

【 論 文 】

강우자료 분석에 의한 소수력 발전소의 성능예측

Performance Prediction of Small Hydropower Plant  
through Analyzing Rainfall Data

이 철 형\*\*      박 완 순\*\*      신 동 렬\*      정 현 생\*  
Chul Hyung Lee      Wan Soon Park      Dong Ryul Shin      Hun Saeng Chung

ABSTRACT

This study represents the method to predict the flow duration curve and primary design specifications of small hydropower plant at hydropower site through analyzing the monthly rainfall data. Weibull distribution was selected to characterize the rainfall data and Thiessen method was used to calculate monthly average flowrate at site.

Application of these results, primary design specifications such as design flowrate, annual average load factor and utility factor, annual average hydropower density and annual electric energy production were estimated and discussed for surveyed site located in Daigi-ri, Kangwon province. And performance characteristic model of small hydropower plant was applied to estimate these specifications.

기 호

A ; 유역면적 (  $km^2$  )  
C ; 시스템 시설용량 ( kW )  
D(q); 유황곡선함수  
Ea ; 연간 전기 생산량 ( kWh )  
Eia ; 소수력 가용량 ( kWh )  
F(q); 누적분포함수  
g ; 중력가속도 (  $m/sec^2$  )  
H ; 유효낙차 ( m )  
k ; 유출계수  
Lf ; 시스템 년평균 가동율 ( % )  
Pa ; 평균 전기 에너지양 ( kW )

Pie ; 순수한 소수력 에너지양 ( kW )  
Pe ; 순수한 평균 전기 에너지양 ( kW )  
Pim ; 순수한 평균 소수력 에너지양 ( kW )  
P(q); 확률밀도함수  
Q ; 유량 (  $m^3/sec$  )  
Qa ; 년 평균유량 (  $m^3/sec$  )  
Qm ; 월 평균유량 (  $m^3/sec$  )  
Qr ; 시스템 설계유량 (  $m^3/sec$  )  
q ; 단위 유역면적에 대한 유량 (  $m^3/sec$  )  
qr ; 단위 유역면적에 대한 설계유량 (  $m^3/sec$  )  
R ; 강우량 ( mm )  
Rm ; 월간 총 강우량 ( mm )  
Rt ; 연간 총 강우량 ( mm )  
Uf ; 시스템 년평균 이용율 ( % )

\* 정회원 : 한국동력자원연구소  
\*\* 한국동력자원연구소

- W ; 분할된 유역면적의 가중치
- $\alpha$  ; Weibull 분포의 형상계수
- $\beta$  ; Weibull 분포의 척도계수 ( $m/sec$ )
- $\rho$  ; 물의 밀도 ( $kg/m^3$ )
- $\eta_g$  ; 발전기 효율
- $\eta_m$  ; 기계적 효율
- $\eta_t$  ; 수차 효율

### 참 자

- i ; i 번째 강우량 관측소에 의한 영향

## 1. 서 론

화석에너지가 빈곤한 우리나라는 제 1차 석유판동 이후 석유에 대한 대체에너지개발에 박차를 가해 왔으며, 이미 정부에서는 대체 에너지로서의 소수력 개발을 위하여 1974년에 소수력 발전을 위한 입지 및 자원조사를 수행하였고(1) 이어 1975년에는 시범적 소수력 발전소의 설계를 수행한바 있으며(2), 또한 이를 기본으로 하여 안흥에 설비용량 450kW의 소수력 발전소를 건설하여 현재 가동중에 있다.

그러나 이후 소수력 발전에 관한 관심과 정부의 지원 등의 부족으로 인하여 소수력 발전은 거의 개발되지 않다가 제 2차 석유판동 이후 이에 대한 관심이 고조되면서 1982년 부터 1984년까지 국내에서 개발 가능한 유망 후보지점에 대한 자원 실측을 통하여 소수력 개발을 위한 실제적인 소수력 자원조사가 수행되었으며(3)(4)(5), 현재는 11개의 소수력 발전소가 건설되어 운영되고 있다.

수력 발전은 재생가능한 순환에너지로써 단위 출력당 투자비용이 다른 에너지에 비해 높고, 소수력 발전은 대수력 발전에 비해 더 많은 비용이 소요되는 것으로 알려져 있으나 소수력 발전지점의 특성 및 개발형식에 따라서도 다르므로 복합적이라 할 수 있다. 또한 소수력 발

전소는 수명이 길고 안정한 에너지 공급이 가능하며, 화력 및 원자력과 비교할 때 환경에 대한 영향이 거의 없는 깨끗한 에너지로써 미래의 청정에너지 개발이라는 측면에서 개발이 유망한 에너지원이다.

