낙동강수계의 소수력자원 특성 분석

박완순*, 이철형**

* 한국에너지기술연구원 책임연구원(pwsn@kier.re.kr)

** 한국에너지기술연구원 책임연구원(lchg@kier.re.kr)

Analysis of Small Hydropower Resource Characteristics for Nakdong River System

Park, Wan-Soon* Lee, Chul-Hyung**

* Dept. of Renewable Energy Center, Ph.D., Korea Institute of Energy Research(pwsn@kier.re.kr),

** Dept. of Renewable Energy Center, Ph.D., Korea Institute of Energy Research(lchg@kier.re.kr)

Abstract

Small hydropower is one of the many types of new and renewable energy, which is planning to develop, as the country is abundant in endowed resources. In order to fully utilize small hydropower resources, there is a need for greater precision in quantifying small hydropower resources and establish an environment in which energy sources can be discovered using the small hydropower resource management system. This study has given greater precision to calculate annual electricity generation and capacity of small hydropower plants of Nakdong river system by inquiring into average annual rainfall, basin area and runoff coefficient, which is anticipated to promote small hydropower resources utilization. Small hydropower resource management system was also established by additionally providing base information on quantified small hydropower resources and analysis function and small hydropower generator status, rivers, basin, rainfall gauging station, water level gauging station etc.. Small hydropower resource management system can be used gather basic information for positive applications of small hydropower energy nationwide.

Keywords : 소수력(Small hydropower), 낙동강수계(Nakdong river system), 유출계수(Runoff coefficient), 시설용량(Capacity), 연간전기생산량(Annual electricity production)

기 호 설 명

		E_a/A	: 비출력량(kWh/km^2)
		g	: 중력가속도(m/s^2)
A	: 유역면적(km^2)	H	: 낙차(m)
E_a	: 연간출력량(kWh)	H	: 낙차(m)

submit date : 2012. 9. 18, judgment date : 2012. 9. 24, publication decide date : 2012. 12. 17
communication author : Lee, Chul-Hyung(lchg@kier.re.kr)

L_f	: 소수력발전소의 가동율(%)
P_a	: 단위시간당 출력량(kWh)
P_i	: 이상적인 수력에너지(kWh)
P_{ia}	: 수력가용량(kWh)
P_{ia}/A	: 비가용량(kWh/km^2)
P_1	: 부분출력량(kWh)
P_2	: 정격출력량(kWh)
$P(Q)$	: Weibull분포의 확률밀도함수
Q	: 유량(m^3/s)
Q_m	: 월유입량(m^3/s)
Q_r	: 설계유량(m^3/s)
Q_r/A	: 비설계유량($m^3/s/km^2$)
R_m	: 월강수량(mm)
T	: 시간비(%)
α	: Weibull분포의 형상모수
β	: Weibull분포의 척도모수(m^3/s)
ρ	: 물의 밀도(kg/m^3)
η	: 소수력발전소의 효율

1. 서 론

에너지자원이 절대 부족하여 에너지 해외 의존도가 97% 이상인 우리 나라의 입장에서 에너지 해외의존도를 경감시키고 에너지를 안정시키기 위하여 국내의 부존에너지를 최대한 활용하는 것이 매우 중요하다. 또한 지구온난화에 대처하는 범세계적인 규제에 대비하기 위하여, 청정한 에너지를 적극 개발하여 에너지자립도를 향상시켜야 한다.

소수력자원은 다른 신·재생에너지원에 비하여 에너지밀도가 매우 높기 때문에 개발할 가치가 큰 부존자원으로 평가되고 있다.¹⁾

소수력발전의 활용 확대를 위해서는 국민의 인식변화와 관련기술개발, 정부의 제도적 기반 확충 및 관련산업의 육성 등 다각적인 노력이 필요하다.^{2),3)}

본 연구에서는 신재생에너지 자원지도 구

축 및 종합관리시스템 개발 사업의 일환인 소수력 자원지도작성 연구를 통하여 소수력 자원관리시스템을 구축하였으며, 이를 이용하여 낙동강수계의 소수력자원을 산정하였다.

