

삼천포 해양소수력 성능평가

조 홍연¹⁾, 조 범준²⁾, 강 금석³⁾

Performance Evaluation of the Samcheonpo Small-Hydro Power Plant

Hongyeon Cho, Beomjun Cho, Geumseok Kang

Key words : performance evaluation, efficiency analysis, small hydro power plant, Samcheonpo

Abstract : The performance evaluation of the Samcheonpo small-hydropower plant constructed on the October 25th, 2006, was carried out focused on the turbine and generator efficiency analysis by using the measurement data. The unreasonable and unrealistic efficiency results are occurred in some periods because of the data variability, uncertainty, and measurement errors and mistakes. Whereas, the big mismatch is the tidal elevation predicted in the design processes. The difference between the measured and estimated tidal elevation is obvious during the low water period. It should be considered and checked in depth on the efficiency analysis of the planned and constructing small-hydro power plants in other coastal areas.

1. 서론

화력발전소의 냉각수를 이용한 삼천포 해양소수력 발전소는 우리나라에서 최초로 2006년 건설되어 시범운영중이다(경상남도 고성군 하이면, 삼천포 화력발전소 방류수로와 방류해역이 만나는 지점, 3,000kW급). 해양 소수력 발전소의 효율은 수량과 유효 낙차의 영향을 직접적으로 받기 때문에 효율분석을 위한 입력 자료를 관측하여 삼천포 해양소수력 발전시설의 효율평가(성능평가)를 수행하고, 설계과정에서 예측한 내용과 다른 사항 및 효율분석과정에서의 어려운 점 등을 검토하여 향후 계획 또는 건설중인 유사한 해양 소수력 발전시설의 성능평가 및 설계지원을 위하여 본 연구를 수행하였다.

2. 해양소수력 발전효율

2.1 발전량 산정이론

삼천포 화력발전소 방류수로 하류지역에 건설되는 해양소수력 발전시설의 성능평가는 발전소의 성능, 즉 발전출력에 의하여 결정된다고 할 수 있다. 계획-설계과정에서 발전출력을 산정하는 식은 다음과 같다(한국남동발전(주), 2005).

$$P = 9.8 \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot \rho \cdot Q \cdot E$$

여기서, P 는 발전출력(kW), η_T 는 수차발전효율, η_G 는 발전기 효율, ρ 는 해수밀도(1.025 Ton/m³), Q 는 사용수량으로 정격유량 또는 실측유량(m³/s), E 는 유효낙차로 발전소 내측 수위와 외측 조위의 차이에 해당된다. 발전효율은 수차발전효율과 발전기 효율을 합하여 통합효율($\eta_T \eta_G$)로 0.82를 설계조건에서 이용하였다. 설계과정에서는 유효낙차를 평균 유효낙차자료를 이용하였으며, 월별 유량변화에 따른 댐 상류수위를 고려하여 월별 유효낙차를 산정하여 발전량을 산출하였다.

2.2 시범운영자료를 이용한 성능평가

해양소수력 발전소가 준공시기를 전후로 하여 시험운영(시운전)한 자료를 (주)남동발전으로부터 제공받아 해양소수력 발전효율 성능평가를 분석하였다. 발전효율 성능평가를 위한 시운전자료는 제1차, 제2차 시험운영으로 구분되며, 제1차 시운전시기는 2006년 10월 4일부터 10월 13일까지이며, 제2차 시운전기간은 2006년 11월 2일부터 11월 16일까지의 기간이다. 시운전을 담당한 현장에서 제1차 시운전 기간의 유량자료는 신뢰할 수 없다는 언급이 있어서, 제1차 시운전 자료는 참고적으로만 제시하고 발전효율 분석은 제2차 시운전자료를 중심으로 분석하였다. 시운전자료는 EXCEL-2000 파일로 제공되었으며, 각 SHEET에 1시간 간격으로 일일자료가 정리되어 있다. 본 분석에서는 분석의 효율을 위하여 일별자료를 1시간

간격의 연속 시계열자료(time-series data)로 형식을 변형하여 발전량변화, 수위변화, 유량변화, 발전효율 변화 등을 다각적으로 분석하였다.

