



대댐의 건설 및 운영·관리에 있어서의 국제 동향



신영호

한국수자원공사 조사기획처 차장
yhshin@kwater.or.kr

1. 서론

지난 5월21일부터 5월29일까지 브라질의 브라질리아에서 개최되었던 제77회 국제대댐회 연차회의 및 23차 총회(The 77th Annual Meeting of ICOLD and in the 23rd ICOLD Congress)에 한국대표단의 일원으로 참석하였다. 본 기고에서는 세계대댐회 연차회의에 대한 부분은 제외하고 23차 Congress의 기술세션(Technical Session)에서 발표되고 논의되었던 내용위주로 댐 설계, 건설 및 운영·관리에 있어서 각국에서 제출하고 발표한 논문들을 토대로 국제적인 이슈와 동향이 무엇인지에 대하여 논해 보고

자 한다. 시작하기 전에 제77차 세계대댐회를 개최한 브라질에 대하여 간략하게 소개하면 브라질은 남미에서 가장 큰나라로 인구는 184백만명이며 남미에서 유일하게 포르투갈어를 사용하는 나라이다. 평균 유하량이 200,000m³/s가 넘는 세계에서 가장 큰강인 아마존강이있어 풍부한 포장수력을 갖고 있는 나라이다. 이러한 이유로 인하여 많은 수력발전댐, 다목적댐을 건설 운영관리하고 있다. 브라질의 수력발전 설비용량이 80,000MW에 달한다고 한다. 특히, 중국의 삼협댐이 완공되면 그 자리를 물려주게 되지만 현재까지 세계에서 가장 큰 댐인 ITAIPU댐을 건설·운영관리하고 있어 이 분야에서 전문적인 지식을 갖고 있는 많은 전문가를 보유하고 있다고 할 수 있으며 이에 대한 자부심이 대단함을 느낄 수 있었다.

제23차 ICOLD Congress의 일정을 간략하게 소개하면 5월25일부터 29일까지 5일간 진행되었으며, 댐 관련 기술을 교환하는 Technical Session은 5월 25일 오후부터 5월29일 오전까지 이루어 졌다. 오전부터 오후까지 발표와 토론이 계속해서 이루어지는

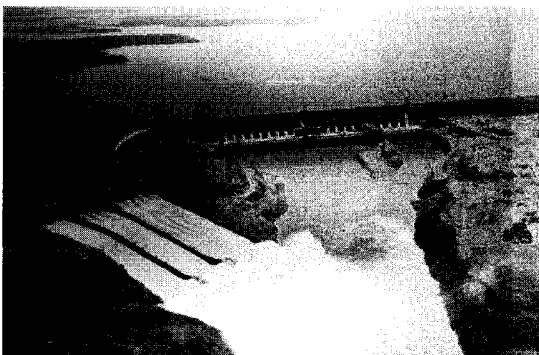


그림 1. 세계최대 규모의 브라질 ITAIPU댐 전경



그림 2. 제23차 ICOLD Congress 진행 현황



표 1. 제23차 ICOLD Congress 일정

GENERAL PROGRAMME		
Date	Programme	Time
25/05	Opening Session	08:30 to 10:30
25/05	Opening and Technical Exposition Visit	10:30 to 12:00
25/05	Technical Session 88 (DAMS AND HYDROPOWER)	13:30 to 17:30
26/05	Technical Session 88 (DAMS AND HYDROPOWER)	08:30 to 12:00
26/05	Technical Session 89 (MANAGEMENT OF SILTATION IN EXISTING AND NEW RESERVOIRS)	13:30 to 17:30
27/05	Technical Session 89 (MANAGEMENT OF SILTATION IN EXISTING AND NEW RESERVOIRS)	08:30 to 12:00
27/05	Technical Session 90 (UPGRADING OF EXISTING DAMS)	13:30 to 17:30
28/05	Technical Session 90 (UPGRADING OF EXISTING DAMS)	08:30 to 12:00
28/05	Technical Session 91 (DAM SAFETY MANAGEMENT)	13:30 to 17:30
29/05	Technical Session 91 (DAM SAFETY MANAGEMENT)	08:30 to 12:00

힘든 일정으로 이루어졌으며, 특별세션으로 26일 저녁 8시부터 10시까지 중국 대표단에서 주관하고 개최한 쓰촨성 지진으로 인한 댐의 영향 및 대응방안에 대한 세미나도 열렸다. 그림 2와 표1은 제23차 Congress 진행상황 및 일정을 나타내고 있다.

