

수력발전소 설비의 변천과 전망

일본의 수력발전소는 국산에너지의 주력산업으로 콜린하며 또한 재생가능한 에너지로서 수백kW의 소수력에서 500MVA급의 대용량 양수까지, 여러 목적에 맞는 역할을 다하고 있다. 특히 양수발전소는 전력계통의 부하 평활화라는 중책을 담당하고 있으며, 앞으로 전력수요의 증가에 따라 더욱더 그 중요도는 증가할 것이다.

미쓰비시電機의 양수발전소의 단위용량은 1990년대 전반까지는 367MVA(도쿄電力 新高瀨川)가 최대였으나 '98년 운전개시한 간사이電力 奥多多良木の 400MVA, 2000년 운전개시한 국내최대용량의 도쿄電力 葛野川の 475MVA로 최근 대용량화가 진전되어 그 대용량기술의 진보는 크게 주목을 받고 있다. 또 주기(主機)의 회전속도에 있어서도 400min⁻¹급에서 500min⁻¹로, “보다 더 고속대용량화” 시대에 돌입하였다고 할 수 있다.

또한 수력발전소는 일찍부터 일인화(一人化)·무인화(無人化)에 의한 감시제어의 자동화·성력화(省力化)가 추진되어 왔다. '50년대의 일인화제어를 거쳐 '60년대에는 원방감시제어화에 의해 완전자동화·무인화를 실현하였다. 그 후에도 디지털기술의 응용에 의하여 감시제어장치의 고기능화가 진전되고 또 보호도 포함한 토탈디지털시스템도 구축되어 있다.

또한 중소수력발전소에 대하여는 종래 분산시스템이었던 시퀀서/거버너/AVR을 1CPU로 실현한 일체형배전반이 차후의 중소 수력제어장치의 주력기종이 되고 특히 범용컨트롤러를 적용한 시스템도 실용화되어 가고 있다.

본고에서는 최근의 수차(水車), 발전기의 고속·대용량화를 중심으로 한 동향과 감시제어시스템의 기술동향을 소개함과 동시에 앞으로의 전망에 대하여 기술하고자 한다.

1. 머리말

전술한 바와 같이 펌프수차(水車)와 발전전동기는 이전보다 더 “고속 대용량화”시대에 돌입하고 있으며 또 낙차도 세계 최고인 700m급에 달하고 있다. 플랜트의 감시제어는 디지털기술의 진보에 의해 고기능화되었으나 한편으로는 코스트다운을 겨냥한 기능의 간소화·집약화도 진전되고 있다. 또한 보호기능에 있어서도 하드웨어에서 소프트웨어로 이행되고 있으며 특히 감시기능을 충실

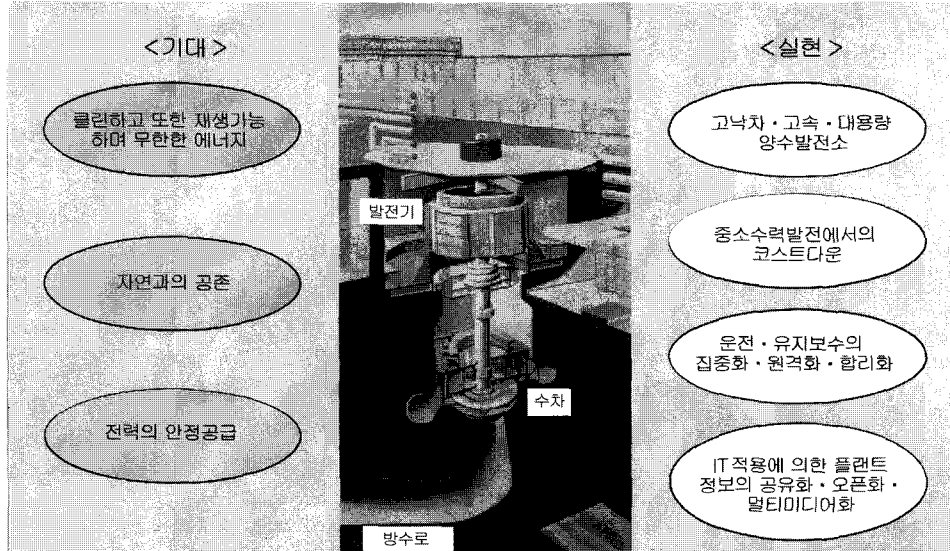
하게 하고 있다.