가장 우선적으로 검토한 항목은 시운전을 수행한 현장에서 제1차 시운전자료중에서 신뢰할 수 없다는 유량자료이다. 제1차 시운전 기간의 내측 수위변화를 보면 3.6~3.7m 범위내의 10cm 범위의 변동으로 한정되어 있는 바, 수위와 유량의 일반적인 관계에 비추어 보면 유량변화도 미미한 정도로 제한되는 것이 타당하나, 제공된 자료의 변화 범위를 보면 매우 불량함을 알 수 있다. 한편, 제2차 시운전 기간의 내측수위 3.6(m)를 상회하는 수위에서 유량이 56~60(cms) 정도로 변화하는 것을 보면, 제1차 시운전 후반기의 40(m³/s) 수준의 유량도 신뢰할 수 없는 수준으로 판단된다. 본 연구에서는 제2차 시운전 기간자료 및 성능평가 결과만을 제시하였다(Fig.1~5 참조).

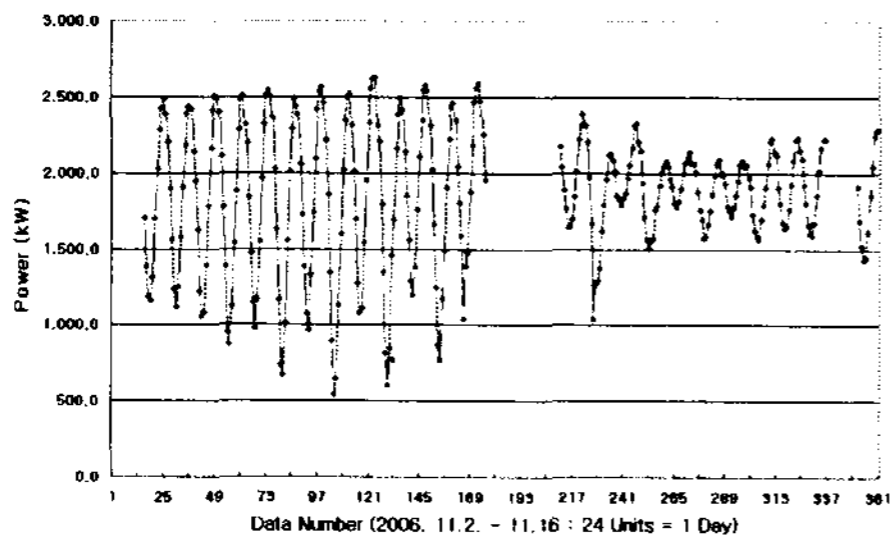


Fig. 1 Power change(2nd the test ryn period)