소수력 발전은 앞서 언급한 바와 같이 지역의 특성 및 개발형식에 큰 영향을 받기 때문에 적절한 발전소를 설계하기 위해서는 발전지점에서의 수문학적 조사자료와 지형 등의 자료를 근거로 시설용량, 발전기기의 형식 및 발전소 운영방식 등의 기본 설계사항이 결정되며, 이를 토대로 세부설계가 이루어 져야 한다.

소수력 발전소의 시설용량은 소수력 발전소의 투자단가 및 가동율 등에 영향을 미치며, 이러한 사항은 다른 제반인자와 더불어 소수력 발전소의 시설용량은 해당지점의 유량 및 지형 특성에 의해 결정되며, 유량은 해당지점의 유역면적, 유출계수 및 강우량에 관계된다. 이 가운데 유역면적 및 유출계수는 지형특성에 의해 결정되므로 유량에 많은 영향을 주는 것은 강우량이라 할 수 있다.

본 연구에서는 강우량 자료가 소수력 발전소의 초기 설계 단계 뿐 아니라 시스템 운영에 있어서도 매우 중요하다는 사항에 주안점을 두고 강우량 자료를 이용하여 소수력 발전소에서의 유황곡선 작성 방법과 설계유량 산정 방법을 정립하였다. 또한 이의 응용으로 소수력 발전소의 소수력 가용량, 시설용량, 연간 가동율 및 연간 발전량 등 소수력 발전소의 특성을 분석하는 방법을 제시하였다.

## 2. 강우량 자료 분석

강우량 자료는 소수력 발전소에서의 유량을 예측하는데 있어서 매우 중요한 자료이다. 만일 소수력 발전소의 해당 유역면적내에 여러지점의 강우량 관측소가 존재할 경우 각각의 측정소에서 측정된 강우량 자료가 유기적으로 관계

표 1 정선 관측소에서 측정된 월간 강우량 자료

(단위 : mm)

월 년	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계
72	127.0	28.4	112.3	47.8	97.2	61.1	102.5	596.9	44.2	53.0	98.7	15.4	1384.5
73	55.0	3.3	10.5	91.5	86.8	105.3	120.6	116.6	111.5	33.3	16.7	12.9	764.0
74	9.3	26.8	40.6	131.0	230.2	21.5	320.5	137.6	71.8	56.3	11.4	27.7	1084.7
75	20.7	23.0	76.6	86.4	121.7	102.1	386.4	65.1	294.8	56.6	28.8	29.3	1291.5
76	2.7	100.9	13.8	88.6	31.0	84.3	99.8	619.2	44.4	43.1	18.5	28.6	1174.9
77	4.5	0.0	37.7	237.5	46.3	73.5	153.9	62.6	109.7	8.0	44.6	36.2	815.5
78	22.8	41.2	65.5	44.3	29.8	286.9	160.5	261.3	32.1	72.1	6.9	40.4	1063.8
79	11.7	43.4	101.7	160.7	86.1	341.1	138.4	361.0	913.0	6.5	21.4	36.2	1401.2
80	21.3	2.2	29.8	119.2	77.6	178.5	524.3	184.1	42.7	34.4	23.9	3.3	1241.3
81	8.2	5.0	6.0	30.0	67.0	145.0	256.0	197.0	76.0	13.0	20.0	0.0	823.2
82	2.6	1.1	16.5	30.0	129.0	25.0	93.0	211.0	2.0	23.0	4.5	28.4	566.1
83	3.9	55.4	46.6	40.0	40.0	82.0	148.0	137.0	98.0	13.0	5.0	0.0	668.9
84	16.1	12.6	18.7	111.8	48.2	140.5	229.4	197.5	257.4	5.8	59.6	22.0	1119.6
85	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	20.0	129.0	236.0	184.0	182.0	11.0	8.0	784.0
86	15.4	7.4	14.0	59.0	66.5	156.5	278.5	135.0	54.5	103.0	21.1	36.5	947.4
87	37.4	151.1	43.4	31.0	118.5	87.0	459.0	362.0	24.7	5.5	49.0	3.5	1372.9
88	7.0	7.7	30.2	57.5	35.0	82.0	466.0	75.0	87.0	1.5	23.9	4.7	877.5

되어 해당 소수력 발전소에서의 유황곡선(flow duration curve)이 작성된다. 유황곡선은 시간에 대한 유량의 변화를 표시하는 것으로 가로축에 시간비를, 세로축에 유량을 나타낸다.