본고에서는 펌프수차, 발전전동기의 변천과 감시제어 기술의 동향을 구체적인 예와 함께 소개하기로 한다.

2. 發電機 技術 변천

가. 發電電動機의 단위용량의 추이와 기술의 진전

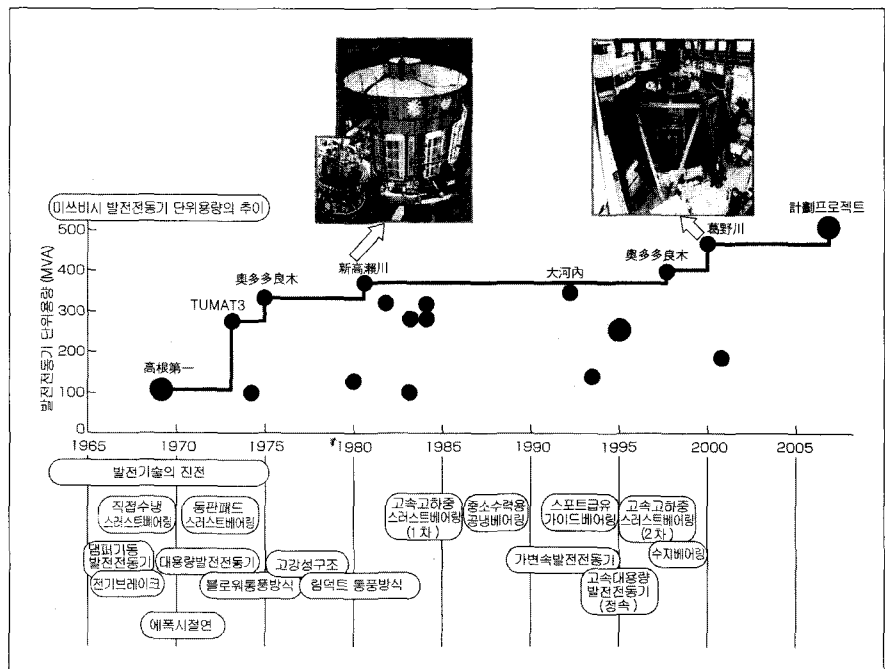
미쓰비시電機의 발전전동기 단위용량 추이를 그림 1에



<수력발전소의 기대와 실현>

수력발전소는 클린하며 또한 무진장한 에너지원이며, 자연과의 공존, 전력안정공급에의 공헌 등 지구환경과 에너지문제의 밸런스에 대한 기대가 크다. 그것들을 실현하기 위하여 대용량 양수발전에서 중소수력까지 여러 가지의 니즈와 목적에 맞는 시스템을 제공함과 동시에 수력발전업무의 합리화, 코스트다운, 나아가서는 최신기술을 적용한 시스템의 고도화 등을 실현하지 않으면 안된다.

표시한다. 1975년에 운전개시한 간사이電力の 奥多多良木 양수발전소에 300MVA급의 발전전동기를 납품하였으며 그후 2000년 운전개시한 도쿄電力 葛野川 양수발전소에 납품한 475MVA까지 용량적으로는 300~400MVA급이 주류를 이루고 있다. 또 발전전동기의 설계난이도를 나타내는 지표로서 “용량×회전속도”가 사용되고 있는데, 葛野川 237,500MVA×min⁻¹은 중전의 실적을 크게 상회하는 세계최대급의 기록품이다. 발전기기술도 통풍, 스톱스트베



<그림 1> 미쓰비시 발전전동기의 단위용량추이와 기술의 진전

어링, 강성(剛性)구조 등의 성능 향상을 위한 검증·해석 경험을 축적하여 葛野川의 용량×회전속도를 상회하는 발전전동기의 설계·제작을 위해 TEHD(열유체유탄) 이론에 의한 스트레스베어링 해석, FEM(유한요소법)에 의한 구조물 강성해석과 회전부강도 검토를 하고 있다.