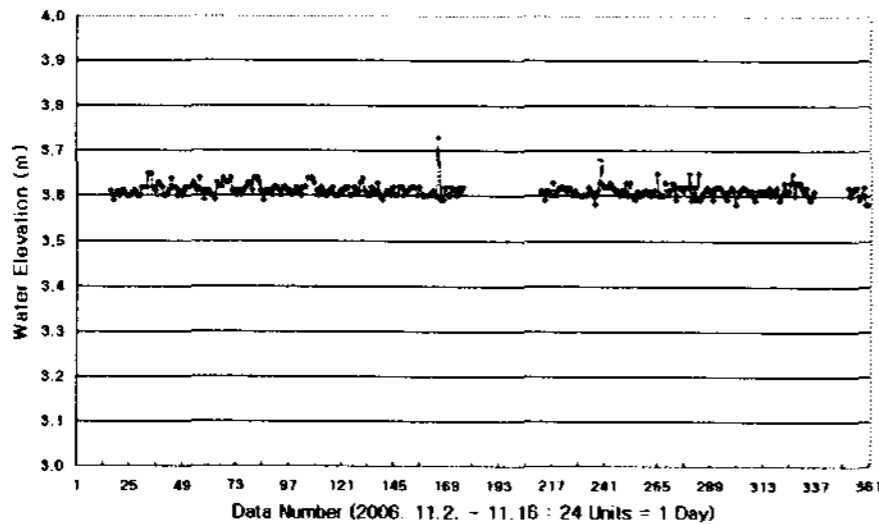


Fig. 2 Water elevation change patterns

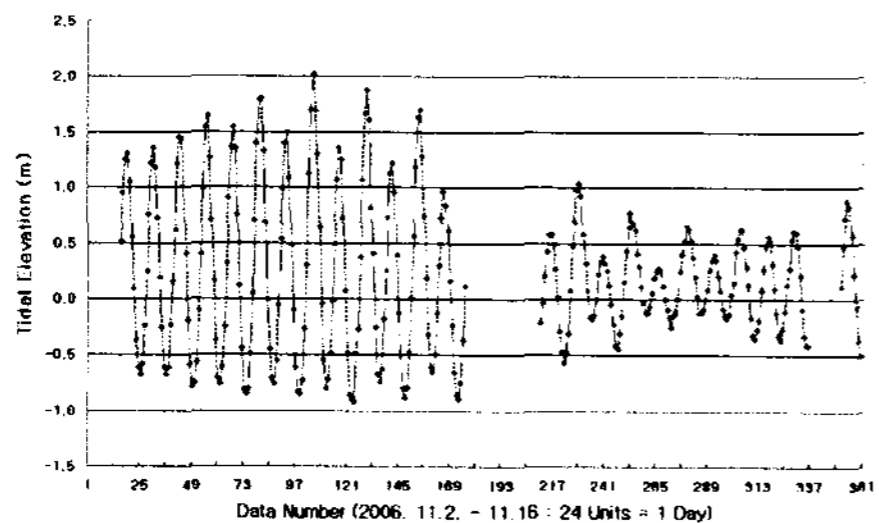


Fig. 3 Tidal elevation change patterns

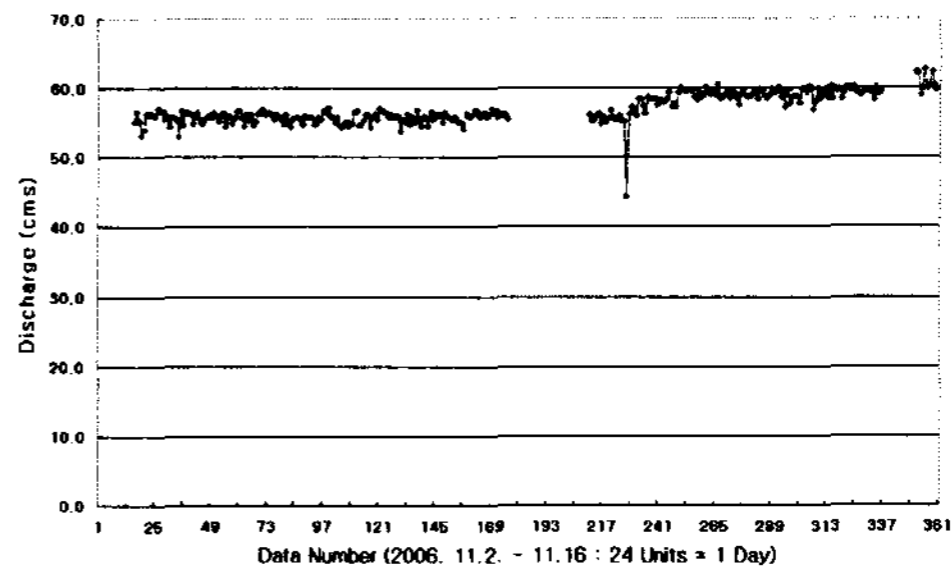


Fig. 4 Discharge change patterns

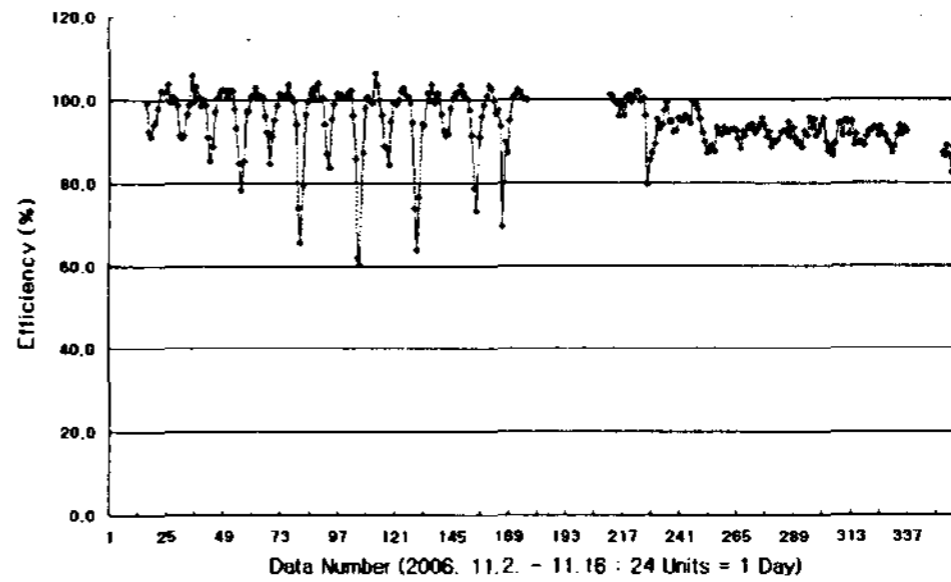


Fig. 5 Total efficiency change patterns

2.3 발전량 산정인자 변화

제2차 시운전 자료를 이용하여 계산한 합성효율은 설계조건에서 사용한 82% 수준을 크게 상회하는 수준이다. 특히, 100% 수준의 합성효율은 실질적으로 불가능한 수치에 해당하는 바, 합성효율 계산에 사용한 자료의 편기(bias), 변동가능성을 검토할 필요가 있다. 그러나 조위변화 양상을 반영하는 변동양상은 적절한 것으로 판단된다. 따라서 유량 및 발전소 내외측의 수위차, 발전량의 자료 신뢰수준에 대한 검토를 수행할 필요가 있을 것으로 판단된다.

발전량은 수위차의 영향을 직접적으로 받는 인자로, 수위차이에 영향을 미치는 조위변화 양상이 반영되는 것으로 보아 적절한 것으로 판단된다. 절대적인 값의 신뢰수준은 발전량을 측정하는 분야에서 검토하여야 할 필요가 있을 것으로 사료되나, 발전량 출력 관측이 어려운 분야가 아니기 때문에 절대적인 수치도 신뢰할 만한 것으로 판단한다.

발전소에서 냉각수로 사용되고 방류수로 방류되는 유량의 일부분이 발전기를 통과하기 때문에 우선, 절대적인 유량은 방류량의 어느 정도가 발전기를 통과하는가에 대한 정량적인 검토가 필요하나, 유량증가는 일반적으로 내측의 수위증가를 수반하기 때문에 내측의 수위변화가 미미한 현상에서는 유량변화도 미미할 것으로 판단된다. 