

I. 특집기사 : 북한의 수자원 (3편)

북한 수자원 현황, 문제점 및 협력방향 (이화익 차장, 이동범 이사장, K-water)

북한 주요 댐의 현황 (손민우 교수, 충남대)

북한의 수력발전 (이광만 박사, K-water)

북한의 수력발전



이광만 박사
(Kwater)

1. 북한의 전력개발 정책

북한의 수자원(강하천수) 이용을 한마디로 정의한다면 “수력발전”이라 할 수 있다. 이는 북한의 자력갱생 및 북한식 사회주의 경제를 뒷받침하기 위한 에너지 수급정책의 핵심원이기 때문이다. 사실 북한의 수력에너지 개발은 광적인 수준에 올라있다. 아래 그림은 북한의 국장(emblem)이다. 이 국장의 문항을 살펴보면 태양(김일성 주석 상징), 백두산, 곡식(쌀, 이밥), 수력발전소와 송전선이 도식되어 있다. 이는 북한이 직면하고 있는 문제를 상징적으로 보여주면서 이 문제해결을 위한 의지의 표출이라 볼 수 있다. 즉, 북한이 수력에너지 개발에 얼마나 많은 공을 들이고 있는지를 여실히 보여주는 한 장면이다. 매년 연 초에 발표되는 북한 최고지도자의 신년사에서 수력발전소 건설이 빠진 적이 없으며, 금년에도 김정은 위원장은 북한 최대의 유역변경사업이라 할 수 있는 단천발전소 건설을 독려하였다.

북한의 수력발전이 갖는 의미와 전력공급원의 기본 구조를 이해하기 위해서는 1995년 제정된 “전력법”을 살펴보면 전반적인 사정을 쉽게 알 수 있다. 북한 전력법은 크게 전력시설건설과 전력생산, 전력공급, 교차생산조직과 지휘, 전력이용, 급전지휘 규율과 질서를 규정하고 있다. 이 법에 따르면 북한은 수력발전소 건설을 기본으로 하고 화력발전소와 풍



북한의 국장

력, 지열 및 태양열을 비롯한 다른 여러 가지 에너지 자원에 의거하는 발전소 건설을 조합하도록 하고 있다. 이중 수력발전소는 대규모발전소와 중소규모발전소 건설을 병진하도록 하고 있다. 즉, 북한의 전력공급원은 대규모 수력과 중소규모 수력을 기본으로 하고 화력과 기타 신재생에너지를 개발하여 공급을 맞추는 전략이다. 이는 이미 1960년대에 김일성 주석의 “물이 흐르는 곳에는 발전소를 건설하라”는 선동 구호처럼 왜 북한이 수력발전소 건설에 목매고 있는지 이해할 수 있다.

또한 국가는 발전설비를 정비보강하고 그 이용률을 높여 전력생산을 끊임없이 늘리도록 하며, 인민 경제적 수요에 맞게 질 좋은 전력을 공급하고 교차생산규율을 엄격히 세워 전력을 효과적으로 이용하도록 하고 있다. 여기서 교차생산규율이라는 것은 전력수요자기관, 기업소 및 단체는 교차기관과 교차계약을 맺고 그에 맞게 생산 및 경영활동을 진행하는 것이다. 즉, 전력을 최대한 합리적으로 이용하기 위하여 전력수요자들이 교대 혹은 시간을 엮바꾸어 가면서 진행되는 생산방식이다.

북한은 효과적 수자원 관리를 통한 수력발전 증대를 위하여 높은 수위, 높은 효율로 댐을 운영하도록 하고 있으며, 사수위 아래에서는 발전설비를 운영하지 못하도록 하고 있다. 또한 수력발전소의 수량 확보를 위해 수력발전소로 연결되는 도수터널(물길 굴)에 도중취수시설을 신설, 확장하여 더 많은 물을 모으고 있다. 댐과 도수터널 같은 수력구조물에 대한 점검보수를 정상적으로 진행하여 물의 손실을 최소화하도록 하고 있다. 중앙전력공업지도기관의 승인 없이 수력발전소저수지와 물길의 물을 취수하여 다른 목적에 쓸 수 없으며, 수력발전소, 도수터널 및 저수지의 보호구역 설정하여 관리하고 있다.