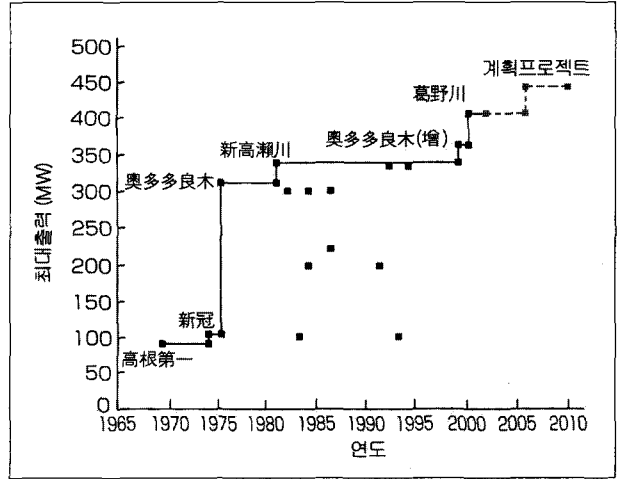
나. 新技術 적용에 의한 發電機仕様の 간소화

중소용량의 발전기에 대해서도 신기술의 적용에 의한 발전기 사양의 간소화·소형화, 유지보수성/경제성의 향상 등을 적극적으로 제안하고 있다. 특히 수지(樹脂)베어링에 대해서는 베어링 손실의 감소, 기동토크의 경감, 장수명화 등 발전전동기도 포함하여 금후의 스트레스베어링의 주류가 될 것으로 기대한다. 특히 수지베어링은 베어링 손실의 저감, 스트레스 스프링은 하중조정작업의 간소화, 리플 스프링은 유지보수·점검주기의 연장이라는 메리트가 있다.

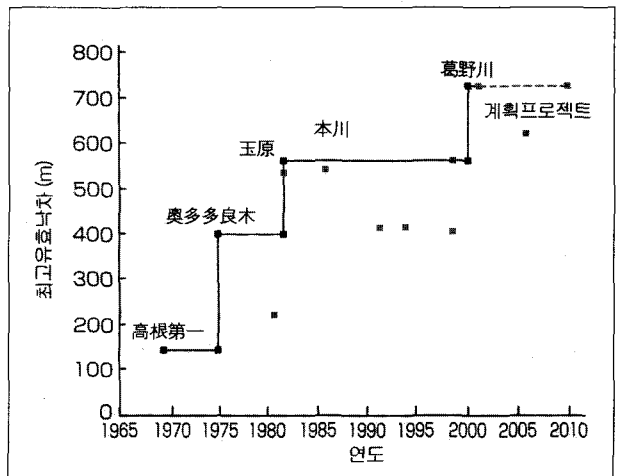
3. 水車技術의 변천

가. 高落差·大容量化의 추이와 기술 변천

미쓰비시의 펌프수차(水車)는 제1호기를 '69년 주부 전력(주) 高根제1발전소에 납품하였는데 낙차는 150m 이하였다. 그후 '75년에는 간사이電力(주) 奥多多良木 발전소에 낙차 400m급의 펌프수차를 납품하였고 '82년에는 당시 일본 최대용량 및 최고낙차인 펌프수차를 각각 도쿄電力의 新高瀨川발전소와 玉原발전소에 납품하였다. 이후 500~600m급의 낙차인 양수발전소의 실적을 거쳐 2000년 6월에 세계최고낙차인 700m초급(超級) 펌프수차를 납입한 도쿄電力 葛野川발전소가 운전개시하였다. 또 '75년 운전개시한 奥多多良木발전소 이후 단기(單機)출력 300~400MW급의 펌프수차를 납품, 전술한 葛野川이 412MW로 일본 최고 출력에 이르고 있다.



〈그림 2〉 미쓰비시 수차의 최대출력 추이



〈그림 3〉 미쓰비시 수차의 최고낙차 추이

이들의 변천을 그림 2 및 그림 3에 표시한다. 이들 실적은 주조(鑄造)결함이 없는 러너제조기술과 유동(流動)해석 기술에 의한 수압맥동(水壓脈動) 캐비테이션특성 개선의 성과이다. 특히 FEM에 의한 강성(剛性)평가기술, 러너고유진동특성 해석기술 등을 구사하여 진동이나 러너응력을 저감하여 고낙차·대용량 펌프수차의 기술을

확립하였다.

