

수계별 소수력자원의 수문학적 성능특성

박완순*, 이철형**

*한국에너지기술연구원(pwsn@kier.re.kr, lchg@kier.re.kr)

Hydrologic Performance Characteristics of Small Hydro Power Resources for River Systems

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

*Korea Institute of Energy Research(pwsn@kier.re.kr, lchg@kier.re.kr)

Abstract

The hydrologic performance characteristics of small hydro power(SHP) sites located in four major river systems have been studied. The model, which can predict flow duration characteristic of stream, was developed to analyze the variation of inflow caused from rainfall condition. And another model to predict hydrologic performance for SHP plants is established. Monthly inflow data measured at Andong dam for 32 years were analyzed. The predicted results from the developed models in this study showed that the data were in good agreement with measured results of long term inflow at Andong dam. The results from hydrologic performance analysis for SHP sites located on five major river systems based on the models developed in this study show that the specific design flowrate and specific output of SHP site have large difference between the river systems.

Keywords : 소수력(Small hydro power), 비가용량(Specific potential), 비설계유량(Specific design flowrate), 비출력량(Specific output), 수계(River system)

기 호 설 명

A	: 유역면적(km^2)	g	: 중력가속도(m/s^2)
$D(Q)$: 유량지속함수	H	: 낙차(m)
E_a	: 연간출력량(kWh)	k	: 유출계수
E_a/A	: 비출력량(kWh/km^2)	L_f	: 소수력발전소의 가동율(%)
$F(Q)$: 누가분포함수	P_a	: 단위시간당 출력량(kWh)
		P_i	: 이상적인 수력에너지(kWh)
		P_{ia}	: 가용량(kWh)

투고일자 : 2010년 3월 3일, 심사일자 : 2010년 3월 18일, 게재확정일자 : 2010년 4월 16일
교신저자 : 이철형(lchg@kier.re.kr)

- P_{ia}/A : 비가용량(kWh/km^2)
- $P(Q)$: 확률밀도함수
- P_1 : 부분출력량(kWh)
- P_2 : 정격출력량(kWh)
- R_m : 월강수량(mm)
- Q : 유량(m^3/s)
- Q_m : 월유입량(m^3/s)
- Q_r : 설계유량(m^3/s)
- Q_r/A : 비설계유량($m^3/s/km^2$)
- α : Weibull분포의 형상모수
- β : Weibull분포의 척도모수(m^3/s)
- ρ : 물의 밀도(kg/m^3)
- η : 소수력발전소의 효율

1. 서 론

에너지자원이 절대 부족한 우리나라의 입장에서는 에너지 해외의존도를 경감시키고 에너지를 안정시키기 위하여 부존에너지를 최대한 활용하는 것이 매우 중요하다. 소수력자원은 다른 신재생에너지원에 비하여 에너지밀도가 매우 크기 때문에 개발할 가치가 큰 부존자원으로 평가되고 있다.¹⁾

소수력자원의 개발을 위해서는 해당지점에서의 자원량의 산정이 매우 중요하며, 이의 산정은 장기간의 관측자료를 필요로 한다.²⁾ 그러나 이러한 방법은 수행 인원 및 사용장비 등에 따른 경제적인 문제가 따른다. 이와 같은 제한점을 해결하기 위하여 수문학적인 추정자료가 부족한 우리나라의 소수력발전입지에 대한 수문학적 특성을 분석하기 위한 해석방법이 연구되어 왔다.³⁾

본 연구에서는 수계별 소수력발전지점에 대하여 소수력자원량의 분포특성을 분석하였다. 수계별 소수력자원량의 분포특성을 분석한 결과, 남한강, 금강, 섬진강수계의 경우에는 비교적 좁은 범위에서 분포되어 있으나, 북한강수계와 낙동강수계는 지점에 따라 소수력자원량

의 분포가 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다.

2. 유량지속곡선 예측모델

대부분의 소수력개발입지는 하천의 상류에 위치하기 때문에 유입량 등에 대한 수문학적인 실측자료가 부족하여 유량지속곡선을 작성하기가 매우 어려운 실정이다. 그러나 하천의 유입량은 해당 유역면적내의 강수량에 관련되기 때문에 이를 이용하여 예측할 수 있다.

하천에서의 월유입량은 해당유역의 월강수량과 유역면적, 그리고 유출계수로부터 다음과 같이 산정된다.⁴⁾

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

식(1)을 통하여 관측소에서 측정된 월강수량자료를 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 누가분포함수와와의 관계를 통하여 다음과 같이 구해진다.⁵⁾

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

3. 소수력발전소 성능예측모델

그림 1은 낙차가 일정한 경우, 유입량변화에 따른 소수력발전소의 출력의 변화를 나타내는 것으로, 월류댐을 갖는 소수력발전소의 특성을 나타내는 그림이다. 하천에서의 유입량은 항상 변하기 때문에 단위시간당의 이상적인 수력에너지는 다음과 같이 산정할 수 있다.