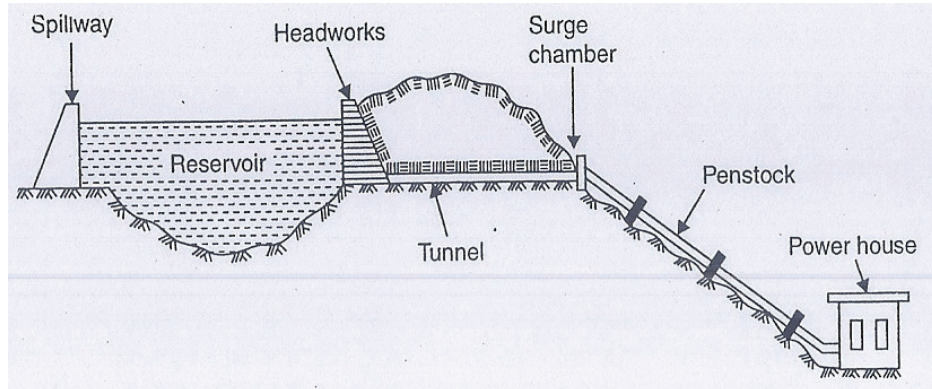
또한 북한은 중앙집권적인 급전지휘체계를 세우고 지역송배전기관의 책임제를 강화하여 전력계통 운영을 통일적으로 지휘하고 있다. 전력공업부문의 과학기술인재양성과 과학연구 사업을 강화하고 현대과학기술의 성과를 적극 받아들여 전력시설을 현대화 및 자동화에 힘쓰고 있다. 주민교육을 통해 전기를 절약하며, 전력 시설물 보호 사업에 자발적으로 참여하도록 하고 있다. 세계 여러 나라, 국제기구들과 전력공업분야에서 과학기술교류와 협조를 발전시키고 국경하천의 공동개발에 의한 수력발전소 건설을 장려하고 있다.

위와 같은 북한의 전력법을 근거로 전력공급정책, 특히 전력개발건설에 중점을 두고 전반을 정리하면, 북한은 현재까지 그래왔듯이 유역변경에 의한 대규모 수력발전소 건설(시설용량 50만kW 이상)에 매진하고 있다. 즉, 물물이체계라 할 수 있는 태천발전소, 희천발전소, 안변청년발전소 및 현재 건설 중인 단천발전소 등이 여기에 속한다. 수력발전소 병진노선의 한축인 중규모발전소 건설로는 창천강, 예성강, 금야강, 어랑천 및 임진강 등 중대하천 유역에 다수의 계단식 발전소와 강계청년, 원산청년 및 원산군민발전소 등 유역변경식을 건설하여 왔다. 이미 1960년대부터 진행된 소규모 발전소의 경우 그 효과에 대한 의문점은 있으나 그 숫자가 수천 개에 이르는 것으로 추정되고 있다.

2. 북한의 수력발전소 건설

1945년 해방 이후 진행된 북한의 강하천수 이용을 위한 수력발전소 건설은 현재도 진행형이다. 다수의 대형수력발전소는 그림과 같이 유역변경식을 계단식으로 형성하고 고낙차를 이용하는 방법을 중점적으로 개발해 왔다. 그러면 북한의 수력발전소 건설에 대한 이력을 연대순으로 간단히 정리하면 다음과 같다.

북한 유역변경식 발전소의 기본 형식



우선 해방 후부터 한국전쟁 이후 1960년까지 상황은 해방 후 일본이 건설 중이었거나 조사, 설계를 완료한 댐을 대상으로 사업을 진행하다 1950년 한국전쟁 중에 많은 댐들이 UN의 폭격으로 인해 손상을 입게 되었다. 이에 대해 북한은 1954년부터 “戰後인민경제복구발전 3개년 계획”을 통해 수풍발전소 6, 7호발전기, 부전강발전소 3호기 복구사업과 허천강발전소 및 장진강발전소 등 주요 시설에 대한 전력생산 정상화 사업을 추진하였다. 이어 제3차 당대회(1956년)를 통해 “인민경제발전 5개년계획(1957~1961)”을 수립하고 전쟁 중에 파괴된 대부분의 전력설비들을 완전히 복구하였다. 이때 어지돈, 리명수 및 동신발전소를 비롯한 800개 이상의 중소형 발전소 건설을 시작하고 강계청년발전소, 장자강발전소 및 장진강5호발전소 등 중대형 발전소의 건설공사도 추진하였다.

