

중축소수력발전소의 인입수량과 드럼수위와의 관계에 관한 연구

A Study on the Drum Water Level Versus Incoming Water Quantities for Small Vertical Hydraulic Water Turbine Plant

최규식^{1*} · 정주원²

¹맥스파워(주) 부설연구소

²에코리치에너지(주)

Gyu-Shik Che^{1*} · Ju-One Jung²

¹Maxpower Research Institute, Gyeonggi-do, 462-807, Korea

²Ecorich Energy, Gyeonggi-do, 449-815, Korea

[요 약]

소수력발전방식 중에서 중축 소수력 발전기를 채용한 시스템에 대해서 드럼의 수위상승에 대한 연구를 수행하였다. 드럼통에 용수를 일정하게 공급할 경우, 시간의 경과에 따라 드럼통의 수위가 상승하기는 하지만 반면, 그 상승효과 때문에 증가되는 위치에너지에 의한 러너 축 유출속도와 유출량이 증가하여 수위상승을 억제하고 그 결과 수위상승이 어느 위치에 멈추게 되어 평형상태를 이루게 된다. 이 시스템의 개발 및 분석에 의하면 드럼통의 수위는 드럼통의 크기나 높이, 폭, 형, 러너의 형상 등과는 관계 없이 결정된다. 수위는 오직 인입수량과 유출수량에 의하여만 결정되고 이에 따라 출력전력도 유사한 거동을 보인다는 것이 밝혀졌다. 그러므로 인입수량이 많지 않으면 원하는 수준의 드럼수위를 유지할 수 없을 뿐만 아니라, 원하는 출력전력도 얻을 수 없다. 아울러 현재 국내 산업시설에 설치되어 시험 운전 중에 있는 중축소수력발전시스템에 대해서 이 방법을 적용 및 수행하여 이 기법의 타당성을 입증하였다.

[Abstract]

We studied water level rising of drum versus time in the small hydraulic vertical water turbine system in this paper. The water level rises continuously up to a certain point with the passage of time if the constant incoming water is supplied, while it stops rising and maintains equilibrium state without any more rising because it increases position energy and eventually makes outgoing velocity and outgoing water quantities of runner area. The water level of drum is determined independent of size, height, width, figure of drum or runner configuration. It comes out that the water level is dependent only on the incoming and outgoing water quantities, and the output power has similar behavior. Therefore, desirable water level and output power are not available unless incoming water quantities is abundant. We validate this phenomena through applying our methodologies to the real small hydraulic vertical water turbine system under constructing and testing in industrial facilities in Korea.

Key words : Small hydraulic turbine generator, Runner turbine blade, Water turbine, Draft tube.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2014.18.3.254>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 10 January 2014; Revised 5 Jun 2014

Accepted (Publication) 19 May 2014(30 June 2014)

*Corresponding Author; Gyu-Shik Che

Tel: +82-31-737-9388

E-mail: che@konyang.ac.kr

1. 서론

우리나라는 국가적으로 선진국 수준의 삶의 영위하려는 품질 향상 욕구가 커서 이에 걸맞는 전기 사용 욕구가 급증하고 있으나, 현재 전국적으로 흩어져 있는 발전소의 가용 총 발전 전력량이 약 8천만 kW 밖에 되지 않아서 매년 전력난에 허덕이고 있다. 후쿠시마원전사고를 기점으로 하여 국내원전의 잦은 고장과 불량 원전부품 비리 등의 문제로 인하여 원전에 대한 불안감이 점증하고 있는 가운데, 이와 양대 축을 이루고 있는 화전은 탄소배출량이 많아서 환경을 크게 오염시킨다는 우려가 증폭되고 있다.

그러므로 대체에너지원으로서 신재생에너지, 그 중에서도 특히 연료비나 환경오염의 염려가 없는 자연자원인 태양광이나 수력을 이용하여 전력을 충당하는 것이 절대적으로 필요하다. 정부에서는 전력원의 다변화를 추구하는 세계적인 흐름에 맞추어 신·재생에너지 발굴 및 전력에너지 확보를 위한 중요한 방법으로서 신에너지 및 재생에너지개발·이용·보급촉진법 제12조제2항 및 동법시행령 제15조에 의해 공공기관이 신·증·개축하는 연면적 1,000m² 이상의 건축물에 대하여 예상 에너지 사용량의 10% 이상을 신·재생에너지 설비 설치에 투자하도록 의무화하여 태양광, 연료전지, 풍력과 같은 에너지 개발에 많은 노력을 기울이고 있으나, 현재까지 그 결과가 기대치 이하이거나 느리다.