2. 유량지속 및 소수력발전 성능예측모델

하천에서의 월유입량은 해당유역의 월강수량과 유역면적, 그리고 유출계수로부터 다음과 같이 산정된다.

$$Q_m = \frac{R_m \times 10^{-3} \times A \times 10^6 \times k}{30.42 \times 24 \times 60 \times 60} \quad (1)$$

식(1)을 통하여 관측소에서 측정된 월강수량자료는 월유입량으로 환산될 수 있으며, 이를 이용하여 유량지속곡선을 작성할 수 있다. 유량지속곡선은 유입량을 크기별로 누적시킨 것으로 누가분포함수의 형태로 표시할 수 있다. 본 연구에서는 Weibull분포의 누가분포함수를 이용하여 유량지속곡선을 특성화하였으며, 누가분포함수는 다음과 같이 표시된다.

$$F(Q) = \int_0^Q P(Q) dQ = 1 - \exp(-(Q/\beta)^\alpha) \quad (2)$$

여기서 $P(Q)$ 는 Weibull분포의 확률밀도함수를 나타내며, 다음과 같이 표시된다.

$$P(Q) = (\alpha/\beta) (Q/\beta)^{\alpha-1} \exp(-(Q/\beta)^\alpha) \quad (3)$$

소수력발전소에서의 유량지속곡선을 나타내는 유량지속함수는 누가분포함수와 관계를 통하여 다음과 같이 구해진다.⁴⁾

$$D(Q) = 1 - F(Q) = \exp(-(Q/\beta)^\alpha) \quad (4)$$

Fig. 1은 낙차가 일정한 경우, 유입량변화에 따른 소수력발전소의 출력의 변화를 나타내는 것으로, 월류댐을 갖는 소수력발전소의 특성을 나타내는 그림이다.

Fig. 1 Output of small hydropower plant

소수력발전소는 월류댐을 사용하기 때문에 설계유량 이하의 유입량은 모두 출력으로 변환할 수 있으나, 설계유량 이상의 유입량의 경우에는 설계유량에 해당되는 유입량만을 사용하고 초과되는 유입량은 월류댐 상단을 통하여 방류하게 된다.

하천의 유입량은 항상 변하기 때문에 단위 시간당의 이상적인 소수력에너지는 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$P_i = \rho g H \int_0^{\infty} Q P(Q) dQ \quad (5)$$

소수력가용량은 이상적인 소수력에너지의 연간 총량으로써 다음과 같이 산정된다.

$$P_{ia} = 8,760 P_i \quad (6)$$

소수력발전소에서 얻을 수 있는 단위시간당의 출력량은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_a = \rho g H \eta \int_0^Q P(Q) Q dQ + \rho g H Q_r \eta \int_Q^{\infty} P(Q) dQ = P_1 + P_2 \quad (7)$$

또한 시설용량, 연간가동율 및 연간전기생산량은 다음과 같이 산정된다.

$$C = \rho g Q_r H_e \eta_s \quad (8)$$

$$L_f = P_a / C \quad (9)$$

$$E_a = 8760 C L_f \quad (10)$$

3. 소수력 자원의 수문학적 성능특성 분석

낙동강수계의 소수력자원의 특성분석에 앞서 본 연구에서 개발된 유량지속함수의 유용성을 확인하기 위하여 낙동강수계의 안동댐에서 32년간('77~'08) 측정된 유입량자료를 분석하였다. 안동댐은 낙동강의 상류지점에 있으며, 유역면적이 1,584km²이다.

Fig. 2는 안동댐 유역의 32년간의 강수량자료를 이용하여 유량지속특성을 예측한 것으로 식(4)의 유량지속함수가 실제 유입량분석을 통하여 작성한 유량지속특성을 효과적으로 표현해 준다는 것을 알 수 있다.⁵⁾ 특히 소수력발전소의 설계유량은 시간비가 20~30%에서 결정되는데 본 연구에서 사용한 유량지속함수가 측정값을 매우 정확하게 예측한다는 것을 알 수 있다.

