유역 특성을 고려한 구조적 하천수량 확보의 중요성

추 태 호
부산대학교 / 교수
thchoo@pusan.ac.kr

윤 현 철
부산대학교 / 박사과정
standupup@pusan.ac.kr

윤 관 선
부산대학교 / 박사과정
gsyun@pusan.ac.kr

김 성 철
부산대학교 / 석사과정
sckim2012@naver.com

1. 서언

본 기사는 국토교통과학기술진흥원의『첨단기술기반 하천운영 및 관리 선진화연구단』내 세부 연구과제로서 구조적 관점을 중심으로 하천의 수량을 확보할 수 있는 기술개발에 그 목적을 두고 현재 수자원 분야에서 새로운 개념의 신기술 및 장래 유망한 기술들에 대하여 구조적인 관점의 조사 및 분석내용을 바탕으로 다년도에 걸쳐 수자원 시설물 적지 제안 및 수량확보 방안, 수자원 정책 제안 등 유역특성을 고려한 구조적 하천수량 확보 기술 연구의 방향에 대해서 소개하고자 한다.

전 세계적으로 급변하고 있는 기후현상에 따른 물 부족 현상 및 홍수로 인한 재해의 위험을 동시에 관리해야 하는 어려운 상황에 직면해 있다. 특히 수자원 분야에서는 강우패턴 및 유출특성의 변화로 매년 잦은 홍수와 가뭄 피해가 발생하고 있으며 하천의 건천화, 이에 따른 주변 환경의 영향 등 다방면에 걸쳐 악영향을 미치고 있다. 특히 우리나라는 보통 2-3년을 주기로 국지적인 가뭄이 발생하고 있으며 5-7년 주기로 매우 극심한 가뭄이 발생한다고 한다(기상청, 2012). 해외 국가들의 수자원 전략을 살펴보면 우선 눈에 띄는 것은 그림 1과 같이 공통적으로 물 관리 패러다임이 변화하고 있다는 것이

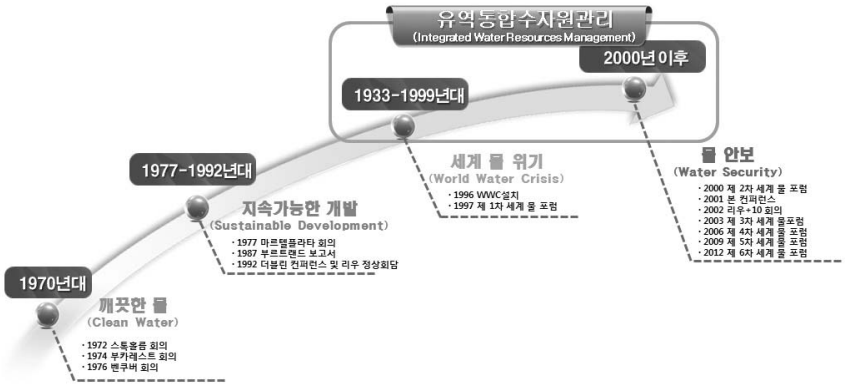

그림 1. 전 세계 물 문제에 대한 패러다임의 변화 양상

다. 70년대에는 기본적 욕구 충족을 중심으로 깨끗하고 맑은 물의 공급을 우선으로 하였다면 80년대 초에서 90년대 초반까지는 환경을 고려한 지속 가능한 개발을 목적으로 하였다. 그리고 90년대 중반 이후는 이러한 다원화된 물 관리의 효율성을 극대화하기 위해서 유역통합 수자원관리(IWRM)의 패러다임 아래 1992년 영국 더블린 선언 및 브라질 리우의 정상회담 이후 물 위기론이 확산되었고, 1996년에 글로벌 물 파트너쉽(Global Water Partnership)을 설립하여 전 지구적 네트워크를 구축하였다. 2000년도에 들어와서 기후변화에 따른 이상기후 문제로 인한 물 재해 증가문제가 부각되기 시작하였고, 각 국가들은 이러한 물 문제의 해결이 다가올 미래의 국가의 존망과 관련된다는 판단 하에 정책적으로 물 안보를 확보하는 양상으로 흘러가기 시작하였다.

이러한 내용은 안정적이고 안전한 물 공급과 하천유지유량의 확보는 필수적인 요소로서 신규 수자원을 적극 유치하고 기존 시설의 최적 운영 및 관리, 재개발을 통한 수자원 확보, 적재적소에 최적화된 분배 및 이용은 필수적임을 잘 보여주고 있다.