그런데 "이상하게도 정부는 곧 확정될 예정인 '2차 에너지기본계획(안)(2014~2035년)'을 마련하는 과정에서 신재생에너지 보급 비중 목표를 11%로 책정하였다. 사실상 그동안의 전력원의 다변화계획에서 후퇴하고 있는 감을 준다. 우리나라는 경제협력개발기구(OECD) 회원국 가운데 재생에너지의 비중이 꼴찌인 국가다"[1].

"민관합동 워킹그룹(정부에 권고안을 낸 전문가그룹)에서 신재생에너지 보급 목표를 마련하기 위해 이론적 잠재량과 지리적 잠재량, 기술적 잠재량, 시장 잠재량을 산출한 결과 비용보조수단을 제외한 상태에서 생산될 수 있는 에너지양인 시장 잠재량은 1억5056만TOE(석유환산톤)로, 2035년 1차 에너지 수요전망치 3억7790만TOE의 40%에 육박한다고 한다"[1].

한편, 신재생에너지의 중요한 분야인 풍력은 현재 세계 뿐만 아니라 우리나라에서도 활발하게 연구개발되고 있고 또한 상업화에 박차를 가하고 있어서 그 발전 전망은 밝다고 할 수 있다. 그런데 소수력인 경우는 수자원이 존재하는 자연환경에 대한 각종 규제가 너무 많고 또한 개발이 필요한 지역의 주민민원이 많아서 활성화되지 못하고 있다.

따라서 소규모 하천이 많은 우리나라의 자연환경 특성에 적합한 친환경적인 발전방식으로서, 그리고 지금까지 낭비되고 있었던 산업용, 상업용, 주택용 각종 용수나 폐수를 적극 활용하여 에너지를 재생할 수 있는 방식으로서

이러한 용도에 적합한 소수력발전기를 개발하여 널리 보급할 필요성이 강하다. 소수력은 자연적인 지역조건과 조화를 이루며 국내 부존 잠재량이 많고 탄소(CO₂) 배출량이 없다는 점에 의하여 범세계적인 환경규제에 적극적으로 대처할 수 있는 환경청정에너지원으로서 에너지밀도가 높아 지역적으로 전원을 분산시킬 수 있는 유용한 자원이다.

그동안 소수력발전에 대해서 연구, 진행된 경우를 살펴보면, 하수처리용 소수력발전소 설계[2], 터빈블레이드의 형상과 출력 및 효율관계[3-8] 등이 있고, 또한, 극저낙차용 터빈설계[9]에 관한 논문과 수차간극 및 피치변화에 고난한 논문[10]이 있으나 피코급 소규모 발전용 인입용수드림통의 수위 결정에 관한 논문은 없었다. 따라서 본 논문에서는 발전량이 극히 적은 소수력발전기 중에서 소규모 드림통에 용수를 공급하여 터빈 블레이드를 회전시킴으로써 발전을 하게 되는 중축 프로펠러형 소수력발전기가 운전될 경우 용수 공급에 의하여 드림통 내의 수위가 어떻게 결정될 것인가를 연구하고 이를 시뮬레이션에 의하여 증명하고자 하였다.

2항에서는 중축소수력발전소에 대한 개념을 설명하기 위해 간단한 소수력발전소를 예로서 설명한다. 3항에서는 드림수위를 결정하는 알고리즘을 개발하기 위해 필요한 그림을 제시하여 개념을 설명하고 기호와 수치를 이용하여 시간경과에 따른 수위의 형태를 표시하는 방정식을 유도하였다. 4항에서는 3항에서 유도한 방정식들을 실제 국내에서 건설 및 운전중인 발전소에 적용하여 수위를 구하였다.

