

04

제8회 동아시아 댐기술 교류회의(EADC) 참가기

K-water연구원 수석연구원
신 동 훈



강은 생명의 근원인 물을 무한히 공급하는 곳일 뿐만 아니라 인류에게 때때로 가공할 위력으로 생명을 위협하기도 하는 신성하면서도 극복하여야 하는 도전의 대상이기도 하다. 그래서 강의 흐름은 인류역사의 흐름과 궤를 같이 한다고 생각되기도 한다. 다행히도 인류는 물과 더불어 사는 방법을 터득하였다. 즉, 지혜로운 우리 선조들은 물을 취하되 그 흐름을 제어하는 인공의 시설물인 댐이나 제방 등의 대규모 수리시설물을 만들어 농업생산력의 발달과 부의 축적을 가져왔고, 증기기관의 발명과 같은 과학기술이 더해지면서 상상하기에도 벅찰 만큼의 인류문명의 발전을 이루어왔다.

고대부터 현대에 이르기까지 치산치수는 국가통치와 국가번영의 근간을 이루고 있다. 이는 전세계의 수자원 확보 현황과 국가별 부의 현황 등을 살펴보면 거의 진실에 가깝다고 할 수 있다. ICOLD에 따르면 전세계에 있는 37,500개의 대댐 중 95%에 해당하는 34,500여개를 불과 25개국만 보유하고 있는데, 중국이나 인도 등을 제외한 대부분의 나라들이 경제적인 부와 정치적인 영향력을 누리고 있는 나라들이다. OECD 국가인 우리나라의 경우도 선진외국과 시차는 있으나 동일한 패턴으로 발전해왔다. 즉, 1960년대 후반부터 시작된 다목적 댐의 건설을 통해 풍부한 수자원의 확보와 공급, 전기에너지 공급, 홍수조절 등이 새마을운동, 중공업육성 등과 어울어지면서 우리나라는 폭발적으로 경제적 성장을 이루어 전 세계로부터 한강의 기적이라는 찬사를 받고 있다.

그러나 2000년대에 들어서면서부터 우리나라의 댐이 30년 많게는 40여년 이상이 경과되어 다양한 노후화 현상이 발견되고 있고, 2013년과 2014년에는 전국에서 여러 번의 저수지 제체 붕괴 사고가 발생하면서 댐과 같은 수리시설물의 노후화(aging) 및 그로 인한 안정성의 저하, 피해발생 등에 대한 우려가 깊어지고 있다.

사실, 미국, 일본 및 유럽 등에 있는 수자원 시설 안전관리에 있어서 선진국들은 이미 1990년대부터 댐 시설물의 노후화 현상과 대책에 대하여 많은 투자와 노력을 해오고 있다. 그에 비하여 우리나라의 경우는 노후화에 대한 개념과 대책에 대한 공학적 접근이 미흡한 것이 사실이다.



EADC 심포지움 전경



질의응답 중인 필자

이러한 맥락에서 지난 10월에 서울에서 한국대담회 주관으로 열린 제8회 동아시아댐기술교류회의에서 “Rehabilitation of Aging Dams”를 주제로 한국, 일본 및 중국의 댐 기술 전문가들이 참신한 발표와 열띤 토론을 벌인 것은 매우 큰 의미가 있다고 생각된다.

본 고에서는 금번 제8회 동아시아댐기술교류회의 기간 중 심포지움에서 발표된 논문의 내용과 필자가 느낀 소감을 간략하게 정리해보고자 한다.

금번 심포지움은 시간이 경과함에 따라서 안정성이 저하되어 가는 것에 대하여 ①Aging을 어떻게 감지해낼 것인가(Detection of Aging), ②어떠한 대책을 적용할 것인가(Countermeasures for Aging), ③복구 또는 보강 대책은 어떻게 계획하고 실행할 것인가(Planning and Implementation of Rehabilitation Program)으로 구성되어, 총 3개의 세션에 전체 약 30편의 논문중 17편의 논문이 구두발표 되었다.

첫 번째 세션 중 K-water연구원의 박동순 박사가 발표한 내용은 국내에서는 사례가 없는 경사코어형사력댐에 대해 건설 후 약 50여년 경과된 후의 내진성능평가 결과를 다룬 것이다. 이 논문에는 설계와 시공에 대한 기록이 거의 남아있지 않은 댐의 경우 육안조사 외에 전기비저항탐사에 의한 댐체 내부 상태에 대한 조사, 내진성능평가지 필수 입력데이터인 전단 파속도 또는 전단탄성계수 분포 파악을 위한 MASW조사 등이 매우 효과적으로 활용될 수 있다는 것, 그러나 이들 탐사방법의 장점과 더불어 한계점 등에 대해 충분히 이해한 후 적용할 필요가 있다는 지적은 귀담아 들어야 할 사항으로 생각된다. 특별히 박동순 박사는 유창한 영어발표와 질의응답으로 심포지움의 시작을 뜨겁게 달아오르게 한 것이 인상적이었다.