본 기사의 연구 방향인 구조적 관점으로 물을 확보하기 위한 해외 국가들의 대응상황들을 살펴보면 미국은 2000년 이후 2,290여개의 댐을 지속적으로 건설 중에 있고, 중국은 약 86,000개의 댐 건설과 함께 기존의 중대형 및 주요 소형댐에 대한 보강사업도 적극 추진 중에 있다. 일본은 10년 갈수빈도 이상의 가뭄이 자주 발생함에 따라 갈수 대책댐의 도입과 해수담수화 및 지하댐의 도입을 추진하고 있으며, 네덜란드 에서는 홍수터 준설 및 강변저류지 확보 등을 주요 내용으로 2006년부터 Room for the River를 추진 중에 있다. 국외에서는 구조적인 방법을 통하여 수자원을 지속적으로 확보하고 있지만 국내의 경우 환경적, 혹은 지역 반대, 사회 문화적 지형적 여러 요인에 의해 이러한 구조물에 의한 수량 확보 방법의 적용이 점차 어려워지고 있다. 다음 절에서는 유역 특성을 고려한 구조적 하천수량 확보기술 개발 연구를 위한 조사결과 및 진행 방향, 향후 계획에 대하여 서술하고자 한다.

2. 수자원 New Trend 기술 조사

2.1 Smart Water Grid

Smart Water Grid 기술은 첨단 정보통신 인프라와 수자원 개발관리를 하나로 만든 새로운 물 관리 패러다임으로서 기존 수자원의 한계를 극복하기 위한 고효율의 차세대 물 관리 시스템으로 다양한 수원을 활용하여 물을 효율적으로 배분 및 관리, 운송하며 수자원의 최적 이용 및 불균형 해소에 부합할 수 있는 기술로 주목받고 있다. 우리나라에서도 Water Grid 구현을 위해 다음 그림 2와 같은 단계별 발전 계획을 가지고 연구가 수행 중에 있다.

현 단계는 기술의 시작 단계로서 신도시 내 Micro Grid를 파일럿 테스트베드로 설정하고 적용할 계획을 가지고 있으며, 그림 3은 아래의 내용과 같은 Smart Water Grid의 개념도이다. 이 기술은 자연형 수자원인 댐, 하천수 등과 능동형 수자원인 지하수, 빗물, 중수도, 하수처리수 및 해수담수 등의 다품종 수원을 대상으로 이를 처리할 수 있는 최적 수처리 조합공정 기술 및 다품종 수원의 최적 블렌딩 기술의 개발을 통해 맞춤형 용수 생산 시스템 구성하는 것을 목표로 하고 있다. 이렇게 구성된 용수생산 시스템을 신도시 내 수자원 멀티 워터루프 시스템을 정립 및 개발하여 연계하고, 워터루프 시스템의 설계 및 운영 프로그램을 개발하여 최적 블렌딩 된 수자원을 활용하며, 저에너지 고효율 분산형 시설과 함께 최적 배분 및 공급 기술을 개발 중에 있다.

이를 위해서 지역의 물 부족 평가 시스템을 개발하여 물 수요량에 대한 공급의 효율성을 높이고 수요량의 정확한 모니터링 및 물 부족 예측, 물 수요 최적 공급을 가능하도록 목표를 두고 있으며, 이러한 모니터링 및 관리가 가능하도록 자립형 다기능 스마트 계측기를 개발하여 워터그리드 망의 지능화가 가능하도록 한다. 개발된 계측기 및 센서들은 AMI (Advanced Metering Infrastructure)네트워크 기술을 바탕으로 네트워크화

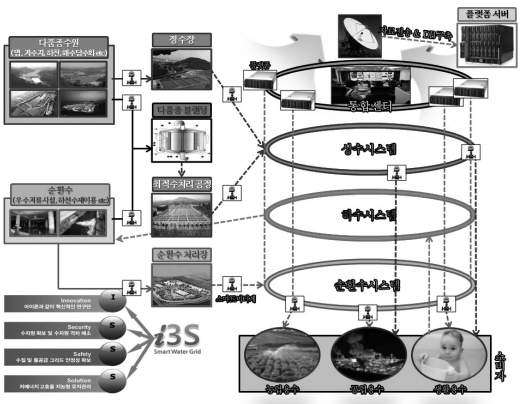

그림 3. Smart Water Grid 개념도

그림 2. Smart Water Grid의 단계별 발전 계획

되어 실시간 DB구축이 가능해지고 정확한 정보를 바탕으로 실시간 사용자의 요구를 만족시키고 빌링(Billing), 수원의 품질 등에 대한 신뢰성을 회복하며 누수 및 제어, 정비, 이상상태 감지 등을 가능하게 하고, 통합 관제센터에서는 이러한 제반의 상황에 대하여 전체적인 통합 관리를 행하며 실시간으로 모든 상황에 대응하도록 한다.