낙동강수계의 소수력자원 성능특성을 분석하기 위하여 12개소의 소수력발전입지를 선정하였다. 선정된 입지는 지리적인 영향을 고려하여 경상북도 안동군 길안면 대사리 등 경상북도에 8개소, 경상남도 거창군 남하면 대야리 등 경상남도에 4개소로 낙동강수계 전반에 걸쳐 골고루 분포시켰으며, 유역면적에 대한 영향을 고려하기 위하여 유역면적은

148~1,219 km^2 로 분포시켰다.

Fig. 2 Prediction of flow duration characteristic for Andong dam

Fig. 3 Variation of specific potential with basin area

Fig. 4 Variation of specific design flowrate with basin area

Fig. 5 Variation of annual load factor with basin area

Fig. 6 Variation of specific output with basin area

Fig. 3은 유역면적의 크기에 따른 비가용량의 특성을 나타낸 것으로, 유역면적의 크기에는 관계없이 1,410~2,290 kWh/km^2 의 분포를 나타낸다. 비가용량은 유역면적의 크기보다는 해당유역의 강우상태에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 유역면적의 크기에 따른 비설계유량의 특성을 나타낸 것으로, 시간비가 25%에 해당하는 유량을 설계유량으로 선정한 경우, 0.02042~0.03228 $m^3/s/km^2$ 의 분포를 나타낸다. 비설계유량도 비가용량과 마찬가지로 유역면적의 크기보다는 해당유역의 강우상태에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

Fig. 5는 시간비가 25%에 해당하는 유량을 설계유량으로 선정한 경우, 유역면적에 따른 연간가동율의 특성을 나타낸 것이다. 연간가동율은 유역면적의 크기와는 큰 관계없이 일정하였으며, 44.7~47.3%의 범위에서 변화였다.

Fig. 6은 비설계유량에 따른 비출력량의 변화를 나타내는 것으로, 시간비가 25%에 해당하는 유량을 설계유량으로 선정한 경우이다. 비설계유량 $0.02532 \sim 0.04068 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 비출력량은 $648 \sim 1026 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로 변하며, 비설계유량이 증가함에 따라 비출력량은 거의 선형적으로 변화하였다.

4. 소수력 자원관리시스템 적용

소수력자원관리시스템의 데이터베이스 구성은 Fig. 7과 같이 분류체계에 의한 시스템 기능별로 구축하였으며, 유역정보, 하천정보, 기상정보, 수문정보, 지형정보 및 분석정보 등으로 구성하였다.⁶⁾

Fig. 7 Composition of database

Fig. 8, Fig. 9 및 Fig. 10은 각각 소수력자원관리시스템에서 구축한 하천정보현황, 강우관측소현황 및 표준유역도를 보여준다.

Fig. 8 River information

Fig. 9 Rainfall observatory

본 연구에서는 Fig. 9에 보여준 강우관측소에서 관측된 기상정보를 이용하였다. 강우자료는 강우관측소에서 측정된 30년치 자료를 분석하였으며, 신설된 관측소에 한하여 10년치 자료를 분석하여 사용하였다.

소수력 자원관리시스템은 대권역, 중권역 및 표준유역에 대한 연평균유량, 단위 유효낙차당 시설용량, 연간전기생산량 등 소수력자원량 산정이 가능하다. 또한 연간전기생산량을 산정하기 위하여 연간가동율은 Fig. 5에서 분석된 44.7~47.3%의 평균값인 46.0%를 적용하였다. 또한 유효낙차는 단위낙차를 적용하였다.⁷⁾

Fig. 10 Standard basin area

Fig. 11 Distribution of average annual rainfall for Nakdong river system

Fig. 11~Fig. 14는 소수력자원관리시스템

을 이용하여 산정된 낙동강수계의 연평균강수량, 설계유량, 시설용량 및 연간전기생산량의 분포를 나타내는 그림이다. Fig. 11에서와 같이 연평균 강수량은 남서쪽이 많고, 북동쪽은 적은 분포를 보였다.