60년대에 들어서는 제4차 당대회(1961년)를 통해 “제1차7개년인민경제계획(1961~1967)”을 수립하고 22.4만kW의 강계청년발전소, 50만kW 능력의 평양화력발전소 및 40만kW의 운봉발전소 등 중대형 수·화력발전소 건설공사를 진행하였다. 이 기간에 강원도 통천 2호발전소와 행해남도 청단 1호발전소가 건설되었고, 18개의 중소형 발전소가 가동을 시작하였으며, 송전선과 변전소 개량 사업도 이루어졌다. 이때 지역단위 전력망에 의한 공급정책 일환으로 소규모발전소 건설도 활발하였다.

70년대에는 제5차 당대회(1970년)를 통해 “6개년 인민경제계획(1971~1977)”을 수립하고 두만강 상류 서두수발전소, 대동강 중상류 북창화력발전소 그리고 6월16일화력발전소 건설계획을 수립하여 추진하고 다수의 중소규모 발전소를 건설하여 정상 가동 혹은 부분 가동을 달성하였다. 1978년 “제2차 7개년 인민경제 계획 (1978~1984)”을 수립하여 대동강1호발전소, 서두수 제3호발전소 및 북창화력발전소 14, 15호기를 준공하였다.

80년에 들어서 북한은 조선로동당 제6차 당대회를 통해 “사회주의건설 10대 전망목표”를 발표하였는데 전력 1천억 kWh, 석탄 1억2천만톤, 강철 1천5백만톤, 유색금속 150만톤, 시멘트 2천만톤, 화학비료 700만톤, 직물 15억m, 수산물 500만톤, 알곡 1천5백만톤, 간척지 30만 정보 개발이 주 내용이다. 이들 10대 전망목표는 북한의 자립경제노선에 따른 외부와의 단절로 인해 적절한 국제 협력과 자본조달이 이루어지지 못해 실패하였다. 이 기간 동안 대동강 하류 서해갑문을 완성하였고 청천강 지류인 재령강에 태천발전소 1, 2호기를 완성하였다. 그러나 대부분의 국토개조사업은 성과를 이루지 못하였는데 전력의 경우 2016년 기준 시설용량 7661 MW, 생산량 2390GWh 수준에 머물고 있는 것으로 추정되고 있다.

90년대에는 1987년 “제3차 7개년인민경제계획(1987~1993)”을 통해 계획된 임남댐, 황강댐 및 희천댐 등 2000년 중반 이후 준공된 수력발전소 건설을 추진하였다. 김일성 사후 북한의 고립주의가 심해지고 가뭄 및 홍수 등 자연재해가 더해져 소위 “고난의 행군”이라는 북한정권 최대의 암흑기를 보내게 되었다. 1993년 북한은 “제3차 7개년인민경제계획”실패를 인정하고 이를 극복하기 위해 고난의 행군을 시작하지만 주요 사업들이 지지부진하여 성과를 이루지 못하고 2000년 중후반에 점차적으로 완성하게 되었다.

2000년대 들어서 북한은 중대형 수력발전소를 준공시키고 다수의 새로운 댐 공사에 착수하였다. 이 과정에서 황강댐, 희천댐, 원산수력, 청천강 수력, 금야강 수력 등 최근까지도 북한 전력의 주요 강하천에 계단식 혹은 유역변경식 수력발전소를 지속적으로 건설해 왔다. 얼마 전에는 백두산청년 영웅발전소 1, 2, 3호기가 완성되었고, 황강댐에서 유역변경하는 예성강 2, 3, 4, 5호기가 가동을 시작하였다. 대동강 중상류하천과 함경북도 동해시면 하천에 중소규모발전소 건설이 활발히 진행되어 왔다.

2016년 제7차 당대회를 통해 국가경제발전 5개년 전략을 채택하고 에너지 문제 해결과 인민경제의 자립성, 주체성 강화사업을 전면에 내세웠다. 김정은은 사업총화보고에서 전력문제를 푸는 것은 5개년 전략 수행의 선결조건이며 경제발전과 인민생활향상의 중심고리라 강조하였다. 5개년 전략수행기간 당에서 제시한 전력생산목표를 반드시 점령하고 건설 중에 있는 발전소들의 조업기일을 앞당기고 대규모의 단천발전소를 초단기간에 건설하며 발전설비의 효율성 제고, 국가적 통합 전력관리체계 구성, 송배전망 재건보수도 요구하였다. 현재는 전력문제를 해결을 위해 기존 발전소를 정비보강하고 만부하로 돌려 전력생산을 최대화하며, 발전능력을 새로 더 조성하고 자연 에너지를 적극 이용하여 심각한 전력문제를 해결하자는 취지의 정책노선이 진행되고 있다.