2.2 Off Line Dam

급변하는 기후변화 현상에 대응하기 위해서 국토 전반에 걸친 균형적인 물그릇의 확보가 필요한 상황으로 많은 수량의 수원을 확보하기 위한 최선의 방법은 구조적으로 댐의 설치에 있다고 해도 무방하다. 그러나 현재 국내에서는 댐 건설을 위한 최적지가 감소하고 있으며, 적절한 지역이 발견 되더라도 지역주민 혹은 환경단체 등에 의한 댐 건설의 반대로 인하여 신규 수자원 사업 유치에 많은 어려움이 발생하고 있는 추세이므로 여건상 이러한 신규 댐의 건설이 어렵다면 대체 수자원 혹은 수자원을 확보할 수 있는 신규 기술의 개발을 통하여 극복해 나가야 할 필요성이 존재한다.

Off Line 댐 기술은 이러한 경우 댐의 신규 건설이 아니더라도 기존의 하천 및 시설물을 이용하여 부족한 수자원을 확보할 수 있는 새로운 개념의 방안으로써 Off Line 댐의 기본 개념은 다음과 같다. 댐의 최적지이나 유역면적이 작아 충분한 수자원의 확보가 곤란한 경우 인접 타 하천에서 하천 유지용수 혹은 환경용수를 제외하고 남는 물의 양을 도수하여 물을 저장 및 활용하는 개념으로 기본적으로 자연유하가 가능한 지점을 선정해서 확보하고자 하는 곳으로 도수하는 것으로 다음 그림 4와 같다. 도수를 위한 하천에서 평상시에는 하천 유지용수 혹은 환경 용수를 전량 하류로 보내주고, 홍수기 혹은 비농기 등 물의 양이 늘어나거나 물의 사용량 등이 줄어 잉여 수량이 발생하면 이는 도수터널을 통하여 저류지에 저장하여 활용한다. 이로 인하여 Off Line 댐이 완성이 되면 기존 시설의 재활용은 물론 홍수기에는 홍수피해의 저감을 기대할 수 있으며 극한 가뭄을 막을 수 있는 좋은 대체 수자원이 될 수 있을 것으로 판단된다.

3. 수자원 개발 계획 조사

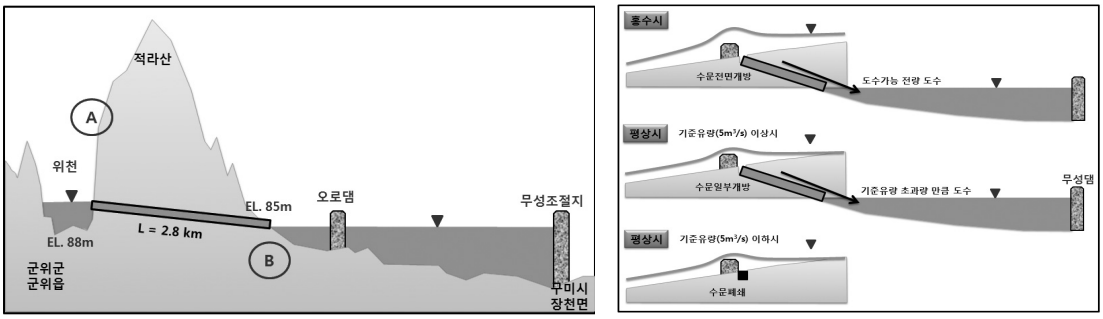

그림 4. 위천 및 무성조절지의 Off Line 댐 방안

3.1 다목적 저류지

한국 수자원공사에서 2010년 일반인들을 대상으로 수자원 및 하천정책에 대한 인식도를 파악하기 위하여 실시한 설문조사 결과 댐 건설 부문에서 절반 정도인 49%는 찬성한다고 응답하였으나 자신의 지역 내 건설은 36%가 반대한 것으로 조사되었다. 반대 사유로는 환경문제가 51%였고, 터전 수몰이 31%를 차지하는 것과 같이 여전히 댐에 대한 부정적인 인식이 존재하고 있음을 보여주었다. 따라서 수자원의 확보를 통해 하천의 건천화를 예방하고, 지역 주민들의 거부감이 적으며, 지역발전을 가능하게 하는 사업으로 다목적 저류지 사업을 추진할 것으로 예상된다.