또 한 가지 인상적인 발표는 무려 50년에 걸쳐서 댐 콘크리트의 역학적 성질을 모니터링해온 결과에 대한 발표였다. 일본 전원개발주식회사(J-Power)의 Imaoka 등의 발표에 따르면 1960년대에 Sakamoto댐(1963년 준공)과 Ikehara댐(1964년 준공)을 건설할 당시 부터 수화열 저감을 위해 플라야쉬를 섞은 중용열 시멘트를 사용한 아치 댐 콘크리트의 압축강도가 시간 경과에 따라서 어떻게 변화되는지를 100년 동안 모니터링 하여 규명할 것을 계획하였다고 한다. 일본의 계획성과 열정에 얼마나 놀랐는지 모르겠다. 그들의 시험계획에 따르면 실제 댐건설에 사용된 것과 동일한 재료를 사용하여 실험실 또는 배치플랜트에서 $\varnothing 20\text{cm} \times h 40\text{cm}$ 또는 $\varnothing 15\text{cm} \times h 30\text{cm}$ 의 원주형 공시체를 제작하여 28일, 91일, 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30 및 50년의 간격으로 탄성계수, 인장강도, 중성화깊이, CT 스캔 등을 측정하거나 관찰하는 것이다.

논문에 따르면 50년 동안의 관찰과 시험결과 이들 두 댐에서의 콘크리트 강도는 최초 3년 동안에 가장 많이 증가하였으며, 50년 경과 후 인장강도는 91일 강도의 약 130~150%까지 증가하는 것으로 나타났다. 100년간에 걸친 실험과 검증을 계획하고 실행하는 철저함, 열정 그리고 끈기가 댐 기술에 있어서 일본을 선진국이 되게 한 것이 아닐까 생각해본다.

두 번째 세션은 Aging댐의 보수보강 방법을 주제로 진행되었는데 이 세션에서도 매우 흥미로운 사례가 발표되었다. 첫 번째 발표는 Fengman(豊滿)댐의 건설과 보수보강 사례에 대한 것으로서 일본의 Sakamoto댐과 Ikehara댐에 대해 50년 동안 실험과 분석을 해온 것 보다 훨씬 오랜 기간에 걸쳐 보수보강이 이루어져 왔기에 너무도 놀랍고 교훈적인, 그러면서도 역사적인 동병상련의 아픔이 함께 느껴진 내용이었다. Fengman댐은 지린성의 지린시에서 제2송화강 상류 24km에 위치한 댐으로서 일본이 나중에 중일전쟁 및 태평양 전쟁으로 확산해나가기 전에 만주지역에 세운 만주국 시절(Manchuria period; 이 시기에 청나라의 마지막 황제 푸이가 등장함)이던 1937년에 착공되어 역사, 사회, 경제 및 기술적 문제가 복잡하게 얽히면서 1953년에 가서야 완공되었다.

Fengman댐이 관심을 끄는 것은 이 댐에 저수된 물이 백두산 천지에서 흘러들어온 물이라는 것과 북한의 수풍댐과 동시에 건설되었다는 것이다.

Fengman댐은 높이 91.7m, 댐마루길이 1,080m의 콘크리트 중력식 댐으로서 전기생산과 물공급 및 홍수조절 등의 기능을 통해 중국 북동부 지역의 산업과 농업 발전에 크게 이바지 해왔다고 한다.

그러나 건설 당시는 물론 건설 이후 70년 이상 댐의 안전을 위협하는 심각한 결함들을 해결하기 위해 홍수조절 문제, 구조적 불안정성 문제, 낮은 품질의 콘크리트 상태, 누수량 제어, 지진에 의한 안정 문제 등 많은 문제들로 인해 수십년간 보수보강을 해왔다고 한다.

앞에서도 언급한 바 있으나 역사적인 아픔이 배어 있는 댐이고, 기술적 난제들을 극복해온 댐이라는 점에서 기회가 되면 직접 가보고 싶고, 백두산에서 흘러내려온 물도 한 모금 마셔보고 싶기도 하다.



중국 Fengman댐(약 70년 경과) 전경

또 한편의 매우 흥미 있는 논문은 10년간에 걸쳐서 댐 노후화를 조사·분석 해온 결과에 대한 보고이다. 일본 댐기술센터의 Kawasaki 등에 의해 발표된 이 논문은 Iwate현에 있는 건설된 지 57년 된 높이 26.5m의 홍수조절용 콘크리트 중력식댐이다. 이 댐은 건설 이후 동절기의 동결융해 등에 의해 점점 열화가 심화되어 여러 차례에 걸쳐 다양한 보수보강이

이루어졌다. 금번 발표는 2003년에 대대적인 보수보강 작업을 벌인 이후 10년만에 그 보수보강 효과를 재점검한 결과에 대한 것으로서 향후 우리나라에서도 콘크리트 열화의 매커니즘 규명 및 보수보강 효과 검증용으로 참고할 수 있는 좋은 내용으로 생각된다.