Fig. 12 Distribution of design flowrate for Nakdong river system

Fig. 12는 설계유량의 분포를 나타낸다. 일반적으로 설계유량은 수계의 유역면적이 커질수록 증가하므로 낙동강 분류의 하류쪽으로 갈수록 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 13은 시설용량의 분포를 나타낸다. 시설용량은 설계유량에 비례하는 것으로 설계유량의 변화와 동일하게 하류쪽으로 갈수록 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 14는 연간전기생산량의 분포를 나타낸다. 연간전기생산량은 시설용량과 연간가동율의 곱으로 표시되는 양으로 시설용량의 변화와 마찬가지로 하류쪽으로 갈수록 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 13 Distribution of installed capacity for Nakdong river system

Fig. 14 Distribution of annual electricity production for Nakdong river system

Table. 1 Small hydropower resources for Nakdong river system

Division of Nakdong river system	Capacity (MW)	Annual electricity production (MWh)	Remark
Nakdong river	86.51	348,581.49	
Hyungsan river	0.53	2,147.60	
Taewha river	0.30	1,217.70	
Wheya · Suyoung	0.20	813.08	
East Nakdong	0.66	2637.54	
South Nakdong	0.54	2,178.45	
Total	88.74	357,575.86	

Table 1은 Fig. 14에 표시된 연간전기생산량의 분포를 기본으로 산정된 낙동강수계 권역별 소수력자원량을 나타낸다. 권역별 소수력자원량은 권역에 포함된 각각의 표준유역별로 선정된 설계유량값을 이용하여 설비용량을 산정하였으며, 연간 가동율을 적용하여 표준유역별로 자원량을 산정하여 합산하였다. 이때 낙차는 단위유효낙차인 1m로 가정하였고 시스템효율은 0.8로 가정하였다. 다른 권역에 대해서도 동일한 방법으로 소수력자원량을 산정하였으며, 이를 낙동강수계로 확대하여 소수력자원량을 예측하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 낙동강수계의 소수력자원을 평가할 수 있는 소수력 자원관리시스템을 구축하였고, 낙동강수계 각 권역에 대한 소수력자원량을 산정하였다.

- (1) 소수력 자원관리시스템을 이용하여 낙동강수계 권역별 단위 유효낙차당 시설용량과 연간전기생산량 등을 산출하였으며, 그 결과 낙동강수계는 시설용량이 약 89MW,

연간전기생산량은 약 357.6GWh/yr로 산정되었다.

- (2) 본 연구를 통해 개발된 소수력 자원관리 시스템은 객관적이고 정밀하게 소수력자원의 평가가 가능하여 소수력 개발에 대한 기초자료로 활용할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Park, W. S., Lee, C. H., and Shim, M. P., "Feasibility Assessment for Small Hydro Power Sites in Korea", KSCE, Vol. 17, No. II-3, 1997.
2. Park, W. S., Lee, C. H., "The Study of Performance Prediction Methods for Small Hydro Power Sites", KWRA, 2003.
3. Kim, K. H., et al., "Determination of the Optimal Installation Capacity of Small Hydro Power through the use of Economic Analysis", KWRA, Vol. 40, No. 12, 2007.
4. Park, W. S., Lee, C. H., "Hydrologic Performance Characteristics Variation of Small Scale Hydro Power Plant with Variation of Inflow", KWRA, Vol.43, No.4, 2010.
5. Park, W. S., Lee, C. H., " Analysis of Performance Characteristics for Small Scale Hydro Power Plant with Long Term Inflow Condition Change", KSNRE, Vol.5, No.4, 2009.
6. WAMIS: Water Management Information System
7. Kang, Y. H. et al., "The Establishment of New and Renewable Energy Resource Map & Utilization System", KIER, 2011.