다음 표 1과 같이 다목적 저류지는 댐과 비슷한 형식을 취하고 있으나, 그 목적 및 활용성은 상이하다. 다목적 저류지의 주요 기능으로는 국지적 홍수에 대한 저류기능으로 홍수 방어 효과를 가지고 있고, 지류에 유지유량을 공급함으로써 하천의 건천화를 방지하여 하천환경 개선에 도움이 되며, 가뭄 시에는 비상용수 공급 기능도 함께 수행이 가능하다. 또한, 토사유실을 방지하여 탁수저감 효과를 가지며, 소방용수로도 활용이 가능하고, 지하수 함양 효과를 통해 적정 수준의 지하수위를 유지할 수 있다. 이에 더하여 주변 수변 공간을 조성하고 호수 수변 어메니티를 활용하여 도심지 관광자원 개발 및 레저사업, 수상 스포츠 등 여가 공간 창조도 가능하다. 이로 인해 친환경 환경 조성으로 지역의 가치가 상승하고 자연히 지역개발을 유도하는 기능을 하는 등 다양한 순기능이 기대된다. 또한 기존의 홍수조절의 목적만으로 조절기능 없이 월류제에 의해 운용되는 천변저류지에 대하여 홍수조절기능, 하천변 생태, 레크레이션 가능성 및 경제성 분석, 계획 등을 통해 다목적 저류지화가 가능한 대형천변저류지의 발굴 또한 물그릇 확보에 좋은 대안이 될 것으로 판단된다.

3.2 비상용수댐

댐의 중요 기능 중 하나는 갈수 피해를 방지하고 예방하는 것이나 댐에 의한 용수공급은 이용 가능한 자료의 한계, 해석 방법의 한계, 기후변화에 의한 수문 시스템의 변화 등 다양한 불확실성을 내포하고 있기 때문에 이수안전도를 초과하는 가뭄이 발생하면 공급 가능한 용수가 부족하여 정상적인 물이용이 불가능해 질 수 있다. 우리나라는 가뭄에 의한 물 부족 현상이 발생하면 대체 수자원 개발 및 확보 같은 적절한 수단이 부족하며 갈수

표 1. 다목적 저류지와 기존 댐의 비교

구 분	기존 다목적댐	다목적 저류지
주요목적	· 용수공급 · 수력발전 및 홍수조절효과	· 평상시 : 하천환경개선용수 공급 · 비상시 : 비상용수, 홍수저감
규 모	· 2천만㎥ 이상의 중대형	· 2천만㎥이하의 소규모
활용성	· 일반인 개방 제한 · 일률적 형태 : 호감도 저하 · 제한적 방류 관람(여수로)	· 일반인 개방 · 다양하고 친 환경적 · 댐체 방류에 의한 상시관람
수상 레크리에이션	· 상수원 보호구역으로 수상 레저 불가능	· 다양한 수상 레저 활동 가능