II. 중축소수력발전소의 운전 방법

중축소수력발전소의 개략도는 아래 그림 1과 같다. 즉, 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 발전에 필요한 용수를 끌어들이기 위해 일정한 고도를 유지하고 있는 유도배관이 있고, 이 배관과 연결된 용수 용기인 드림통이 있다. 드림통 안에는 용수의 수위를 기계적인 동력으로 변환시키는 러너가 있고, 러너에서는 블레이드가 중요한 역할을 하며, 그리고 이 러너와 직결된 전기발전기가 있다. 또한, 러너에서 사용된 후 배출되는 용수를 외부로 안내하기 위한 흡출관이 있다.

발전소를 운전하기 위해서는 우선 유도배관을 통하여 필요한 만큼의 용수를 드림통 내로 일정하게 공급한다. 드림통에 용수가 공급되면 이 용수는 드림통 내에서 수위를 이루어 이 수위가 위치에너지를 형성한다. 드림통 내의 위치에너지는 중력에 의하여 용수가 서서히 낙하하면서 운동에너지로 변환되어 수력터빈의 블레이드와 러너를 회전시킨다. 이 회전으로 기계적인 동력을 얻어 여기에 직결된 전기발전기를 회전시켜 전기적인 동력으로 변환시키는 방법이다. 블레이드를 회전시켜 기계적인 동력을 형성한 용수는 흡출관을 통해 외부로 배출된다.

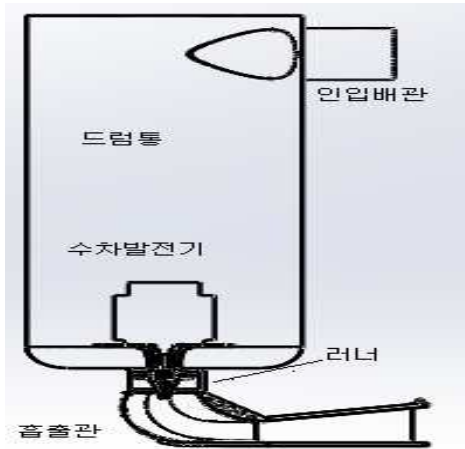


그림 1. 종축소수력발전소
 Fig. 1. Small vertical hydraulic water turbine plant.

III. 드럼의 수위 결정

본 연구에서 사용되는 약어를 편의상 다음 표 1과 같이 정의한다.

표 1. 약어
 Table 1. Acronym.

약어	정의
D_1	드럼의 직경[m]
D_2	러너의 직경[m]
$y(t)$	드럼의 수위[m]
$Q_i(t)$	용수의 유입량[m ³ /sec]
$Q_o(t)$	용수의 유출량[m ³ /sec]
$Q_s(t)$	잉여수량[m ³ /sec]
a	블레이드측 유출수의 유출비, $0 < a < 1$
$v(t)$	유출속도[m/sec]
u	매개변수
t	용수가 유입되기 시작한 순간부터 측정한 시간[sec]
t_s	수위가 안정되는 상승시간
g	중력가속도[9.8m/sec ²]
C	경계조건에 의하여 결정되는 적분상수
기타	수식 전개시 필요할 경우에 정의

* 가정사항

- 드럼통에 공급되는 용수는 드럼통 내에서 소용돌이, 파문, 동요, 과도현상과 같은 시변(time-variant) 상황을 일으키지 않고 일정한 수위를 형성한다.
- 드럼통에 공급되는 순간의 용수 운동에너지는 없다.
- 드럼통은 완전한 원통이다.
- 용수는 점성이나 압축성이 없어서 포아죄유의 법칙(Poiseuille's law) 대신 베르누이의 법칙을 따른다.
- 수위로 형성된 위치에너지는 러너에서 완벽하게 운동에너지로 변환된다.
- 러너의 효율이나 전기발전기의 효율은 완전하다.