북한의 2000년 이후
건설된 수력발전소 현황

지역	2000년 이후 완공 발전소
자강도	<ul style="list-style-type: none"> - 2000년까지 400여곳 발전소에서 5만6천kW(개당 평균 140 kW) - 2002년 7,700kW 조성 완료: 장자강 5호발전소(강계시), 창평발전소(진천군), 전천탄광발전소, 호래발전소(자성군), 송관발전소(송원군), 후지발전소(용림군), 상평발전소(우시군), 화평군민발전소(화평군), 북한 4.5호(계단식) - 2005년 이후중소규모 100여개(10만kW): 홍주청년 2호, 귀인발전소(자성군), 의진발전소(강계군), 연주발전소(강계군), 연하발전소(만포시), 자성발전소(자성군), 중상발전소(중강군), 장백발전소(화평군), 용탄발전소(위원군), 고평 3호(고풍군), 장강군 6호발전소, 동진발전소, 삼수발전소 - 고부, 나흥천, 연하, 유중, 초산, 하창, 홍주발전소 등 - 용림댐 (희천1발전소 용수원), 희천 1, 2호 발전소
양강도	<ul style="list-style-type: none"> - 2002년 7개 중소형 완공 - 2004년 군민발전소 완공 - 리명수 9, 11, 12호 발전소(삼지연군), 농산발전소, 6.18발전소, 백암발전소(백암군) - 삼수발전소, 백두산청년 1, 2, 3호 발전소
함경북도	<ul style="list-style-type: none"> - 청진시 수성천에 10여개 건설 - 2004년 오봉산발전소(무산군) 완공 - 어량천발전소(7.3만kW) - 흥암, 북청강 7~12호 발전소
함경남도	<ul style="list-style-type: none"> - 2000년대 초반 홍봉발전소(함주군), 금진강 6호청년발전소(정평군), 단천청년발전소, 신성철도발전소 완공 - 금야강발전소(13.5 kW) - 덕지강 2, 5, 10호, 성천, 장흥, 추상, 황곡 등
평안북도	<ul style="list-style-type: none"> - 60여개의 중소형발전소 가동중 - 근년에 노현발전소, 운흥발전소, 은흥청년발전소(중형급) 완공 - 태천발전소(2호기 확장, 3-5호기 건설중, 완공시 총 81만 kW의 대응량) - 청천강 계단식 중소규모 10여기
평안남도	<ul style="list-style-type: none"> - 근년에 평원 1, 2, 3호, 성룡강 청년 1호발전소, 임진강 4월 5일 3호 및 4호 발전소, 상원군민발전소(평양시) 완공 - 청천강 계단식 - 대동강2호, 대흥청년1호
황해북도	<ul style="list-style-type: none"> - 275개(12만 7,390 kW) 건설 목표 가운데 152개(1만 5,638 kW) 완공 - 개성시에 심탄수력, 선적발전소, 송도 1호, 2호 발전소 가동중 - 근년에 풍담발전소 완공 - 예성강발전소(10만kW), 신평유발전소(3천kW), 연탄호발전소(1,400 kW), 은파호발전소(5,200 kW), 서흥강에 100-150 kW급 - 수안, 연산
황해남도	<ul style="list-style-type: none"> - 청단 1호, 2호, 3호, 4호 발전소, 구암 발전소 등 가동중 - 웅진군에 조수력발전소 - 예성강6호, 장안
강원도	<ul style="list-style-type: none"> - 원산청년 1, 2호 발전소(대형) - 8개 발전소: 건설중죽근3호발전소(고산군), 철원발전소(철원군), 신림 1호발전소(통천군), 용탄발전소(문천시), 금평1호발전소(판교군), 임진강 2호발전소(이천군), 포천 3호발전소(회양군) - 원산군민 1~4호 발전소

3. 북한의 수력발전소 건설의 문제와 한계

현재 북한의 수력발전 시설용량은 600~700만kW이상(최근 준공 및 자료에서 누락된 것을 포함하면 그 이상)으로 추정되고 있다. 이중 30%정도가 일제 강점기에 건설된 것으로 대부분 노후화가 심각한 것으로 알려지고 있다. 신규로 건설된 발전소의 경우도 수량 및 설비부족 등으로 정상가동이 이루어지지 못하고 있으며, 전체적으로 가동률은 30% 수준으로 평가되고 있다. 서방 컨설팅업체들이 수행한 북한 수력발전소 현대화 보고서 등에 따르면 대부분의 발전소는 전면적 개·보수가 필요하며 부분적 개·보수를 통해 효율향상이 필요한 것으로 진단하였다. 2000년대 이후 건설된 중·대형 수력발전소의 경우 개괄적으로 양호한 것으로 판단되고 있으나 소형발전소는 운영상 여러 가지 문제점에 노출되어 있다. 주요 문제점은 하천유량 감소, 홍수피해, 불규칙적 가동, 전력망 연계 시스템 등이다.