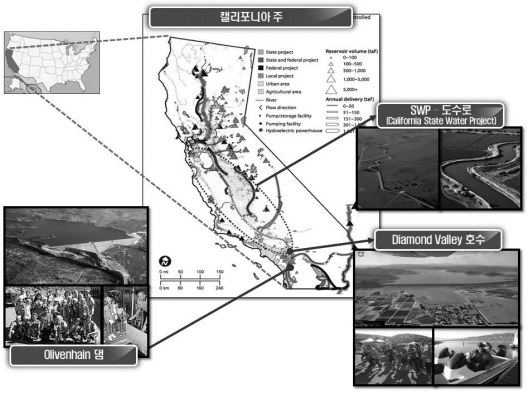

그림 5. 캘리포니아주의 도수터널 및 비상용수댐

대책을 위한 수자원 확보가 미미한 상태이다. 이광만 외(2012)에서 보면 국내 주요 다목적댐에 대하여 비상용량을 활용할 경우 이상가뭄에 대한 용수공급능력을 평가하였으며, 그 결과 정상 용수공급 조건에서는 용수공급 부족률이 크고 공급 부족 발생기간도 장기간에 걸쳐 발생하지만 댐의 저수용량을 비상용수로 활용할 경우 71일에 해당하는 가뭄을 해소할 수 있는 것으로 평가 되었다. 그러나 가뭄년에 대한 갈수빈도의 정의와 계획의 지표 등이 명확하지 않은 단계이므로 여전히 수자원 개발 및 관리정책에 비상용수 개념의 도입이 요구되고 있다. 댐에 대한 부정적 인식 및 적지감소 등 수자원 확보에 많은 어려움을 겪고 있는 상황에서 해외사례를 통해 비상용수댐의 활용 방안을 알아보았다.

남부 캘리포니아는 일 년에 비가 몇 차례 밖에 오지 않아 부족한 수자원을 확보하는 차원으로 비상용수댐과 북부지역의 풍부한 물을 남부지역으로 운송시키는 650km길이의 거대한 수로를 건설하여 위의 그림 5와 같이 운영 중이다. 비상용수댐은 Riverside의 Diamond Valley 호수와 San Diego의 Olivenhain 댐 등이 있으며, 이 댐들은 비상용수공급 이외에 여러 가지 레크레이션 기능을 갖추고 있고, 이들에 대한 목적 및 기능은 다음과 같다.

- Diamond Valley 호수

Diamond Valley 호수는 6개월 동안 그 지역의 비상 및 가뭄을 충족시킬 수 있는 충분한 물을 담고 있고, 남 캘리포니아에 거주하는 1,800만 명에게 믿을 수 있는 물 공급을 제공하기 위한 수도권의 계획에 있어 중요한 요소이다. 또한, 용수 공급 기능뿐만 아니라 호수 방문자에게 저수지를 둘러싸는 언덕을 통하여 하이킹과 라이딩하기 위하여 허용하는 실질적인 산길(시골길) 체계를 구축하여 운영 중에 있고, 이 밖에 편의(amenities) 시설은 Valley-Wide 레크레이션과 휴향 환경을 개발하기 위한 공원 지구와 함께 자전거, 하이킹, 승마, 소풍, 캠핑, 골프, 요트, 보트, 낚시, 수영장 등을 포함하고 있다.

- Olivenhain 댐 및 저수지

Olivehain 댐 및 저수지는 심각한 물 부족의 경우를 대비하여 샌디에고 카운티에 대한 물 공급을 제공하기 위한 샌디에고의 비상 저장 프로젝트(San Diego's Emergency Storage Project)의 일환으로 1998년에 공사를 시작하여 2003년에 완공하였다. 이 댐의 특징은 일반적인 댐과 달리 하천이나 강을 막지 않고, 평야(구릉지)를 막아 물을 저장하고, 펌프 및 파이프 시스템에 의해 물이 공급된다. 가뭄이나 큰 규모의 지진 발생 시 샌디에고 지역에 약 6개월에 걸쳐 물 공급에 지장을 받을 수 있으나, Olivenhain댐과 저수지는 이러한 비상상황 시를 대비해 안전한 물 29.6백만m^3 까지 저장하고 있다.

위 사례를 보면 댐 주변지역에 대한 종합적인 환경개선사업과 친환경적 레크리에이션 활동을 증진하는 등을 통해 댐에 대한 부정적 인식을 저감시키고 저수지의 이용과 보전이 적정하게 유지되도록 관리하는 것이 매우 중요한 것으로 판단되고 공급자와 사용자의 양방향 이해관계를 고려할 수 있는 비상용수댐의 신설이 하나의 대안으로써 평가할 필요성이 있다고 판단되었다.

3. 마치면서

국내 수자원 확보를 위한 사례 조사결과 가장 직접적인 방법으로 국내외 다양한 지역에서 댐 재개발 혹은 저수지, 지하댐, 강변여과수 등의 활용이 가장 많았고, 이러한 직접적인 구조물에 의한 수량 확보는 가장 빠르고 직접적으로 물을 확보할 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만 본 방법들은 급변하는 기후변화와 이상기후로 인해 불확실성이 증가한 강우사상 등 여러 수자원의 위협요소에 효과적 대처가 어려워 질 것으로 판단되며, 특히, 점차 새로운 댐 및 저수지 등의 신규 건설이 제한되고 있는 상황 속에서 기존의 직접적인 방식을 그대로 사용하기에는 한계가 존재한다. 따라서 당해연도에서는 신기술 및 계획 등에 대하여 구조적 관점으로 분석하였고 이를 다년도에 걸쳐 활용할 계획에 있다.