다만, 절대적인 유량은 본 시운전 기간에 제시된 유량자료의 측정방법에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 수위에 비하여 변동성이 크기 때문에 유량측정방법에 따라 유량 크기가 달라질 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 화력발전소 방류량과 관련하여 분석할 필요가 있기 때문에 월 냉각수 사용량이 아닌 일별 냉각수 사용량 또는 일별

펌프가동일지 등에 대한 자료를 분석하여 전체적인 측면에서 유량을 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다. 특히, 유량측정성과는 $\pm 20\sim 30\%$ 정도의 변동은 매우 빈번하게 발생하기 때문에 다각적인 측면 또는 다양한 방법 등을 비교하여 유량을 측정·비교하는 과정이 필요할 것을 판단된다.

발전량 효율 산정에 가장 중요한 인자 중의 하나이면서 측정이 비교적 수월한 수위자료는 측정자료의 변동양상 등은 신뢰할 만한 수준으로 판단된다. 다만, 측정지점이 발전량 효율산정 등의 가정, 조건에 비추어 볼 때 차이가 발생할 수 있을 것으로 판단된다. 우선, 현장에서 직접 내측 수위 관측 지점을 살펴 본 결과, 내측 수위 관측기기 설치지점이 발전기에 인접하여 급격한 수위 감소가 발생하는 지점으로 판단된다. 관측지점이 수면으로 약간 돌출되어 있으나, 실질적으로 구조물에서 어느 정도 떨어진 지점을 선정하는 것이 보다 타당할 것으로 판단한다. 직접적인 측량을 수행하지는 않았으나, 본 시운전 자료를 제공한 지점의 수위는 적절한 지점으로 판단되는 수위보다 약 10~20cm 정도 낮은 측정값을 제시할 가능성이 있는 것으로 판단된다. 한편, 조위자료도 그 변동양상은 신뢰할 수 있으나, 절대적으로 평균해수면이 약 30cm 정도 상승되어 있는 것으로 판단된다. 보다 정확한 수위비교를 위해서는 수준점 측량이 필요할 것으로 판단된다. 따라서 본 가능성을 반영하면 유효낙차가 내측수위에서 외측 조위를 감한 수치이기 때문에 내측수위가 상승하고 외측 조위가 감소하면 상대적으로 최대 50cm 정도의 추가낙차 영향을 반영할 필요가 있을 것으로 판단된다.