대부분의 소수력 발전지점은 하천의 상류에 위치하고 유입량 등에 대한 수문학적인 실측 자료가 부족하기 때문에 소수력 발전 지점에서의 유황곡선을 작성하기 위해서는 각각의 관측소별 강우량 자료를 분석하는 것이 필요하다.

표 1 은 정선 관측소에서 측정된 월별 총 강우량 자료를 년도별로 정리한 것이다.(6) 표 1 에서 보는 바와 같이 우리나라의 연간 강우량은 월별, 계절별, 년별 변동이 매우 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 강우량 자료는 하천의 유량을 예측하는데 있어서 매우 중요한 자

료로 활용되고, 소수력 발전소에서의 기본자료 및 제반사항을 이해하는데 유용하게 사용되기 때문에 이를 특성화하여 분석할 필요가 있다.

하천의 유량은 하천이 소속되어 있는 해당 유역면적내의 강우량 자료에 의해 결정되지만 그 관계는 매우 복잡하여 해당 유역의 고유특성인 지형, 지질 뿐 아니라 계절적으로 변화하는 지표상태, 대기의 온도 및 습도, 강우상태 등의 제반 인자들의 복잡한 상호관계에 따라 변하게 된다. 그러나 계절적인 제변화는 1년을 통하여 규칙적으로 변하기 때문에 연간 강우량에 대한 연간 유량의 비는 지역에 따라 일정한 값을 가지며 이를 해당 유역의 유출계수라 한다. 우리나라의 경우 소수력 발전입지에 대한 실측 자료에 의하면 유출계수를 0.7로 취하여도 무방하다는 결과가 발표된 바 있다.(7)

표 2 정선 관측소에 영향을 받는 단위 유역면적당의 월 평균유량

(단위 :  $10^{-3} m^3 / sec$ )

년 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
72	33.8	7.6	29.9	12.7	25.9	16.3	27.3	159.0	11.8	14.1	25.3	4.1
73	14.7	0.9	2.8	24.4	23.1	28.1	32.2	31.1	29.7	8.9	4.5	3.4
74	2.5	7.1	10.8	34.9	61.3	5.7	85.4	36.7	19.1	15.0	3.0	7.4
75	5.5	6.1	20.4	23.0	32.4	27.2	102.9	17.3	78.5	15.1	7.7	7.8
76	0.7	26.9	3.7	23.6	8.3	22.5	26.6	165.0	11.8	11.5	5.0	7.6
77	1.2	0.0	10.0	63.3	12.3	19.6	41.0	17.0	29.2	2.1	11.9	9.6
78	6.1	11.0	17.5	11.8	7.9	76.4	42.8	69.6	8.6	19.2	1.8	10.8
79	3.1	11.6	27.1	42.8	22.9	90.9	36.9	96.2	243.2	1.7	5.7	9.6
80	5.7	0.6	7.9	31.8	20.7	47.6	139.7	49.0	11.4	9.2	6.3	0.9
81	2.2	1.3	1.6	8.0	17.9	38.6	68.2	52.5	20.2	3.5	5.3	0.0
82	0.7	0.3	4.4	8.0	34.4	6.7	24.8	56.2	0.5	6.1	1.2	7.6
83	1.0	14.8	12.4	10.7	10.7	21.8	39.4	36.5	26.1	3.5	1.3	0.0
84	4.3	3.4	5.0	29.8	12.8	37.4	61.1	52.6	68.6	1.5	15.9	5.9
85	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	5.3	34.4	62.9	49.0	48.5	2.9	2.1
86	4.1	2.0	3.7	15.7	17.7	41.7	74.2	36.0	14.5	27.4	5.6	9.7
87	10.0	40.3	11.6	8.3	31.6	23.2	122.2	96.4	6.6	1.5	13.1	0.9
88	1.9	2.1	8.0	15.3	9.3	21.8	124.1	20.0	23.2	0.4	6.4	1.3

하천의 년 평균유량은 해당지역의 연간 총 강우량과 지도상에서 구해지는 유역면적으로 부터 다음과 같이 산정된다.

$$Q_a = \frac{R_t \times 10^{-3} \times A \times 10^6 \times k}{365 \times 24 \times 60 \times 60} \quad (1)$$

하천의 유황곡선을 작성하기 위해서는 월 평균유량에 관한 자료가 필요하다. 만일 유출계수 k가 계절별, 월별로 변하지 않고 년 중 일정한 값을 유지한다고 하면 하천의 월 평균유량은 다음과 같이 산정된다.

$$Q_m = \frac{R_m \times 10^{-3} \times A \times 10^6 \times k}{30.42 \times 24 \times 60 \times 60} \quad (2)$$

여기서 분모의 30.42는 월간 총 일수를 나타낸다.