그림 2와 같은 발전소를 기준으로 하여 연구를 시작한다. 운전 시작하게 되면 배관을 통해 용수가 공급되어 드럼 내에 물이 증가되는 양은 물의 유입량에서 유출량을 뺀 잉여분이 될 것이므로

$$Q_s(t) = Q_i(t) - Q_o(t) \tag{1}$$

와 같이 표현할 수 있다. 시간 t 초 후의 수위가 $y(t)$ 라 하면 이 수위는 곧 위치에너지로서 블레이드가 위치한 곳 즉 $y(t)=0$ 인 곳에서의 유출속도는

$$v(t) = \sqrt{2gy} \tag{2}$$

이고 블레이드측의 유출단면적은 $\pi(\frac{D_2}{2})^2$ 이므로 이 단면적을 통하여 유출되는 초당 물의 유출량은

$$\begin{aligned} Q_o(t) &= \pi(\frac{D_2}{2})^2 a \cdot v(t) \\ &= \pi(\frac{D_2}{2})^2 a \cdot \sqrt{2gy} \end{aligned} \tag{3}$$

와 같이 표현된다. 여기서 a 는 유출비로서 $0 < a < 1$ 인 범위의 무차원상수이다. 그러므로 유입량에서 유출량을 뺀 나머지가 드럼통내에 잉여수량으로 누적된다고 할 수 있다.

$$Q_s = Q_i(t) - \pi(\frac{D_2}{2})^2 a \cdot \sqrt{2gy} \tag{4}$$

따라서 단면적이 $\pi(\frac{D_1}{2})^2$ 인 드럼통내의 수위상승율은

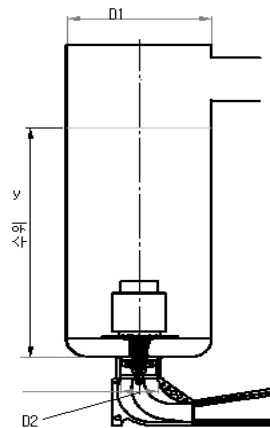


그림 2. 실제 종축소수력발전소
 Fig. 2. Sample plant.

$$\frac{dy}{dt} = \left\{ Q_i(t) - \pi \left(\frac{D_2}{2} \right)^2 a \cdot \sqrt{2gy} \right\} / \pi \left(\frac{D_1}{2} \right)^2 \quad (5a)$$

와 같이 표현된다. 여기서, 유입수량이 시간경과에 따라 불변으로서 일정하다면 $Q_i(t) = Q$ 와 같이 상수로 놓을 수 있으므로

$$\frac{dy}{dt} = \left\{ Q - \pi \left(\frac{D_2}{2} \right)^2 a \cdot \sqrt{2gy} \right\} / \pi \left(\frac{D_1}{2} \right)^2 \quad (5b)$$

와 같이 표현된다. 이 미분방정식을 풀기 위해 식을 변수분리형으로 분리하면

$$\frac{dy}{Q - \pi \left(\frac{D_2}{2} \right)^2 a \sqrt{2g} y^{1/2}} = \frac{dt}{\pi \left(\frac{D_1}{2} \right)^2} \quad (5c)$$

와 같이 된다. 여기서 계산편의상 새로운 매개변수 u 를 도입하여

$$Q - \pi \left(\frac{D_2}{2} \right)^2 a \cdot \sqrt{2g} y^{1/2} = u \quad (6)$$

라 하면, $-\frac{\pi}{2} \left(\frac{D_2}{2} \right)^2 a \cdot \sqrt{2g} y^{-1/2} dy = du$ 이므로 이것을 정리하여

$$dy = - \frac{y^{1/2} du}{\frac{\pi}{2} \left(\frac{D_2}{2} \right)^2 a \cdot \sqrt{2g}} = -2(Q-u) du \quad (7)$$

을 얻게 되고, 연쇄법칙에 의하여 $\frac{dy}{dt} = \frac{dy}{du} \frac{du}{dt}$ 이므로, 원식을 변수로 치환하여 정리하면

$$\frac{-(Q-u)du}{u} = \frac{1}{\pi \left(\frac{D_1}{2} \right)^2} dt \quad (8)$$

이다. 이것을 적분하여

$$\int \left(\frac{1-Q}{u} \right) du = \int \frac{1}{2\pi \left(\frac{D_1}{2} \right)^2} dt$$

$$(u - Q \ln |u|) = \frac{1}{2\pi \left(\frac{D_1}{2} \right)^2} t + C \quad (9)$$

와 같은 결과를 얻는다. 여기서, C 는 경계조건에 의하여 결정되는 적분상수이다. 이제 t 초 후의 수위를 구하려면 우선 식 (9)를

풀어서 매개변수 u 를 구한 후 식(6)을 적용하여 수위 $y(t)$ 를 구하면 된다.