각 조사된 기술들에 대한 구조적 분석 결과 SWG 기술에서는 각 기술들의 구조적 세부 요소기술과 각 기술들의 특징적 시스템을 조합하여 도시 유역 내 수자원 자립율 향상을 통해 결과적으로 간접적인 구조적 방법으로서 수자원의 확보 방안을 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 Offline 댐의 경우에는 기존의 시설물 및 현황을 유지하면서 물 그릇 확보와 수량확보 두 가지 토끼를 한 번에 잡을 수 있으며, 주민 혹은 환경단체의 반대를 최소화 할 수 있는 새로운 개념의 구조적 수자원 확보방안으로서 테스트베드 적용 가능성의 평가를 할 예정이다. 또한 국가 수자원 개발 계획 조사에서는 댐의 필요성을 인식하고 있음에도 자신의 지역에는 댐이 들어서는 것을 반대하는 등 지역 이기주의 혹은 댐에 대한 부정적 인식이 있음에 이를 보완할 수 있는 기술들을 주로 조사하였고, 그 대책의 일환으로 댐의 기능을 하면서 상수도 보호구역으로 제한받지 않는 다목적 저류지는 일반인들의 레크리에이션 및 친수기능, 주민개방 등을 통해 친근하게 다가갈 수 있어 댐에 대한 부정적인 인식을 낮출 수 있을 것으로 기대되며, 국내에는 없으나 해외에서는 활용되고 있는 비상용수댐의 개념을 국내에 적용성 검토를 할 필요성이 있는 것으로 분석되었다. 따라서 이러한 내용을 바탕으로 각 기술들의 테스트 베드 적용성 여부를 검토하고 구조적 수자원 확보를 위한 인벤토리 개발 및 수자원 정책 제안 등의 연구를 진행할 예정이다.

그림 6과 같이 본 연구에서 조사 및 분석한 수자원 New Trend 기술들과 수자원 계획에서 제안된 여러 가지 방안을 테스트베드 내에 적용성 및 예상효과 분석을 통해 4-6 세세부 '용수수급 요소를 고려한 비구조적 하천수량 확보 기술' 연계하여 유역 내 수자원의 확보방안을 제시하고 이를 4-7 세세부 '탄력성 평가에 의한 하천수량 확보 가이드라인 개발'에서 활용하여 최종적으로 가이드라인을 개발할 예정이다. 본 연구가 완료된다면 하천수량 확보를 위한 객관적인 하나의 지표로서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

그림 6. 세세부 업무 연계도 및 향후 계획

사사

본 논문은 본 연구는 국토교통부 건설기술혁신사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었음.

참고문헌

1. 국토해양부, 2011, 수자원장기종합계획(2011-2020).
2. 국토해양부, 2011, 댐과 보등 연계운영규정.
3. 국토해양부, 2011, 댐건설장기계획(2012-2021).
4. 국토해양부, 2011, 지하수관리기본계획(2012-2021).
5. 기상청, 2012, 기후변화에 대응하기 위한 기후 · 수문조기경보 체계 개발 및 구축.
6. 이주헌, 이길재, 2006, 국가 가뭄관리 정보시스템 구축, 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제 39권, 제 3호, pp. 29-36.
7. Biederman, T. 2012, Water Smart Grid Overview, American Water Works Association., Vol. 2012, No. 4, pp. 2632-2640.
8. Diamond Valley Lake 홈페이지, http://www.dvlake.com.
9. Hill, C. J., Barber, G. L., Beikae, M., Whitaker, C., Fitchen, J. Diamond Valley Lake, Observations During Initial Filling, ANNUAL USSD CONFERENCE., Vol. 26, pp. 83-92.
10. Lewis, C., Hendrix, M. 2012, Smart grid and AMI for water utilities, Journal of the American Water Works Association, Vol. 104, No. 9, pp. 58-61.
11. Reed, G. E., Rogers, M. F., Ehasz, J. L. 2003, Building the Olivenhain, Civil engineering, Vol. 73, No. 4, pp. 46-53.
12. State of California, 2008, Managing an Uncertain Future: Climate Change Adaptation Strategies for California's Water.
13. USGS 캘리포니아 홈페이지, http://ca.water.usgs.gov.

기획: 맹승진 maeng@chungbuk.ac.kr