나. 성능 향상을 위한 新러너의 개발

미쓰비시重工業은 펌프수차의 고효율화, 운전범위의 확대, 수압맥동 저감, 러너진동응력 저감을 목표로 새로운 콘셉트설계를 적용한 스플리터베인부착 러너를 개발하였으며 이들의 성능 모형시험을 실시하여 종전설계의 러너로부터의 성능개선을 확인하였다. 이 스플리터부착 러너는 고효율화, 운전범위의 확대와 함께 실기(實機) 운전특성상 중요한 포인트가 되는 수압맥동의 저감과 러너진동응력 저감 등에 유효하다는 것이 검증되었으므로 차후 보다더 고낙차·대용량의 펌프수차의 실현이 가능하게 되었다. 또 일반수력에의 적용도 가능한 것은 말할 필요도 없다.

다. 豫防保全工事에의 新技術 적용

경제성과 유지보수성의 향상을 지향하여 기설수차에 대해서도 기기본체의 구조의 간소화, 수(水)/오일레스화의 대처가 진행되고 있다. 주된 것으로는 카프랑수차, 소용량 데리어수차에의 전동 서보모터의 적용, 세라믹을 사용하여 급수를 생략한 세라믹봉축장치(封軸裝置) 등이 있다. 어느것이나 보기(補機)의 간소화를 실현할 수 있어 유지보수성의 향상, 러닝코스트의 저감을 도모하게 되어 있다.

4. 監視·制御·保護시스템

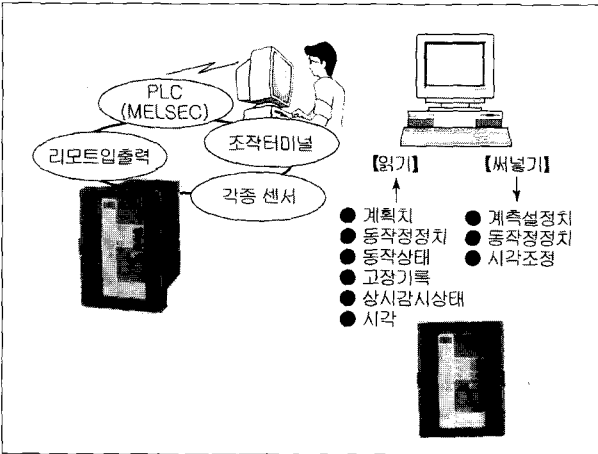
수력발전소의 감시제어시스템은 '70년대에 들어 디지털장치가 도입되었으며 처음에는 시퀀스컨트롤 및 2차조정장치를 적용하는데 한계가 있었다. 그후 하드웨어, 소프트웨어의 기술진보에 따라 거버너와 AVR 등의 1차조정장치 및 보호릴레이에 그 적용이 확대되었다. 현재는

모든 감시·제어·보호기능에 디지털장치를 적용하고 있다고 하여도 과언이 아니다.

최근에는 중소수력에의 일체형배전반의 적용이 일반화 되어 있으며, 동사도 '99년도에 개수공사 1건을 포함한 7개공사에서 모두 8세트를 출하하여 현재 순조롭게 가동하고 있다. 또 텔레컴과는 별도로 전력소의 퍼스컴을 사용하여 플랜트의 운전상태를 감시할 수 있는 "유지보수 지원시스템"을 일체형배전반과 조합하여 제품화하였다. 이것은 발전소에 서버를 설치하여 제어장치로부터 수집한 데이터를 전력소나 제어소 등에서 열람할 수 있는 것으로, 고장발생시에는 현장으로부터 원격지에 있으면서 지금까지 이상으로 정확한 판단을 할 수 있게 된다. 앞으로 이와 같은 시스템에 대한 수요가 신장될 것으로 생각된다. 보호릴레이에 대하여는 현세대의 디지털릴레이를 베이스로 유지보수성·조작성을 향상시킨 차세대 디지털 보호릴레이의 제품화를 2000년도에 완료시킬 예정이다. 이 디지털보호릴레이에는 전력규격 B-402에 의거한 MELPROTM-CHARGE와 약간 사양을 간소화한 MELPRO-DASH의 2가지 시리즈가 있으며 해외도 포함하여 대용량플랜트에서부터 중소플랜트까지 적용을 도모해나갈 계획이다. 이 차세대 디지털릴레이는 범용퍼스컴을 사용한 원격감시가 가능하며 고객니즈에 맞춘 유지보수시스템을 제안할 수 있다(그림 4 참조).