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

소수력가용량은 이상적인 수력에너지의 연간 총량으로써 다음과 같이 산정된다.

$$P_{ia} = 8760 P_i \quad (6)$$

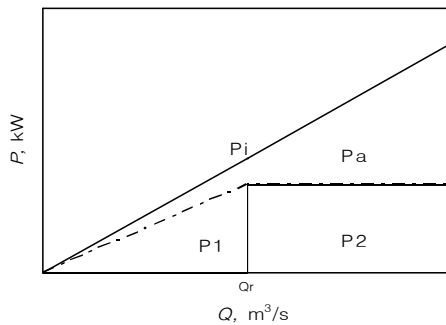


그림 1. 소수력발전소의 출력특성

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.

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

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

소수력발전입지에 소수력발전소를 건설할 경우, 시설용량과 연간가동율은 다음과 같다.

$$C = \rho g H Q_r \eta \quad (8)$$

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

연간출력량은 소수력발전입지에 소수력발전소를 건설할 경우, 얻을 수 있는 연간 총에너지량을 의미하며, 다음과 같이 산정된다.

$$E_a = 8,760 C L_f \quad (10)$$

4. 수계별 소수력자원 특성 분석

소수력가용량 분석에 앞서 본 연구에서 개발된 유량지속함수의 유용성을 확인하기 위하여 유역면적이 1,584km²인 낙동강수계의 안동댐에서 32년간('77~'08) 실측된 유입량자료를 분석하였다.

그림 2는 안동댐 유역의 32년간의 강수량자료를 이용하여 유량지속특성을 예측한 것으로 식(4)의 유량지속함수가 측정된 유입량자료를 이용하여 작성한 유량지속특성을 효과적으로 표현해 주고 있다는 것을 알 수 있다.⁽⁶⁾

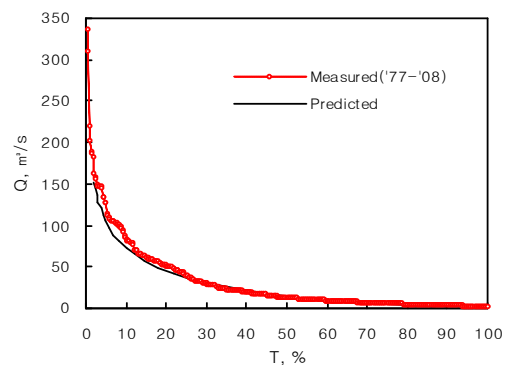


그림 2. 안동댐의 유량지속곡선 예측('77-'08)

수계별 소수력자원의 수문학적 성능특성을 분석하기 위하여 북한강수계 6개소, 남한강수

계 7개소, 금강수계 9개소, 낙동강수계 12개소, 그리고 섬진강수계 6개소의 소수력발전입지를 선정하였다. 선정된 소수력발전입지의 유역면적은 북한강수계의 경우, $167\sim 496\text{km}^2$, 남한강수계는 $215\sim 2294\text{km}^2$, 금강수계는 $278\sim 1804\text{km}^2$, 낙동강수계는 $148\sim 1219\text{km}^2$ 그리고 섬진강수계는 $311\sim 4209\text{km}^2$ 로 분포되어 있다.

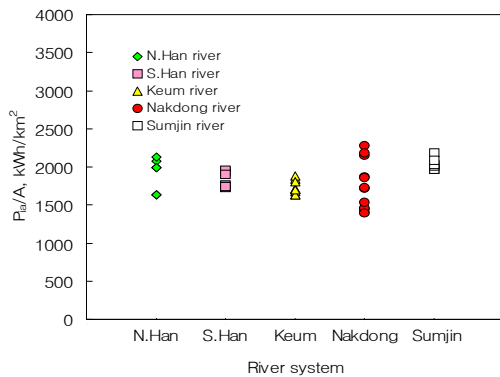


그림 3. 수계별 비가용량의 특성

그림 3은 단위유역면적당의 가용량, 즉 비가용량의 수계별 특성을 나타내는 그림이다. 비가용량은 북한강수계의 경우, $1631\sim 2132\text{kWh}/\text{km}^2$, 남한강수계는 $1733\sim 1934\text{kWh}/\text{km}^2$, 금강수계는 $1681\sim 1879\text{kWh}/\text{km}^2$, 낙동강수계는 $1399\sim 2281\text{kWh}/\text{km}^2$ 그리고 섬진강수계는 $1969\sim 2181\text{kWh}/\text{km}^2$ 의 분포를 나타낸다. 비가용량의 분포영역은 낙동강수계의 경우 가장 크게 나타나고 있으며, 북한강수계도 다른 수계에 비하여 분포범위가 큰 것으로 나타났다.

