5. (6박 8일)					
출장국가(기관)	동티모르(유네스코 물안보 국제연구 교육센터)					
출장자	소속	직급	성명	출장경비 (천원)		
	품질연구 본부	1급	고기원	국외여비	부대경비	부담기관
				-	-	유네스코 물안보 국제연구 교육센터 전액부담 (항공운임, 숙박비, 일비 포함)
출장자별 업무분장	○ 품질연구본부장 : 품질연구본부 업무 총괄					

② 출장일정

출장일자	출발지	도착지	업무수행내용	비고
9/28 (토)	제주공항	김포공항	▷ 제주공항 출발 ⇒ 김포공항 도착 (9월 28일 18:05 ~ 28일 19:15)	

출장일자	출발지	도착지	업무수행내용	비고
9/29 (일)	인천공항	인도네시아 (응우라라이 공항)	▷ 인천공항 출발 ⇒ 싱가포르(창이공항) 도착 (9월 29일 09:00 ~ 9월 29일 14:20) ▷ 창이 출발 ⇒ 인도네시아 (응우라 라이공항) 도착 (9월 29일 16:10 ~ 9월 29일 19:05)	
9/30 (월)	인도네시아 (응우라라이 공항)	동티모르 (프레지던테니콜 라우로바토 공항)	▷ 응우라라이공항 출발 ⇒ 동티모르 (프레지던테니콜라우로바토공항) 도착 (9월 30일 10:45 ~ 9월 30일 13:40)	
10/1 (화)	동티모르 『2019 동티모르 지하수관리 역량강화 워크숍 참석』		[1일차] ▷ 개회식 ▷ (세션1) 동티모르 지하수 현황 ▷ (세션2) 한국의 지하수 운영 및 관리 - 발표: 제주도 지하수 관리현황 (제주개발공사 고기원) ▷ (토론) 동티모르 지하수 관리 전략 및 제언	
10/2 (수)			[2일차] ▷ (세션3) 국제기구 활동 현황 ▷ (세션4) 결론 및 발전방향 ▷ (현장견학1) 딜리 정수장 ▷ (관계기관 협의) 한국대사관, KOICA 등	
10/3 (목)			[3일차] ▷ (현장견학2) 공공지하수 사이트 ▷ (현장견학3) 민간지하수 사이트	
10/4 (금) ~ 10/5 (토)	동티모르 (프레지던테니콜 라우로바토 공항)	인천공항	▷ 동티모르(프레지던테니콜라우로바토 공항) 출발 ⇒ 인도네시아(응우라라이 공항) 도착 (10월 4일 14:30 ~ 10월 4일 15:25) ▷ 응우라라이공항 출발 ⇒ 싱가포르(창이 공항) 도착 (10월 4일 21:45 ~ 10월 5일 00:20) ▷ 창이공항 출발 ⇒ 인천공항 도착 (10월 5일 02:25 ~ 10월 5일 09:50)	
	김포공항	제주공항	▷ 김포공항 출발 ⇒ 제주공항 도착 (10월 5일 13:10 ~ 10월 5일 14:20)	

③ 출장경비

- 1) 경비산출: 주관기관(유네스코 물안보 국제연구 교육센터) 전액부담

④ 출장효과 및 활용계획 등

- 『2019 동티모르 지하수관리 역량강화 워크숍』에서 제주의 우수한 지하수 관리 현황 발표 및 관리전략 제언을 통해 물(지하수)관리에 취약한 개발도상국(동티모르)의 지속가능한 개발 및 성장을 지원.

#붙임: 1. 동티모르 지하수관리 역량강화 워크숍 참석 협조요청 문서 1부.
i-WSSM 교육출판-137(2019.08.22.)호