개발과 관련한 내용이고 Question 91은 Dam Safety Management로서 댐안전 관리와 관련한 주제를 다루고 있다. 각 Question별로 논의되었던 내용과 주요 사항을 정리하면 다음과 같다.

2. 세계의 댐관련 이슈 및 동향

전 세계에서 이슈가 되고 있는 댐관련 문제를 알아보기 위하여 기술적인 문제들에 대한 발표와 토론이 이루어졌던 기술세션(Technical Session)을 참석하여 동향을 파악하였다. 본 기술세션은 지난 22차 Congress에서 채택되었던 기술적인 질문들(Question 88, 89, 90, 91)에 대하여 각국이 그 동안 추진했던 연구실적에 대한 다양한 논문이 발표되고 토론하는 순으로 진행되었다. Questions의 내용을 살펴보면 앞의 표에서 보는 바와 같이 Question 88은 Dams and Hydro Power로서 수력발전댐의 건설 및 운영관리에 대한 주제를 다루었고 Question 89는 Management of Siltation in Existing and New Reservoirs로서 기존 및 신규로 건설되는 댐의 유사 관리와 관련한 주제를 다루었다. Question 90은 Upgrading of Existing Dams로서 기존댐의 재

2.1. Question 88 – Dams and Hydropower

Question 88에서는 아래와 같은 5가지의 소주제로 나누어 졌다.

- 재생가능 에너지의 틀에서 댐과 저수지의 역할 및 포장수력과 개발 현황
- 지속가능한 개발에 있어서의 수력발전: 밀레니엄개발목표(Millennium Development Goals)의 달성과 그린하우스 가스의 감축에의 기여
- 수력발전을 위한 댐 계획, 설계 및 기술적, 재정적, 사회적, 환경적 측면 및 이슈들에 있어서의 잘된점(good practices)
- 다목적 저수지에 있어서의 수력발전 (다른 이용 목적들과의 운영률 및 상호작용)
- 양수 저류 체계(Pumped storage schemes): 특정한 댐 설계 및 요구사항

2005-2020년간의 전 지구적인 에너지 소비는



30%이상 증가할 것으로 예측되었고 중국과 인도 두 개 국가가 이러한 에너지 소비증가를 주도하고 있다고 한다. 이러한 상황에서 지속가능한 에너지원인 수력발전의 중요성이 대두되고 있고 새로운 대규모의 수력발전댐이 건설되고 있는데 이의 대부분이 중국에서 이루어지고 있다고 한다. 이 주제에서는 현재 건설되고 있는 수력발전소에 대하여 논의 하였는데 2014년에 완공예정인 캐나다의 “La Romaine” 수력발전소 건설에 대한 사항으로서 댐 타입의 결정을 두고 콘크리트표면 차수벽형 석괴댐(concrete faced rockfill dam)과, 아스팔트코어 석괴댐(asphalt core rockfill dam)에 대한 논의사항을 소개하고 있다. 러시아와 슬로베니아는 각각 새로 건설하고 있는 수력발전댐과 다목적댐에 대하여 소개하고 있으며, 이탈리아는 100년전에 건설된 두개의 수력발전소의 설비교체 사업에 대하여 소개하고 있다. 조력발전과 관련한 문제도 언급하고 있는데 러시아의 논문은 floating building technology(without cofferdams)와 새로운 터빈을 적용함으로써 건설비용을 효과적으로 절감한 사례를 소개하고 있다. 댐의 설계와 건설과 관련해서는 특정한 기술적인 문제를 다룬 논문들이 다수 발표되었는데 대다수는 RCC 및 CFRD와 관련된 것들이었다. 특정 주제로는 Xingo댐 건설 중에 발생한 홍수의 성공적인 관리에 대한 내용으로 브라질에서 발표한 자료가 있었다. 중국의 경우는 현재 중국에서 이슈가 되고 있는 지진과 관련된 문제의 하나로 Yele댐의 지진 응답해석 및 지진 모니터링기



그림 3. Xingo dam project general view (2009, ICOLD)

록과 관련된 논문을 발표하였다.