그림 4는 유역면적에 따른 비가용량의 수계별 특성을 나타내는 그림이다. 금강수계, 남한강수계 및 섬진강수계는 유역면적이 증가하여도 비가용량의 변화가 크지 않지만, 낙동강수계와 북한강수계는 유역면적의 크기에 관계없이 비가용량의 변화가 크게 나타났다. 이러한 현상은 우리나라의 연강수량이 남에서 북으로 갈수록 감소하기 때문으로 판단된다. 낙동강수계는 하도가 남북으로 길기 때문에 소수력

발전지점의 위치에 따라 비가용량의 크기의 변화가 크고, 북한강수계도 이와 비슷한 경향을 갖는다. 반면에 금강수계, 남한강수계 및 섬진강수계는 하도가 서에서 동으로 길기 때문에 소수력발전지점의 위치에 관계없이 일정하게 분포되는 것으로 판단된다.

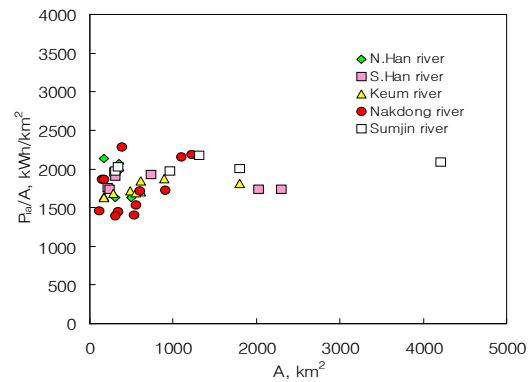


그림 4. 수계별 유역면적에 따른 비가용량의 변화

소수력발전소의 설계유량은 해당 지점의 수문학적 특성과 경제성을 검토하여 유량지속곡선상의 20%에서 30%사이에 해당하는 유량을 설계유량으로 선정한다. 본 연구에서는 일반적으로 설계유량으로 많이 선정되는 유량지속곡선상의 25%에 해당하는 유량을 설계유량으로 채택하였을 경우, 수계별 수문학적 성능특성의 변화를 고찰하였다.

그림 5는 수계별 비설계유량의 특성을 나타낸 것으로 북한강수계의 경우, $0.01883\sim 0.02722\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, 남한강수계는 $0.02173\sim 0.02524\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, 금강수계는 $0.02283\sim 0.02673\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, 낙동강수계는 $0.02042\sim 0.03228\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 그리고 섬진강수계는 $0.02765\sim 0.03130\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 의 분포를 나타낸다. 비설계유량은 비가용량의 분포와 유사하게 낙동강수계와 북한강수계가 넓게 분포되고, 남한강수계, 금강수계 및 섬진강수계는 비교적 작은 범위로 분포된다.

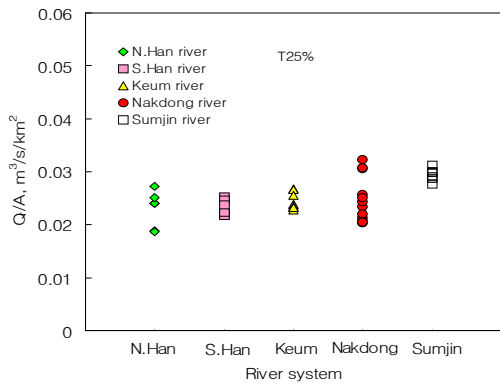


그림 5. 수계별 비설계유량의 특성

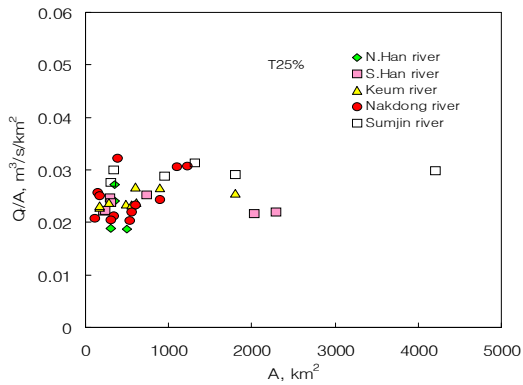


그림 6. 수계별 유역면적에 따른 비설계유량의 변화

그림 6은 유역면적에 따른 비설계유량의 변화를 나타내는 그림이다. 금강수계, 남한강수계 및 섬진강수계는 유역면적이 변하여도 비설계유량의 변화가 크지 않지만, 낙동강수계와 북한강수계는 동일한 유역면적에서도 비설계유량의 변화가 크게 나타났다. 이러한 현상은 우리나라의 비가용량의 분포와 관계되어 나타나는 현상이다.