전반적으로 핵심적인 발전설비들의 경우 비교적 양호하게 관리되어 왔지만 구형 설비들이 여전히 광범위하게 사용되고 있어 전면적 개·보수가 필요하다. 이들 설비들은 발전소 가동중단 위험, 전력공급상의 문제 등이 증가하고 있는데 특히 변압기나 전기 개폐장치 등에 낡은 제품이 많은 것으로 알려졌다. 특히 회전부품 및 부속설비는 대부분 매우 오래된 구형 일본제품으로 최소한의 유지·보수를 거쳐 사용되고 있다. 터빈은 장기사용에 따른 노후화로 효율성이 떨어지고 있으며, 일부 설비는 물이 새는 수준으로 평가되고 있어 비용이 들더라도 노후터빈을 교체하여 캐비테이션 문제 제거가 필요한 것으로 진단하였다.

구조물의 경우 수로터널 내부의 침·부식현상은 마찰 손실을 크게 하여 결국 시설의 안전성을 감소시키는 결과로 연결되고 있어 터널 안전점검 및 개·보수 역시 시급한 것으로 알려졌다. 하나의 예로, 대동강 수력발전소의 경우 콘크리트중력식 댐으로 외관상 견고하고 양호한 상태이나 장비의 노후화로 댐 모니터링이 제대로 이루어지지 못하고 있으며 부정확한 시공으로 터빈저효율(79%)과 심각한 캐비테이션 현상이 발생하고 있어 2개의 터빈교체가 필요한 것으로 평가되었다. 따라서 발전(수력 및 화력)설비 노후화 및 시공불량으로 인해 효율이 급감하고 송배전시스템의 노후화 및 계통망 부족으로 인한 손실피해 역시 큰 것으로 알려지고 있다. 이는 전력공급 정상화를 위해서는 발전생산설비 개·보수뿐만 아니라 전력망 현대화는 미룰 수 없는 북한정권의 최대 과제가 되었다.

3. 북한의 수력발전소 개발 전망

앞에서 살펴보았듯이 북한의 전력원은 수력을 기본으로 하고 있다. 이와 같은 기조는 북한체제가 획기적으로 변하지 않는 한 큰 변화가 없을 것으로 예상된다. 수력발전소 건설은 이미 많은 지역에서 대대적으로 진행되어 왔기에 장래 얼마의 수요가 더 발생할지 구체적인 예측은 어렵다. 다만 현재의 에너지 정책이 유지된다는 가정하에서는 가능한 대규모수력발전소를 추구하고 중소규모발전소 건설을 병진할 것은 자명하며, 기존 노후시설 개·보수를 통한 전력생산효율증대를 도모할 것으로 예상된다.

이런 관점에서 예상해 볼 수 있는 향후 수력발전사업은 대동강, 압록강, 청천강 주운, 물물이식 단천발전소 건설, 두만강 분류 및 유역변경식 발전소 건설, 중소규모발전소 건설 지속 그리고 대동

강-금야강 주운수로 연결 사업 등이다. 이중 일부는 이미 완성되었거나 혹은 건설 중에 있다. 사실 북한의 수력발전소 건설은 단일 사업을 목표로 하는 것이 아니라 유역과 유역, 상류와 하류, 발전 용수와 관개 등과의 연계성을 중시하고 있어 앞으로도 국토개조사업의 전체 계획을 완성하기 위한 정책들이 지속적으로 추진될 것이다.

이중 관심을 돌만한 사업은 두만강 본류에 중국과의 합작으로 건설이 예상되는 4개 정도의 수력 발전소 건설이다. 중상류에 대형발전소 1곳과 중하류 3개의 중소규모 시설이 예상된다. 혹은 함경 북도를 중심으로 하는 두만강지류에 저류지용 댐을 건설하고 청진의 수성천 등으로 유역 변경하는 방안이다. 물물이식 단천발전소는 이미 착공되어 30여 곳에서 댐과 터널굴착공사가 진행 중이다. 주 도수터널길이는 100km에 이르며 하천수를 모으기 위한 도중취수터널까지 고려하면 160km이상으로 알려져 있다. 건설자재 및 인력부족으로 어려움을 겪고 있는 것으로 알려지고 있다.