(a) 발전소 전경
(a) plant panorama



(b) 러너 블레이드
(b) runner blade



(c) 러너 블레이드 부분의 외관
(c) appearance of runner blade part

그림 3. 발전소
Fig. 3. Plant.

IV. 실례

그림 2와 동일한 형태의 발전시스템에서 $Q_i(t) = 1m^3sec$, $D_1 = 2000mm$, $D_2 = 500mm$, $a = 0.6$ 라 가정하여 이를 기준으로 드럼수위를 검토한다.

이것은 현재 국내의 산업시설에 저자들이 설계, 제작 및 건설한 발전소의 실제 데이터이다(그림 3 참조).

$$Q_o(t) = \pi \left(\frac{0.5}{2}\right)^2 \times 0.6 \times \sqrt{2 \times 9.8} y^{1/2} = 0.5213y^{1/2},$$

$$u = 1 - \pi \left(\frac{0.5}{2}\right)^2 \times 0.6 \times \sqrt{2 \times 9.8} y^{1/2} = 1 - 0.5213y^{1/2},$$

$$2\pi \left(\frac{D_1}{2}\right)^2 = 2 \times 3.14 \times \left(\frac{2}{2}\right)^2 = 6.28$$

이므로 이 값들을 식 (9)에 대입하여 정리한다.

$$(1 - 0.5213y^{1/2}) - \ln|1 - 0.5213y^{1/2}|$$

$$= \frac{1}{6.28}t + C = 0.1592t + C$$

그런데 $t = 0$ 일 때에 $y(0) = 0$ 이므로 $(1 - 0) - \ln 1 = C$ 인 관계에서 $C = 1$ 이다. 따라서 구하고자 하는 방정식은

$$(1 - 0.5213y^{1/2}) - \ln|1 - 0.5213y^{1/2}| = 0.1592t + 1$$

이 된다.

이 식에 의하여 시간 t 에 따른 수위를 계산할 수 있다. 시간이 경과함에 따라 수위가 상승하나, 한편 수위가 상승하면 블레이드측에서의 유출속도가 빨라져서 물의 유출이 심해지므로 수위가 상승하는 데에는 한계가 있다. 이 한계는 수위상승율이 +인 범위 즉, 방정식(5a)의 값이 +인 범위가 될 것이므로 이것을 계산해보면 $y(t) = 3.68m$ 가 되고 이 값이 드럼통 내의 용수도 달할 수 있는 최고 높이가 된다. 이 값의 90%에 이르는 시간 즉, $y(t_s) = 3.312m$ 가 되는 상승시간은 $t_s = 12.4 sec$ 가 된다. $t = 30 sec$ 가 되면 $y(30) = 3.652m$ 가 되어 어느 정도 안정수위를 유지하게 된다.

반대로, 용수가 공급되기 전에 드럼통에 용수가 이미 가득 차 있는 경우를 살펴본다. 이 때에는 용수에 의한 위치에너지가 크므로 러너 측에서의 운동에너지도 마찬가지로 크게 되어 식 (2)에 의한 용수의 유출속도도 커지므로 유출량을 증가시킨다. 이로 인해 드럼통 내의 용수가 빠르게 감소되어 수위를 점점 하강시킨다. 수위가 하강함에 따라 유출속도도 감소하므로 유출량이 점점 줄어들게 되어 어느 범위로 수렴하게 된다. 이 수렴값은 빈 드럼통에 용수를 채워가서 수위가 상승하여 최종적으로 이르게 되는 수렴치와 동일한 값 즉, $y(t) = 3.68m$ 가 될 것이다. 이러한 관계를 그림으로 나타내면 그림 4와 같다.

표 2. 운전데이터

Table 2. Operating data.