그림 7은 수계별 연간가동율의 특성을 나타낸 것으로, 북한강수계의 경우, 42.0~44.5%, 남한강수계는 43.2~44.3%, 금강수계는 45.4~46.9%, 낙동강수계는 44.7~47.3% 그리고 섬진강수계는 45.9~47.2%의 분포를 나타낸다. 연간가동율은 수계별로 비교적 작은 범위에서 분포되고 있으며, 북한강수계가 연간가동율이

낮고, 섬진강수계가 높은 것으로 분석되었다.

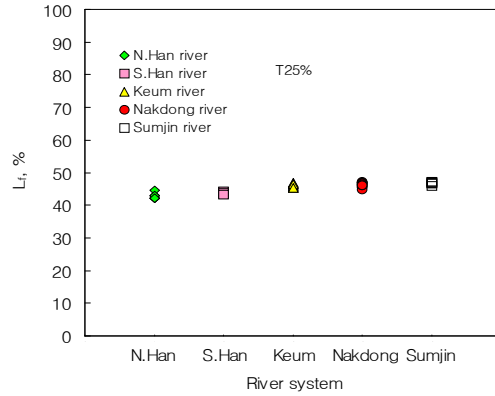


그림 7. 수계별 연간가동율의 특성

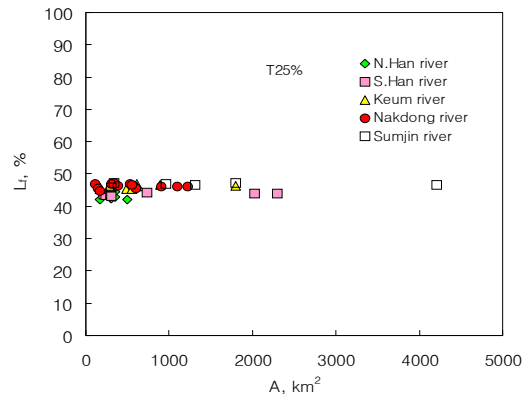


그림 8. 수계별 유역면적에 따른 연간가동율의 변화

그림 8은 유역면적에 따른 연간가동율의 변화를 나타내는 그림이다. 그림을 통하여 소수력발전소의 설계유량을 유량지속곡선상에서 동일한 시간비의 유량으로 선정하는 경우, 소수력발전소의 연간가동율은 유역면적에 관계없이 일정하다는 것을 알 수 있다.

그림 9는 수계별 비출력량의 특성을 나타낸 것이다. 비출력량은 북한강수계의 경우, 539~832kWh/km², 남한강수계는 657~768kWh/km², 금강수계는 726~861kWh/km², 낙동강수계는 648~1026kWh/km² 그리고 섬진강수계는 872~1002kWh/km²로 분포된다. 비출력량은 비설

계유량과 연간가동율의 곱에 비례하는 것으로 비설계유량의 특성과 유사하다.