5. 電力系統에의 寄與

근래, 전원의 원거리화·집중화에 의해 장거리대전력의 안정된 송전이 중요한 문제로 되어 있다. 특히 수용가로부터 원격지에 있는 수력발전소는 송전전압의 유지가 불가결하다. 동사는 이 "송전전압의 유지"를 목적으로 여자장치에 그 기능을 넣을 수 있는 고압측 전압제어방식을 개발하고 있으며 디지털AVR의 옵션기능으로서 대단히



〈그림 4〉 차세대 디지털릴레이의 원격감시 이미지

유효하다.

한편 발전소, 특히 여러 발전기가 있는 양수발전소에서는 발전전동기나 여자장치 등의 전기계의 거동(舉動)뿐만 아니라 펌프수차, 수로계 등의 기계계의 거동이 전력계통에 미치는 영향은 무시할 수 없다. 이들의 문제를 해결하기 위하여 연구소와 협력하여 펌프수차, 수로계, 발전전동기, 여자장치(가변속시스템을 포함) 및 전력계통의 모든 것을 상세하게 모의한 순시치 베이스의 해석프로그램을 개발하였다. 이 플랜트 종합해석·검증시스템에 의하여 종전에는 불가능하였던 전기계·기계계 전체의 상세한 해석이 가능하게 되었을 뿐만 아니라 그 결과를 제어/보호장치에 반영시킴으로써 실기(實機)의 품질향상을 기대할 수 있게 되었다.

6. 輸送·設置공사

기기의 수송·설치공사에 있어서도 기술의 전승과 품질의 확보를 도모하면서 합리화, 코스트다운이 요구되고 있다. 지금까지는 기기의 설계와 수송·설치공사는 독립된 것으로 생각하여 왔다. 그러나 수송·설치공사의 합리

화대책으로서 공구·공법의 개발을 생각할 때 이들은 기구조의 개량과 상호관련되어 있어, 결과적으로 기기설계부문과 공사부문이 협력하여 이 합리화에 대처하지 않으면 안된다. 동사에서는 발전전동기의 주요 증량부품에 대하여 기기제작과 수송·설치의 토탈코스트가 최소로 되는 기기분할을 실현함과 동시에 로터폴 삽입시의 다브테일 키 타입기(打込機)의 개발, 하부브래킷과 베이스의 일체화에 의한 블록화공법의 채용 등으로 수송·설치공사의 합리화를 실현하였다. 앞으로도 수력플랜트공사의 품질확보와 보다더한 합리화를 위해 기기제작부문과 공사부문의 연대를 추진해갈 필요가 있다.

7. 맺음말

이상 수력발전설비의 변천과 앞으로의 전망에 대하여 기술하였는데, 화력·원자력이 주류인 시대에 클린하고 또한 무진장한 수력에너지는 인류로서 결코 끊을 수 없는 에너지원이다. 수력발전사업분야에 종사하는 사람으로서 이 “환경”과 “에너지”의 밸런스는 일본국내만의 문제가 아니라 범 세계적으로 대처하여야 할 문제임과 동시에 수력발전시스템은 21세기에 계속되어야 할 중요한 우리의 재산이라고 생각한다. 수력사업의 확대·발전을 위하여 앞으로도 최신기술을 도입하여 안정되고 또한 저렴한 전력의 공급을 위해 노력할 생각이다. □

이 원고는 일본 三菱電機技報에서 번역, 전재한 것입니다. 본고의 저작권은 三菱電機(株)에 있고 번역책임은 대한전기협회에 있습니다.