2.2. Question 89 – Management of Siltation in Existing and New Reservoirs

Question 89의 경우 역시 아래와 같이 5개의 소 주제로 나누어져 있다.

- 이슈의 평가 (유사이송, 환경 및 경제적인 영향을 포함한 이슈들의 평가)
- 저수지와 유역에서의 퇴사를 관리하기 위한 혁신적인 설계 및 배치
- 기존의 플러싱 및 준설 프로젝트에서의 경험 평가
- 배사 구조물의 효율과 비용 및 운영 절차
- 저수지 관리 기술

본 주제에서는 총 16개 나라에서 28개의 논문이 제출되었는데 그 중 8개를 제출한 일본이 최다 제출국이었다. 우리나라에서는 그다지 중요하게 생각하지 않는 분야인 저수지 퇴사관리 분야에서 일본은 많은 관심과 노력을 하고 있다는 사실을 알 수 있었다. 다른 많은 논문에서는 저수지에서의 높은 유사 유입률과 더 나은 장기적인 관리대책에 대한 내용들이 주를 이루었으며 주요한 저수지의 유사문제를 아래와 같이 요약, 제시하였다.

- 저수지 용량의 감소
- 터빈의 손상 및 수력발전량의 감소
- 댐하류 하천에의 영향

세계 하천의 연간 유사유출량은 40,000km³의 유출량에 대하여 240~300억톤으로 추정되고 있다고 한다. 즉, 하천과 유량에 따라서 많은 변화가 있기는 하지만 단위 유량에 포함된 평균 유사량은 0.6~0.75 ton/1000m³이라고 할 수 있다는 것이다. 모든 하천에 댐이 건설되어 있는 것도 아니고 모든 유사가 저수지에 포착되는 것도 아니지만 전 세계적으로 평균



30~40년된 저수지의 경우 퇴적된 유사량이 1,400백 만³ 정도로 추정하고 있다고 한다. 세계적으로 15m 이하의 소규모댐까지 포함한 댐의 총저수용량은 7,000km³인데 이중 활용이 불가능한 용량이 3,000km³에 이른다고 한다. 또한, 연간 유사량과 관련한 문제로 인하여 150억달러(댐 하류에 미치는 영향으로 인한 손실은 제외)의 손실이 발생하고 있으며, 댐 하류 하천에 미치는 영향으로 인해 170억달러의 손실이 발생하고 있다고 진단하고 있다. 이렇듯 댐의 운영에 막대한 영향을 미치는 유사문제와 관련하여 많은 나라들이 관심을 가지고 해결방안을 모색하기 위하여 다양한 연구와 노력의 결과인 논문을 제출하고 발표를 하였다.

제출된 논문들은 4가지의 주요 주제로 다시 분류할 수 있는데 첫째로 저수지 유사의 배출을 통한 퇴사관리에서는 스위스가 탁수흐름과 관련한 내용을 발표하였고 이란은 수치해석방법을 이용한 댐의 효과적인 퇴사제거 방법에 대하여 논하고 있다. 또한, 일본은 유사조절대책과 유사의 플러싱에 의한 물리적인 조건과 환경적 효과의 증진과 관련한 Yahagi댐의 사례를 발표하였다. 둘째로 준설, hydro-suction 또는 bypass에 의한 저수지 퇴사관리에서는 일본, 모로코, 루마니아 및 스페인 등이 관련 논문을 제출하였다. 셋째로 댐 상류에서의 퇴사 차단(trap) 관련 기술에 대하여 일본, 체코, 콜롬비아 등이 논문을 제출하였고 마지막으로 일반적인 지속 가능한 유사관리 분야에서는 “유사관리 전략”에 대하여 미국이, “댐 유역의 유사관리”와 관련해서는 프랑스가 각각 논문을 발표하였다.