인버터의 토크(%)	출력 전압(V)	출력전류(A)	출력(KVA)
40	498	49.47	42.67
45	480	55.36	46.03
50	460	61.21	48.77

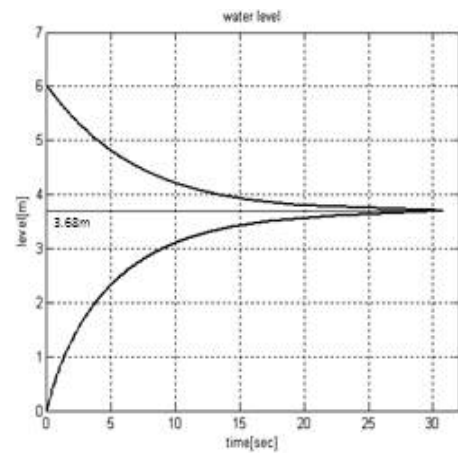


그림 4. 시간에 따른 드럼의 수위상승

Fig. 4. Drum water level elevation vs. time.

위 표 2에서는 상기와 같은 데이터를 이용하여 실제로 상업운전을 하는 발전소의 어느 순간의 측정데이터를 표시하였다.

이러한 검토를 통해서 밝혀진 사실은 다음과 같다. 즉, 본 논문에서 가정한 바와 같은 소수력발전소를 운전함에 있어서 드럼 내의 수위에 관한 거동은 초기상태가 어떠한지간에 그 형상에 관계 없이 시간의 경과에 따라 어떤 안정상태로 수렴해간다는 것이다. 드럼통 내의 수위는 오직 용수의 인입수량과 유출수량에 의해서만 결정되며, 기타 드럼통의 크기나 형상 등은 수위의 결정에 아무런 역할을 하지 못하기 때문에 출력에도 영향을 주지 못한다.

즉, 주어진 조건 하에서 출력을 최대한으로 높히려면 용수의 유입량을 늘리든가 유출수량을 줄여야지 드럼통의 직경을 줄이거나 높이를 늘리는 등의 방법으로는 불가하다.

V. 결론

소수력발전방식 중에서 피코급 소수력발전기는 규모가 작고 구조가 간단하여 자연적인 하천과 같은 지대는 물론, 산업시설, 업무용 빌딩, 주택단지와 같은 인공구조물에서도 쉽게 적용할 수 있다는 장점이 있다. 발전시스템은 크게 보아 용수를 공급하기 위한 배관, 용수를 수용하기 위한 드럼통, 수력터빈과 전기적인 발전기가 직결된 증축수력발전기, 사용한 물을 외부

로 배출하는 흡출관으로 구성된다.

본 논문에서는 위와 같은 시스템을 갖춘 소수력발전소에서 인입 배관을 통하여 드림에 일정한 양의 용수가 공급된다고 가정하고 시간의 경과에 따라 드림통의 수위가 상승하는 거동을 연구하였다. 드림통 내의 물의 거동은 충격, 파동, 소용돌이 등으로 아주 복잡하나 상기와 같은 가정 하에 대상을 단순화시켜서 드림의 수위를 결정하는 분석방법을 제시하였다. 이 방법에 의하면 용수를 드림통에 일정하게 공급할 경우, 시간의 경과에 따라 드림통의 수위가 상승하기는 하지만 반면, 그 상승효과 때문에 증가되는 위치에너지에 의한 러너 측 유출속도와 유출량이 증가하여 수위상승을 억제하고 그 결과 수위상승이 어느 위치에 멈추게 되며, 계속적으로 수위가 상승하게 되지는 않는다. 이렇게 상승이 멈추게 되는 상태를 평형상태로 볼 수 있다.

반대로, 용수가 공급되기 전에 드림통에 용수가 이미 가득 차 있는 경우에도 러너측의 유출증가로 인하여 드림통 내의 용수가 빠르게 감소되어 수위를 점점 하강시켜 어느 안정범위로 수렴하게 된다. 이 수렴값은 빈 드림통에 용수를 채워가면서 수위가 상승하여 최종적으로 이르게 되는 수렴치와 동일한 값이 될 것이다.