강 주운사업은 대동강에 4개의 갑문을 설치한 이후 큰 진전은 없으나 청천강에 이미 10개 이상의 댐이 건설되어 있고 압록강의 경우도 상류에 댐이 들어설 경우 해산까지 물길 조성이 가능한 것으로 여겨진다. 북한이 건설한 많은 수의 수력발전소는 Diversion (Run-of-River)형식이다. 대동강 중상류에 이와 같은 형식이 확인되고 있으나 주운과의 연계성은 알 수 없다. 김일성의 유훈이라 할 수 있는 대동강과 금야강 연결수로는 백두대간을 통과하여 동과 서를 연결하는 구상으로 경제적 타당성과 기술적 가능성에 대한 심도 있는 조사가 필요할 것으로 예상된다.

북한의 수력댐은 수력발전 단일목적의 유역변경용 댐(임남댐, 구룡댐, 용림댐 등)이나 유역변경식 발전소(태천1호, 희천1호, 백두산영웅청년1호 등) 그리고 계단식발전소(청천강, 예성강, 임진강 등) 등이 많은 부분을 차지하고 있으나 다목적 사업을 추구하는 경우도 많이 있다. 2015년에 준공된 원산군민발전소는 임진강의 물을 유역변경하여 530m의 낙차이점을 극대화하기 위해 4개의 발전소를 건설하고 원산시 음용수 공급 및 관개용수를 공급하는 사업이다. 금진강 수력발전소의 경우 1995년 대홍수와 1997년 극대기물을 겪으면서 함경남도 19개 연합체가 금진강댐을 건설하고 중규모 수력발전설비를 설치하는 다목적 사업으로 진행되었다. 따라서 통합 물 이용관리 측면에서 심도 있는 검토가 요구되며, 특히 서해사면구의 농업용수공급과 관련된 관개체계의 검토도 필요하다. 노후전력시설의 현대화 사업은 최 우선과제라 할 수 있으며, 송전손실을 줄이기 위한 전력망계통의 재배치 및 승압 등의 조치가 필요하다. 터널굴착장비 및 시공 장비의 공급, 공정관리, 안전관리, 인력계획 등 건설공사 전반의 모든 해당 사항들을 재평가하고 적절한 대책마련이 매우 시급한 과제이다.

김정일 위원장이 희천발전소 누수에 대노하여 심장마비로 사망했다는 설이나 지난 7월 김정은 위원장이 함경북도 시찰 중 어랑천발전소 건설현장에서 17년이 지나도록 공사가 완공되지 못하는 실태에 대해 "말이 안 나온다"고 버럭 화를 냈다는 보도가 있었다. 이렇듯 북한의 수력발전소 건설은 북한의 핵경제병진노선을 지켜줄 생명줄로 여긴다. 이 때문에 무리한 댐 및 도수터널공사 중에 인명피해가 크게 발생하고 있는 것으로 알려지고 있다. 임남댐 도수터널공사에서 400명이 희생되

었다는 설이 있으며, 백두산청년영웅발전소 공사에서도 다수가 희생되었다 한다. 1980년에 김일성 주석이 건설을 시도하였으나 서해갑문건설에 집중하기 위하여 포기하고 손자대에 이르러 시도되고 있는 단천발전소 현장에서도 삽과 망치로 무장한 돌격대의 희생이 상당하다는 얘기가 흘러나오고 있다.

단천발전소 착공식 장면
(2017년 5월 17일)





II. 학술 · 기술기사 (6편)

- ① 수질-수량 연계 강화를 위한 댐-보 운영 고도화 방안 (김현식 차장, K-water)
- ② 불확실성 증가에 따른 댐 · 저수지 위험도 평가 (임정열 수석연구원, K-water)
- ③ 콜롬비아 이투앙고 댐 건설 중 수재해 위험 사례 (김남룡 책임연구원, K-water)
- ④ 『내진설계기준 공통적용사항』 제정에 따른 『댐 내진설계기준』 개정 (유진권 선임연구원, 김선욱 차장, 오병동 차장, 양승인 차장, K-water)
- ⑤ 내진설계기준 강화에 따른 댐 내진안정성 평가 (조성배 선임연구원, 김태민 선임연구원, 김남룡 책임연구원, K-water)
- ⑥ 파키스탄 Patrind 수력발전사업 소개 (임경희 차장, K-water)