2.3. Question 90 – Upgrading of Existing Dams

Question 90은 아래와 같이 4가지의 소주제로 나누어져 있다. 이 Question은 근래 들어 우리나라에서 기존댐의 재개발을 통한 용수확보 문제가 많이 논의되고 있는 상황이라서 개인적으로 가장 관심이 가

는 주제였다. 또한, 21개국에서 58편의 논문이 제출되어 가장 관심이 많은 분야로 생각되었다. 본 Question은 아래와 같은 4가지의 소주제로 나누어진다.

- 구조적, 수리적인 성능(효율)을 높이기 위한 업그레이딩
- 새로운 규정, 환경적 및 운영적 요구에 부합하는 업그레이딩
- 댐 증고시 공학적인 문제와 설계 대안
- 홍수조절용량, 저수지 용량 및 다른 고려 사항들을 증대시키는 것을 포함한 댐 증고의 경제성

현재 전 세계에서 운영되고 있는 대댐의 수는 약 50,000개 정도이며, 이 들 댐 중의 50%는 50년 이상된 댐들이라고 한다. 이렇게 오래된 댐들은 기상이변으로 인한 수문학적 변화와 지진에 의한 안전문제 등과 같은 공학적인 문제들에 직면하게 되었다. 또한, 기술적인 발전과 댐 안전에 대한 사회적, 환경적 책임의 증가 외에 새로운 환경 및 운영에 있어서의 요구사항이 증가함에 따라 댐건설 당시의 기준과 지식에 따라 건설된 기존 댐의 재평가가 필요하게 되었다. 이에 따라, 지난 10년간 전 세계적으로 기존댐의 업그레이딩이 빠르게 증가하였고 가장 주요한 이슈가 되고 있다.

제출된 논문들을 “구조물적인 업그레이드의 타입”으로 분류하면 콘크리트댐과 관련된 것이 24편으로 가장 많았고 수리구조 및 장비와 관련된 것이 다음이었으며, 제방과 관련된 논문이 그 뒤를 이었다. 업그레이딩의 “주요한 원인과 목적”으로 나누어보면 “수문 및 수리학적 안전의 부족”과 관련한 논문이 가장 많았다. 방류능력을 증대시키기 위하여 여수로의 규모를 변경한다거나 저수용량 증대를 위하여 댐을 높이는 등의 사례가 많았고 이 두 가지를 조합한 경우도 있었다. 다음으로 댐 구조물의 안전 증진과 댐 및 기초의 누수관련 논문이 많았다.

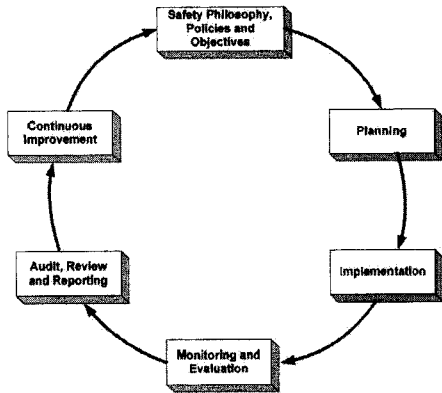


그림 4. Element of Dam Safety Management System (2009, ICOLD)

2.4. Question 91 – Dam Safety Management

마지막으로 댐안전관련 주제를 다룬 Question 91은 아래와 같이 5개의 소주제로 나누어진다.

- 휴먼팩터(human factor)의 고려를 포함하여 위험 평가방법 및 결과
- 규정 및 경제적 이슈
- 저수지 운영에 있어서의 영향
- 비상 계획 및 통신
- 댐의 원격 모니터링 및 콘트롤

댐안전과 관련하여 다양한 관점에서 19개국에서 60편의 논문이 제출되었는데 프랑스와 스페인에서 가장 많은 각 8편씩의 논문을 제출하였다. 소주제별로 분류해 보면 “위험 평가방법과 결과” 분야가 16편으로 가장 많았고 “규정 및 경제적 이슈”와 관련된 분야가 8편으로 그 뒤를 따랐다. 댐 안전과 관련한 문제는 ICOLD Congress에서 그 동안 30년 이상을 논의해 왔던 주제였는데 적절하게 설계된 댐안전 관리시스템은 종합적이어야 하고 그림4에서 보여주는 것과 같이 6가지의 요소를 포함하여야 한다고 한다. 이 6가지 요소는 안전한 댐을 위하여 각각이 동일하게 중요하며 지켜져야 하는 사항이라고 한다.