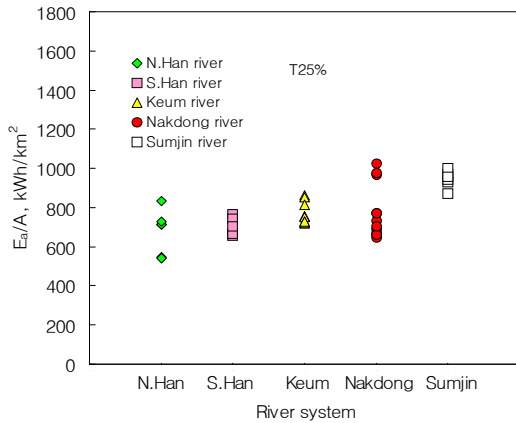


그림 9. 수계별 비출력량의 특성

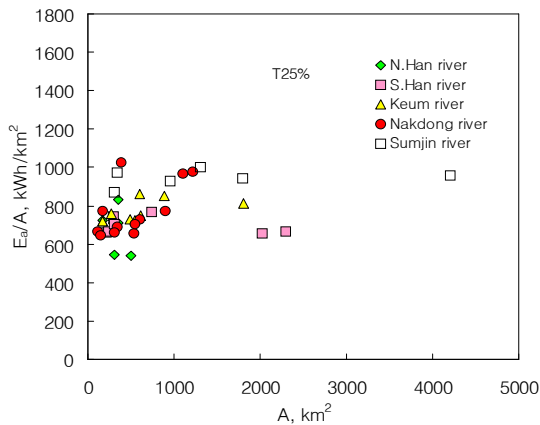


그림 10. 수계별 유역면적에 따른 비출력량의 변화

그림 10은 유역면적에 따른 비출력량의 수계별 특성을 나타내는 그림이다. 금강수계, 남한강수계 및 섬진강수계는 유역면적이 증가하여도 비출력량의 변화가 크지않지만, 낙동강수계와 북한강수계는 유역면적의 크기에 관계없이 비출력량의 변화가 크게 나타났다. 이러한 현상은 수계별 비설계유량의 분포에 의한 영향이다.

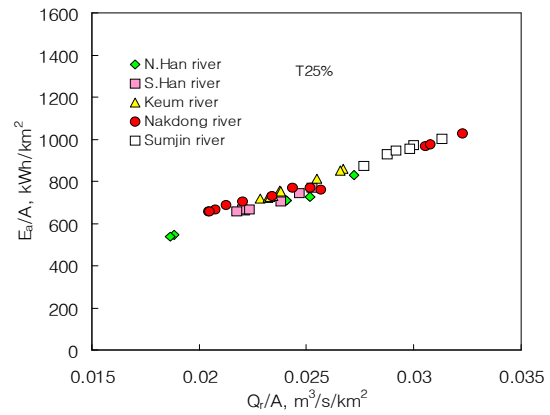


그림 11. 수계별 비설계유량에 따른 비출력량의 변화

그림 11은 수계별 비설계유량에 따른 비출력량의 변화를 나타내는 것으로, 수계에 관계없이 비설계유량이 증가함에 따라 비출력량이 거의 선형적으로 변한다는 것을 알 수 있다. 북한강수계의 경우, 비설계유량 $0.01883 \sim 0.02722 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 비출력량은 $539 \sim 832 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로 변하며, 남한강수계는 $0.02327 \sim 0.02524 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 $657 \sim 768 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로, 금강수계는 $0.02964 \sim 0.02673 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 $726 \sim 861 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로, 낙동강수계는 $0.02532 \sim 0.04068 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 $648 \sim 1026 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로, 섬진강수계는 $0.02042 \sim 0.03228 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 $872 \sim 1002 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로 거의 선형적으로 변한다.

5. 결 론

수계별 소수력발전입지의 소수력가용량과 출력량 등에 대한 수문학적 성능특성을 분석하였으며, 본 연구에서 개발한 유량지속특성 예측모델과 소수력발전소의 성능분석모델이 소수력발전소의 수문학적 특성을 분석하는데 효과적으로 사용될 수 있다는 것이 밝혀졌다. 수계별 소수력발전입지에 대한 분석결과, 금강수계, 남한강수계 및 섬진강수계는 소수력발전입지의 위치에 관계없이 비가용량의 변화

가 크지않지만, 낙동강수계와 북한강수계는 소수력발전입지의 위치에 따라 비가용량의 변화가 크게 나타났다. 또한 비출력량의 경우에도 비가용량과 유사하게 소수력발전입지의 위치에 따라 금강수계, 남한강수계 및 섬진강수계는 비출력량의 변화가 크지않지만, 낙동강수계와 북한강수계는 비출력량의 변화가 크게 나타났다.

참 고 문 헌

1. 김길호, 이충성, 이진희, 심명필, "경제성분석에 의한 소수력개발의 최적규모 결정방안", 한국수자원학회논문집, 제40권, 제12호, 2007.
2. Lee, C. H., Park, W. S., "A Study on the Optimum Design Flowrate for Diversion Type Small Hydro Power Plant with Tunnels", SHP News, No.4, pp.20-30, Hangzhou Regional Center for Small Hydro Power, China, 1992.
3. 박완순, 이철형, 심명필, "국내 소수력발전입지의 개발타당성 분석", 대한토목학회논문집, 제17권, 제II-3호, 1997.
4. Park, W. S., Lee, C. H., and Jeong, S. M., "An Analysis of Performance Characteristics for Small Hydro Power Plants", KWRA, Vol.2, No1, 2001.
5. 박완순, 이철형, "소수력발전소의 성능에 측기법에 관한 연구", 한국수자원학회, 춘계학술대회, 2003.
6. 박완순, 이철형, "장기유입량 변화에 의한 소수력발전소 성능특성 분석", 한국신재생에너지학회, Vol. 5, NO. 4, 2009.