3. 조위자료 검토

조위자료는 해양소수력 발전시설 효율평가에서 중요하고, 가변성이 큰 자료에 해당한다. 따라서 설계과정에서 추정된 자료와 관측 자료를 비교하여 그 차이를 분석하는 것은 매우 중요한 내용에 해당한다. 삼천포 해양소수력 발전소 인근지점 외측 조위(한라건설 관측)와 방류해역 외해측 조위(한국해양연구원 관측) 비교 결과(그림 6 참조), 고조시에는 잘 일치하고 있으나, 저조시에는 발전소 인근 지점에서 -0.5m 정도를 유지하며 더 이상의 수위하강은 없는 것으로 파악되었다.

한편, 제1차 시운전기간, 제2차 시운전 기간 자료를 보면, 조위자료의 저조시점에서 일정 수위 이하로 감소하지 않는 경향이 나타나고 있다(1시간 간격 조위자료; Fig. 7-8 참조). 제1차 시운전기간 조위자료와 제2차 시운전기간 조위자료는 삼천포 지점에 대한 국립해양조사원 조위 예측자료(조선표)를 이용하여 조화분석한 자료를 이용하여 1시간 자료로 재생성하여 비교분석하였다. 제1차 시운전 자료에서는 고조 시점에서의 수위가 관측 수위보다 높게 나타나고 있는 것으로 파악되었으며, 제2차 시운전기간의 고조자료는 양호한 정도로 일치하는 것으로 파악되었다. 저조 수위는 -0.5 ~ -0.8m 정도를 유지하고 있는 것으로 파악되었다(그림 7-8 참조; 점선으로 표시된 자료가 시운전 기간동안 측정된 조위자료로 1시간 범위에서 시간을 조정).

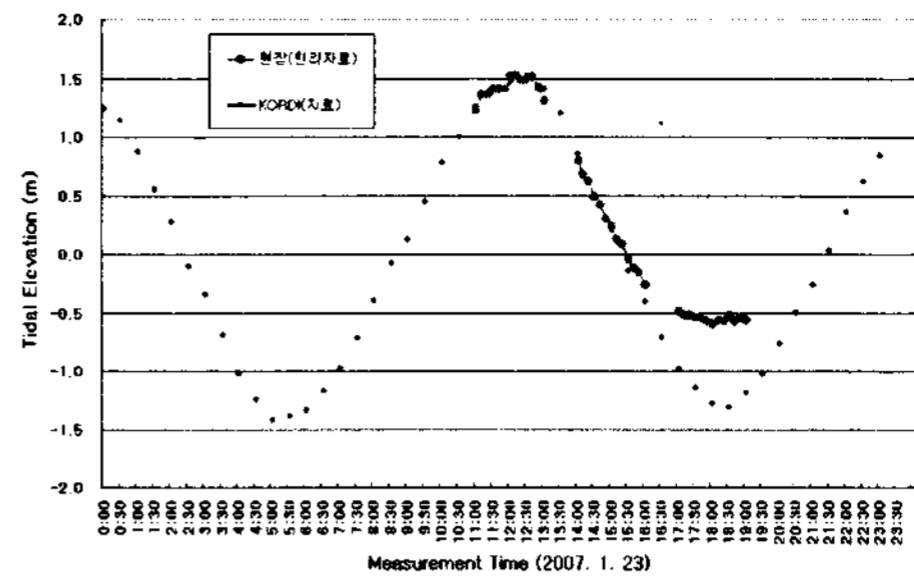


Fig. 6 Tidal elevation data (2007. 1. 23)