3. 일본 및 중국의 댐 관련 이슈

3.1 일본

일본의 경우에는 Technical Session에 가장 많은 논문을 제출한 국가였는데 댐에서의 유사문제를 많이 다루었으며 특히 기존댐의 재개발(Dam Renovation)에 대한 일본의 추진현황을 책으로 만들어 배포하였다. 일본은 2012년 제24차 Congress를 유치하여 전시장에 부스를 설치하고 홍보를 하고 있었는데 Current Activities on Dams in Japan(special issue on dam renovation)이란 책자를 배포하고 있었다. 이 책자에는 일본의 댐재개발 현황을 자세하게 소개하고 있었는데 이를 통하여 알아본 일본의 댐 재개발 현황에 대하여 간단히 설명하고자 한다.

일본은 댐에 대한 새로운 시기가 도래한 것으로 보고 기존댐을 더 오래 효과적으로 활용하기 위하여 기술적인 방법들이 동원되어야 한다고 하였다. 이를 위하여 최근에 사회적인 환경의 변화로 인한 다양한 목적으로 재개발이 이루어진 기존댐의 현황을 소개하였다. 이러한 재개발의 이유로는 1) 지형학적, 지질학적 및 경제적인 측면에서의 새로운 댐 건설 가능지점이 해가 갈수록 줄어들고 있다는 점이고 2) 새로운 댐을 건설하기 위한 기간이 지역사회 및 환경적인 문제로 인하여 너무 길어지고 있다는 것이며 3) 사회적, 환경적인 충격을 최소화 할 수 있도록 기존댐의 이용을 효과적으로 해야할 필요성이 있기 때문이라고 한다. 오래된 댐의 효과적인 이용과 기술적인 이슈들로 1,400년 전에 건설된 사야마-이케댐(Sayama-ike dam)의 경우를 소개하고 있다. 이 댐은 일본에서 가장 오래된 댐으로서 지금까지 8번의 재개발이 이루어졌는데 가장 최근인 2000년에 당초의 농업용댐에서 홍수조절 기능을 추가하여 다목적댐으로 재개발이 이루어졌다. 그 외에 기존댐의 기능을 증대시키기 위한 댐재개발 사업이 이루어지고 있는 현황은 아래 표와 같다.



표 2. Cases of dam redevelopment in which the existing dam was submerged (2009, JCOLD)

Name of new dam (Dam type, Dam height)	Name of old dam (Dam type, Dam height)	Year of completion of old dam	New dam completion	Dam owner
Aseishgawa Dam (PG, 91m)	Okiura Dam (PG, 40m)	1945	1988	Old dam: Aomori Pref. New dam: MLIT
Isawa Dam (ER, 132m)	Ishibuchi Dam (CFRD, 53m)	1953	Under construction (Completion scheduled for 2013)	Old dam: MLIT New dam: MLIT
Nagai Dam (PG, 125.5m)	Kanno Dam (PG, 44.5m)	1953	Under construction (Completion scheduled for 2010)	Old dam: Yamagata Pref. New dam: MLIT
Yubari Shuparo Dam (PG, 170.6m)	Oyubari Dam (PG, 67.5m)	1962	Under construction (Completion scheduled for 2013)	Old dam: MLIT New dam: MLIT
Tsugaru Dam (PG, 97.2m)	Meya Dam (PG, 58m)	1959	Under construction (Completion scheduled for 2016)	Old dam: MLIT New dam: MLIT