이 시스템의 개발 및 분석에 의하면 드림통의 수위는 드림통의 크기나 높이, 폭, 형태, 러너의 형상 등과는 관계 없이 결정된다. 그 수위는 오직 인입수량과 유출수량에 의하여만 결정되고 이에 따라 출력전력도 유사한 거동을 보인다는 것이 밝혀졌다. 그러므로 인입수량이 많지 않으면 원하는 수준의 드림수위를 유지할 수 없을 뿐만 아니라, 원하는 출력전력도 얻을 수 없다.

이것을 입증하기 위하여 현재 국내 산업시설에 설치되어 시험 운전 중에 있는 중축소수력발전시스템에 대하여 이 방법을 적용하여 드림수위를 결정하는 계산을 수행하였다. 그 계산 결과에 의하면 주어진 용수의 공급량으로서는 현재 설치된 드림통의 최고 높이까지 수위를 유지할 수 없다는 것이 밝혀졌다. 그러므로 현재보다 수위와 출력전력을 높이려면 인입용수의 인입량을 증가시켜야 한다.

hydropower plant using treated effluent in wastewater treatment plant”, *Korean Solar Energy Society*, Vol.33, No.2, pp. 78-83, 2013.

[3] J. H. Ha, B. J. Son, and C. S. Kim, *Hydraulic machine* : University Bookstore, pp. 198-238, 1987.

[4] E. T. Kim, Y. C. Jung, and J. W. Park: Efficiency measurement and analysis examples, Korea Water Resources Corp, pp. 748-756.

[5] C. H. Lee and W. S. Park, “Hydraulic performance measurement of vertical propeller turbine model”, in *Proceeding of Korean Solar Energy Society*, Jeju:Korea, pp. 105-109, April. 2006.

[6] P. Drtina and M. Sallaberger, “Hydraulic turbine-basic principles and state-of-the-art computational fluid dynamics application”, *Mechanical Engineers*, Vol. 213, Part C, pp. 85-102, 1999.

[7] T. C. Vu, M. Koller, M. Gauthier, and C. Deschenes, “Flow simulation and efficiency hill chart prediction for a Propeller turbine”, in *25th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and System*, Philadelphia: PA, pp. 1-10, 2010.

[8] T. C. Vu, M. Koller, M. Gauthier, and C. Deschenes, "Flow simulation for a propeller turbine with different runner blade geometries”, in *26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and System*, Philadelphia: PA, pp. 1-8, 2012.

[9] C. O'Neil, M. Leclerc, and C. Descheene, “A new turbine for very low head applications”, *Natural Resources (Canada)*, pp. 1~9, 2007.

[10] S. S. Byun, C. K. Hong, and Y. J. Kim, “Numerical Study on the Flow Characteristics of the Propeller Turbine with Various Tip Clearances and Pitch Angles”, in *Proceeding of The Korean Society of Mechanical Engineers*, Changwon:Korea, pp. 1303~1308, 2012.

참고문헌

[1] B. Whang : Actual retreat of new and renewable energy target 11% - ...the last of OECD, Hankyoreh, January 5, 2014.

[2] C. H. Lee, W. S. Park, W. K. Kim, J. Y. Kim, and K. J. Chae, “Design and performance prediction of small



최규식 (Gyu-Shik Che)

1973년 : 서울대학교 공과대학 전기공학과(공학사)
 1983년 : 뉴욕공과대학 전기공학과(공학석사)
 1993년 : 명지대학교 전기공학과(공학박사)
 1978년 ~1993년 : 한국전력기술 중앙연구소 책임연구원
 1993년 ~ 2014 : 건양대학교 의공학과 교수
 * 관심분야 : 생체계측, 의학물리, 원자력, 수력



정 주 원 (Ju-One Jung)

2001년 : 서울산업대학교 전파공학과(공학사), 2004년 : 서울산업대학교 정밀기계공학과(공학석사)

1978년 ~ 1983년 : 금성사(주)

1983년 ~ 1986년 : 대우중공업

1993년 ~ 2006년 : 대한상의 인력개발사업단 금형과 교수

2013년 ~ 현재 : SH(주) 대표이사

※ 관심분야 : 소수력발전, 신재생에너지, 오축가공, 동기발전기,