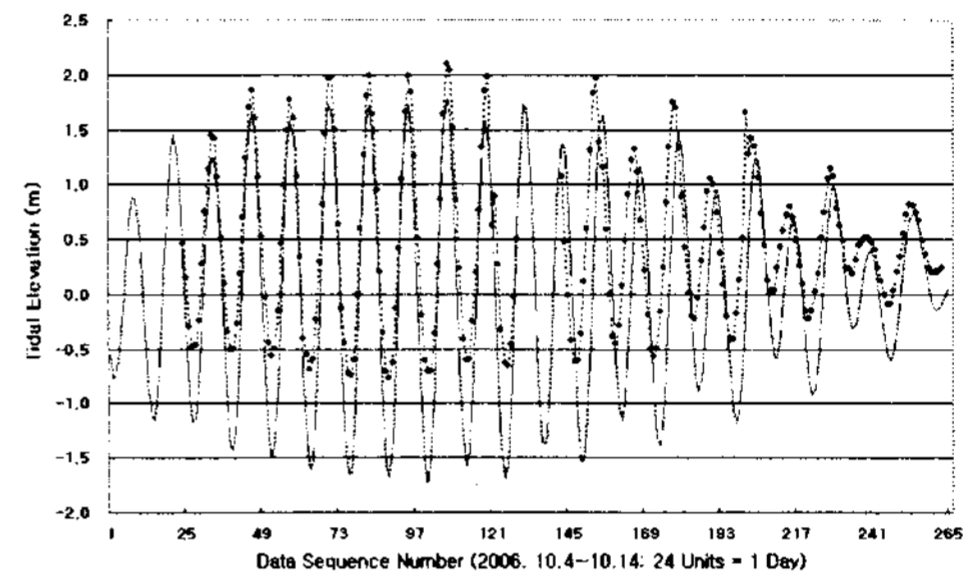


Fig. 7 Tidal elevation data (1st Test Run)

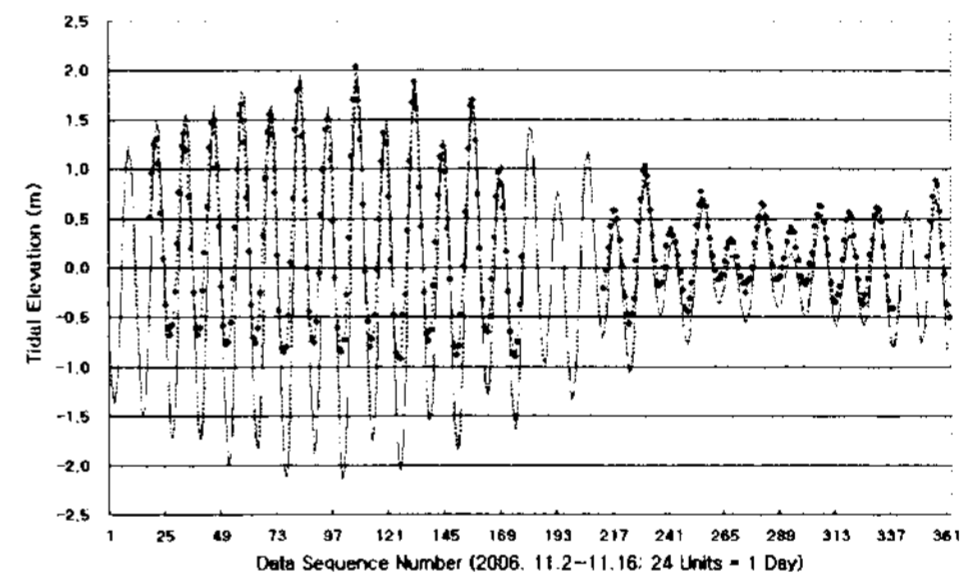


Fig. 8 Tidal elevation data (2nd Test Run)

4. 해양소수력 성능평가 절차

해양 소수력 운영에 따른 발전량을 높이기 위해서는 방류수로의 방류량을 발전기로 모두 통과시키는 방법이 가장 바람직하나, 실질적으로 통수능의 한계로 인한 수위상승이 발생하기 때문에 당초 설계조건에서 추정된 결과와 현장에서의 다양한 발전조건에서의 방류수로 주요 지점에서의 수위변화를 정밀하게 측정하여 검토할 필요가 있다. 한편, 수력발전시스템 성능평가 계획은 당초 계획 단계에서 추정하였던 자료의 적합성 및 안정적인 발전출력의 검토가 포함된다고 할 수 있다. 발전출력은 발전시설에서 바로 취득할 수 있는 자료이기 때문에, 수력발전시스템의 성능평가를 위해서는 댐 상류의 수위 및 댐 하류의 수위자료를 이용하여 유효낙차를 측정하고, Weir 상류지점 등 방류수로 지점에서 유량 및 유량환산이 가능한 지점의 수위를 측정하여 유량을 실측하는 과정이 수행되

어야 한다. 펌프작동대수를 알면, 유량환산이 가능하지만, 자료전환에 따른 시간차이가 발생하기 때문에 방류수로에서 직접 유량을 추정하는 관측이 수행되어야 실시간 성능평가가 가능하며, 전체적인 연별 또는 월별 성능평가를 위해서는 발전소 펌프 작동대수와 관측에 의한 유량 추정 등 상호교차 검증 방법을 통하여 종합적인 성능평가 절차가 수립되어야 한다.