3.2 중국

중국 대담회 대표단은 2008년 5월 중국 쓰촨성의 지진이 발생한지 1주년을 맞이하여 이로 인한 댐의 피해현황 및 대응책을 논하기 위한 특별 세션을 마련하였다. 특별세션에서는 중국, 미국 등 전문가 3인의 주제발표가 있었다. 중국측 발표자는 지진으로 인한 이 지역의 일반적인 피해현황에 대하여 소개하였으며, 미국 발표자는 댐의 피해현황을 조사하여 사진과 함께 발표하였다. 일부 표면차수벽형 댐의 경우 상단 부에서 차수벽 부분의 콘크리트 균열, 취수탑의 균열

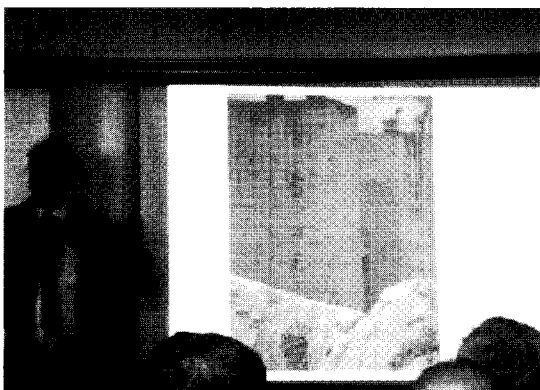


그림 5. 쓰촨성 지진으로 인한 댐 취수탑의 균열모습

등 댐 시설물에 직접적으로 영향을 미친 현황을 조사하여 발표하였다. 그러나 이러한 댐의 균열 등 문제점에도 불구하고 대체적으로 댐의 시설물은 지진에도 안전하다는 결론을 내리고 있었다. 또한, 향후 지속적인 모니터링과 문제점 파악을 위한 연구사업을 지속적으로 추진할 계획이라고 한다. 이를 위하여 재능 있는 중국학생을 선발하여 장학금을 지원하여 미국에서 공부할 수 있도록 하는 계획도 갖고 있다고 하였다. 이렇듯 중국은 지진으로 인한 막대한 피해를 입었으나 이를 댐 기술 발전을 위한 기회로 삼기 위하여 각종 지원과 연구를 추진하고 있음을 알 수 있었다. 우리나라도 이러한 댐과 지진과의 관계와 관련한 연구에 적극적으로 참여함으로써 이 분야의 기술을 습득하고 대비하여야 할 것으로 생각된다.

4. 맺음말

댐건설은 사회적, 환경적인 문제의 야기로 그 동안 기피의 대상이었다. 그러나 댐건설은 국토의 보존과 수자원의 이용 및 에너지 개발을 위하여 없어서는 안 될 존재이기도 하다. 그 동안 우리나라에서는 수많은



다목적댐, 수력발전용댐 및 농업용댐 등을 건설하고 운영·관리를 해왔다. 앞으로는 신규댐을 건설하기는 개발적지의 감소와 환경문제 등으로 인하여 어려울 것으로 예상된다. 따라서, 앞으로의 수자원 확보는 신규 수자원개발과 더불어 기존의 수자원 시설물을 효과적으로 운영·관리함으로써 효율을 높여나가야 할 필요성이 있다고 생각된다. 금번 브라질에서 개최되었던 세계대댐회 연차회의 및 총회에서도 신규댐 건설보다는 기존댐의 재개발과 효율적인 운영·관리에 더 중점을 두고 각국의 기술자들이 그 동안의 연

구성과를 발표하고 토론하는 좋은 자리였다. 필자도 댐운영을 담당했던 이 분야의 기술자로서 금번 세계 대댐회에 참석하게 된 것을 뜻깊게 생각한다. 한편, 금번 회의에서는 한국의 논문제출이 연차회의 마지막 날 있었던 Symposium에만 국한되고 Technical Session에서는 단 한편의 논문도 없었다는 것이 아쉬운 부분이었다. 앞으로는 우리가 고민하고 해결했던 문제들을 적극적으로 발표하고 토론함으로써 우리의 경험을 나누어줄 수 있는 자리가 되었으면 하는 바람이다. ☞

참고문헌

- COLD, 2009, Twenty-Third Congress on Large Dams, Brasilia, Brasil
 JCOLD(Japan Commission on Large Dams), 2009, Current Activities on Dam in Japan(Special Issue on Dam Renovation), Tokyo, Japan