중국측 논문 중에서 개인적으로 관심을 끌었던 발표는 Yu 등이 발표한 조립재료(coarse grained soils)의 강도 및 변형 특성을 수치해석적 방법으로 검토한 것이다. 경험이 많은 댐기술자에게도 모래나 점토와 같은 세립질 토질재료의 강도 및 변형특성에 대해서는 익숙하나 자갈이나 쇄석과 같은 조립재료의 역학적 성질에 대해서는 그리 익숙하지 않다. 필자의 경우 1990년대 말부터 대형삼축시험기, 대형오이도미터시험기 등을 이용하여 댐 축조에 사용되는 자갈 및 쇄석재료에 대한 삼축압축시험에 의한 강도 및 변형특성, 또한 각종 구성모델 파라메타 산정과 적용 등에 대해 약간의 경험을 축적하고 있어 Yu의 발표를 관심을 갖고 들었다.

Yu 등은 최대입경이 800mm에 이르는 조립질의 축조재료에 대해서 삼축시험을 할 경우, 시험기의 크기 제한으로 인해 어느 정도의 scaling을 하게 되는데 이때 scaling효과에 의해 발생하는 강도 및 변형특성의 해석방법에 대해 검토하였다. Yu는 그 검토 방법으로 수치해석과 대형삼축시험 결과로부터 필름의 변형해석시 전 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 Duncan-Chang모델을 구성모델로 하여 비교하였다.

Yu 등의 연구결과에 따르면 scaling효과는 강도에는 그리 큰 영향을 미치지 않으나 변형특성에는 큰 영향을 미친다고 한다. 그러나 세계 각국의 유사한 연구결과는 Yu의 연구결과에 동의하는 것과 그렇지 않은 것이 있어 앞으로도 이 분야에 대해 더욱 깊은 연구가 필요하다고 생각된다. 다만 Yu 등의 연구에 있어서 아쉬운 부분은 수치해석에 의해 삼축시험 모델링한 결과를 제시하였는데, 그 응력-변형 관계가 실제 삼축시험결과에서 볼 수 있는 것과 많이 상이하여 Yu 등의 수치모델링 기법에 재점검이 필요한 것으로 생각된다.



세 번째 세션 중 일본댐기술센터의 Kajita가 발표한 댐종합점검 방법의 개선방안에 대한 내용이 관심을 가질만한 것으로 생각된다. Kajita에 따르면 일본 국토교통성에서는 2013년 10월 부터 댐수명연장계획 (Dam Service Lifetime Prolongation Plan)의 시행을 시작했다고 한다.

그 계획은 댐의 운영에 관한 중-장기 계획이며, 그 안에는 정밀점검 결과에 근거하는 시설의 개선이 포함되어 있다고 한다. 따라서 수년간에 걸친 구조물의 내외부상태의 조사와 변화의 파악, 댐의 건전도 상태 등에 대한 분석을 포함하고 있는 정밀점검이 댐 장수명화계획의 핵심이라고 할 수 있다. 금번 Kajita의 발표에 있어서 흥미로운 점은, 댐기술센터와 같이 댐의 점검 및 보수보강 분야의 전문가들 뿐만 아니라 지자체에 근무하는 비전문가들이 사용하기 쉽고 이해하기 쉽게 댐 및 부속시설의 점검항목 및 방법 등을 제시하고 있다는 것이다. 특히, 외관조사결과를 토대로 한 시설 또는 장비의 상태평가 등은 참고할 만한 것으로 생각된다.

또 다른 발표 내용으로서 댐운영 정상화를 통해 용수를 추가 확보한 사례에 대한 발표(한국수자원공사 안희복 박사 등)는 구조적인 접근 뿐만 아니라 비구조적인 접근도 댐의 노후화에 대한 해결방안이 될 수 있음을 보여준 좋은 사례로 생각된다.

이상에서 살펴본 바와 같이 제8회 EADC에서의 논문발표는 중국, 일본 그리고 한국이 Dam Aging에 대해 겪고 있는 문제점들과 각자의 해결을 위한 접근방법들을 공유할 수 있는 매우 좋은 기회였던 것으로 생각된다.

그 중에서도 댐 콘크리트의 역학적 성질 규명을 위해 무려 50년간 실험을 해오고 있는 사례, 70년 이상의 보수보강을 해온 사례 등을 통해서 때로는 서로에 대한 존경심 혹은 역사적인 동병상련의 아픔을 느끼게 된 것은 한-중-일의 국민이자 전문가들만이 느끼는 공통점이 아닌가 싶다.

한편, 이번 컨퍼런스에서 동아시아댐기술교류회의 참가국 범위를 한-중-일 3개국 중심에서 동아시아 15개 국가로 확대한 것은 아시아 지역의 댐기술 교류와 발전을 위해 매우 의미 있고 환영할 만한 역사적 결정이라고 생각된다.

앞으로도 아시아의 여러 나라들이 댐 기술 개발을 통해 자국의 경제와 문화발전에 더욱 많이 기여할 뿐만 아니라 각국의 댐기술자들이 동아시아댐기술교류회를 통해 더욱 친밀하게 교류하며 나아가기를 바라면서 일본 Sapporo에서 개최되는 제9회 컨퍼런스를 기대해본다.