본 연구에서는 수력발전시설이 가동되는 단계에서 시운전 자료를 이용한 성능평가 분석을 수행하였으며, 필요한 검토사항을 제시하였으며, 향후 성능평가 계획을 다음과 같이 제시하였다(Fig. 9 참조). 수차발전 효율 및 발전기 효율도 어느 정도는 흐름특성의 영향을 받기 때문에 정확한 흐름특성 파악을 위한 최소한의 관측 및 관측자료 신뢰성 확보를 위한 비정기적인 보완 관측 등이 발전소 운영 및 성능평가 단계에서 다음과 같은 절차로 수행되어야 한다. 또한, 운영과정에서 발생할 수 있는 비상사태 예방 및 운영조건을 파악하여 최적 운영조건(발전량 극대화 조건)을 도출할 필요가 있다. 이를 위해서는 소수력 발전소시설이 완공되면 시운전 기간을 포함하여 시설이 안정화되는 단계까지 또는 소수력시설의 수명이 다하는 기간까지 주요 지점에서의 수위관측(Weir 상류부 수위, 소수력 발전시설 내외 수위)이 실시간으로 수행되어야 한다. 수위 관측자료와 발전량 자료가 축적되면 성능평가(발전기의 효율 평가 등)가 가능하고, 낙차에 따라 효율이 결정되면 월별 또는 계절별 최적 운영방안을 도출할 수 있다.

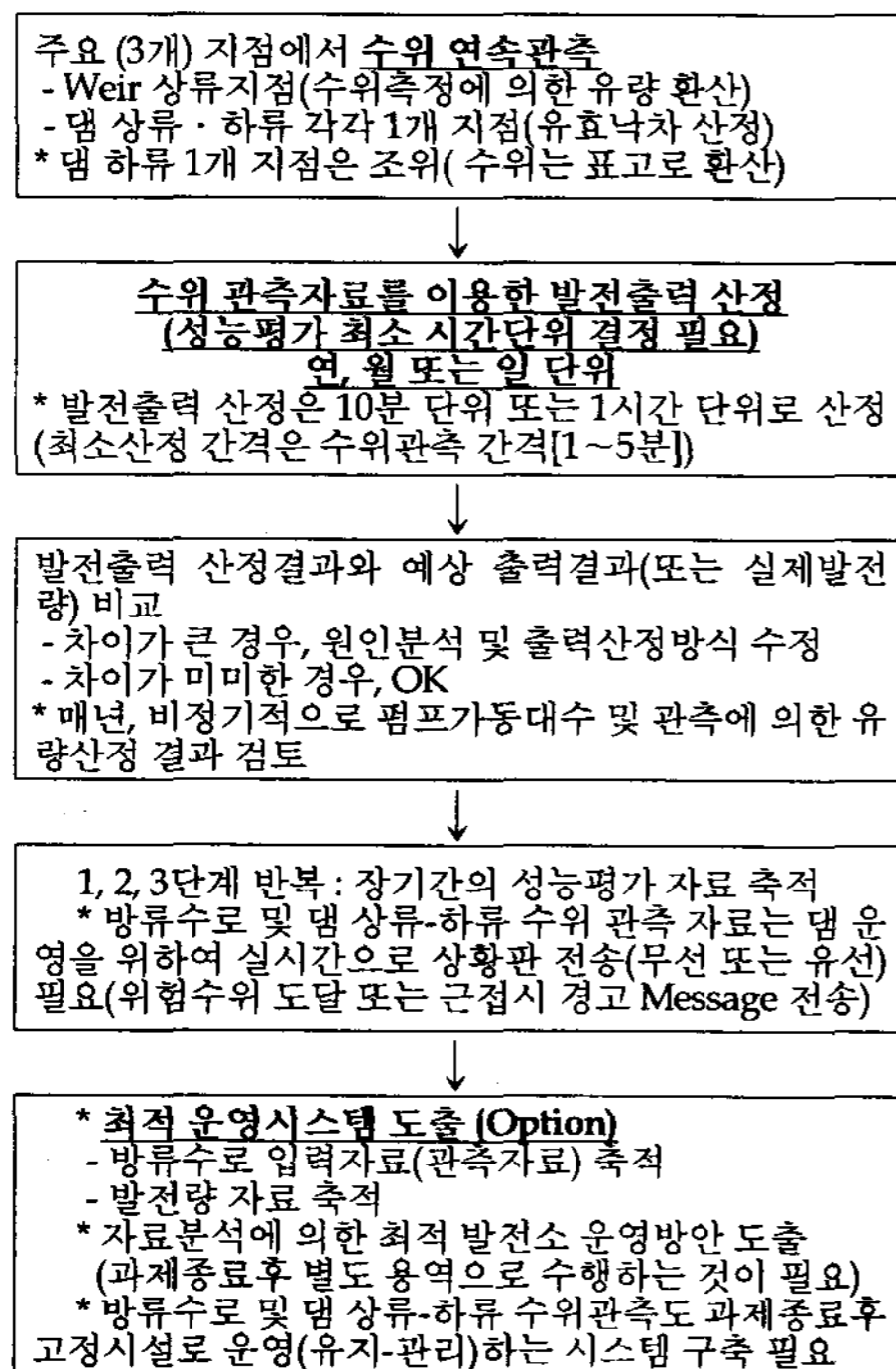


Fig. 9 Operation and Performance evaluation processes

4. 결론

해양소수력 발전시설의 성능평가는 설계단계에서 평가한 항목중, 조위의 평가가 가장 부적절한 것으로 파악되었다. 저조(low tide)시에 수위 하강이 예상보다 작았으며, 일정 수위에서는 더 이상의 하강이 없는 것을 파악된 바, 유효낙차를 추정·검토하는 과정에서 조위에 대한 검토를 보다 충실하게 수행할 필요가 있는 것으로 파악되었다. 한편, 수위 관측자료와 발전량 자료가 축적되면 성능평가(발전기의 효율 평가 등)가 가능하고, 낙차에 따라 효율이 결정되면 월별 또는 계절별 최적 운영방안을 도출할 수 있다. Weir 상류 수위 관측자료 이용하여 낙차를 예상하여 실시간 최적운영 Rule 수립도 가능하나, 이 경우에는 무인화(자동화) 운영체계이기 때문에 사전 연습 및 점검이 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 산업자원부 R&D 사업 “발전소 온배수를 이용한 1,500kW급 수력발전 상용화 기술 개발” 사업의 일환으로 추진되었습니다. 본 연구 수행을 위한 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- [1] 백창식, 오인영, 김이현, 배동만, 김학수 공저, 2002. 수리실험, 구미서관.
- [2] 한전 전력연구원, 한국남동발전(주), 한국해양연구원, 2007. 발전소 온배수를 이용한 1,500kW급 수력발전 상용화 기술 개발(최종보고서).
- [3] 한국전력공사 전력연구원, 2004. 화력발전소의 해수방류수를 이용한 수력발전시스템 타당성 조사 연구 (최종보고서), 산업자원부.
- [4] 한국전력공사, 1994. 삼천포화력 5,6호기 설계기술 용역, 배수구 구조물 기본설계보고서(최종분).
- [5] 한국전력공사, 1996. 삼천포화력 5,6호기 설계기술 용역, 순환수계통 설계서 (최종분).
- [6] 한국남동발전(주), 2005. 삼천포 소수력발전소 기본설계보고서.
- [7] 조흥연, 김정대, 정신택, 강금석, 2006. 12. 소수력발전소 건설에 의한 삼천포 화력발전소 방류수로 흐름변화 예측, 한국해양공학학회지, 제18권, 제4호, pp.338-347.
- [8] 조흥연, 정신택, 강금석, 2006. 12. 삼천포 화력발전소 방류수로 및 방류해역의 흐름관측 및 특성 분석, 한국해양공학학회지, 제18권, 제4호, pp.329-337.
- [9] 조흥연, 조범준, 강금석, 2006. 9. 소수력발전을 위한 삼천포 화력발전소 방류수로 및 방류해역의 흐름특성 관측 및 분석, 신재생에너지국제워크샵, 서울 COEX, 산업자원부.
- [10] 조흥연, 정신택, 김정대, 강금석, 이대수, 김지영, 2005. 12. 삼천포 화력발전소 온배수를 이용한 수력에너지 개발, 온배수연구회, 한국해양연구원