식 (2)를 이용하여 표 1의 월간 강우량 자료를 단위 유역면적당, 즉 유역면적 1km<sup>2</sup> 당의 월 평균유량으로 환산하여 정리하면 표 2와 같다.

표 2는 하천의 단위 유역면적당 월 평균유량을 나타내는 것으로 해당하천의 유황곡선 작성에 매우 중요한 자료이다. 표 2에서와 같이 월 평균 유량은 년도별, 월별로 변동이 심하므로 이를 이용하여 유황곡선을 작성하기 위해서는 자료를 특성화할 필요가 있다.

Weibull 분포는 풍속자료와 같이 간헐적이며, 시간에 따라 변화가 많고 왜곡도가 큰 랜덤데이터의 분석에 적합한 것으로 알려져 있다.(8) 강우량 자료도 풍속자료와 마찬가지로 월별, 년별로 변화가 매우 심하고 왜곡도가 큰 랜덤데이터이기 때문에 본 연구에서는 원자료인 월간

강우량자료를 단위 유역면적당의 월평균유량 자료로 변환하여 Weibull 분포를 이용하여 이를 특성화 하였다.

Weibull 분포의 확률밀도함수(probability density function)  $P(q)$  와 누적분포함수  $F(q)$  는 다음과 같이 표시된다.

$$P(q) = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \left(\frac{q}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left\{-\left(\frac{q}{\beta}\right)^\alpha\right\} \quad (3)$$

$$F(q) = \int_0^q P(q) dq = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{q}{\beta}\right)^\alpha\right\} \quad (4)$$

Weibull 분포의 계수  $\alpha$  와  $\beta$  를 구하는 방법에는 모멘트 방법, maximum likelihood 방법 및 ln 최소자승법(ln least square method) 등이 있으나, 본 연구에서는 ln 최소자승법을 사용하였으며,  $\alpha$  와  $\beta$  는 다음과 같이 구할 수 있다.

식(4)를 정리하여 양변에 ln을 취하면

$$\ln[-\ln\{1-F(q)\}] = \alpha \ln q - \alpha \ln \beta \dots (5)$$

로 되어  $Y=aX+b$ 의 형태로 표시되며,

$$\left. \begin{aligned} Y &= \ln[-\ln\{1-F(q)\}] \\ X &= \ln q \\ a &= \alpha \\ b &= -\alpha \ln \beta \end{aligned} \right\} (6)$$

로 된다.

식(6)에서  $Y$ 는 누적분포에 관한 항이며  $X$ 는 단위 유역면적당 월 평균유량에 관한 항으로 표시된다.  $n$ 개의  $(X, Y)$  자료 즉  $n$ 개의 누적분포와 단위 유역면적당 월 평균 유량자료에 대해  $a$ 와  $b$ 를 구하면 다음과 같다.

$$a = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}} \quad (7)$$

$$b = \frac{1}{n} \sum Y - \frac{a}{n} \sum X$$

여기에서  $a$ 와  $b$ 를 계산하기 위해서는 표 2의 자료를 표 3과 같은 계급별로 누적시켜 월 평균유량과 누적분포의 쌍인  $(q, F(q))$ 를 사용하여야 한다.

표 3 정선 관측소의 단위 유역면적당 월 평균유량의 계급별 누적시간비

유 량 (q) (m/sec)	누적(F(q))	유 량 (q) (m/sec)	누적(F(q))
0.005	0.441	0.135	0.985
0.015	0.623	0.145	0.985
0.025	0.760	0.155	0.990
0.035	0.838	0.165	0.995
0.045	0.882	0.175	0.995
0.055	0.897	0.185	0.995
0.065	0.931	0.195	0.995
0.075	0.946	0.205	0.995
0.085	0.951	0.215	0.995
0.095	0.966	0.225	0.995
0.105	0.971	0.235	0.995
0.115	0.971	0.245	1.0
0.125	0.980		

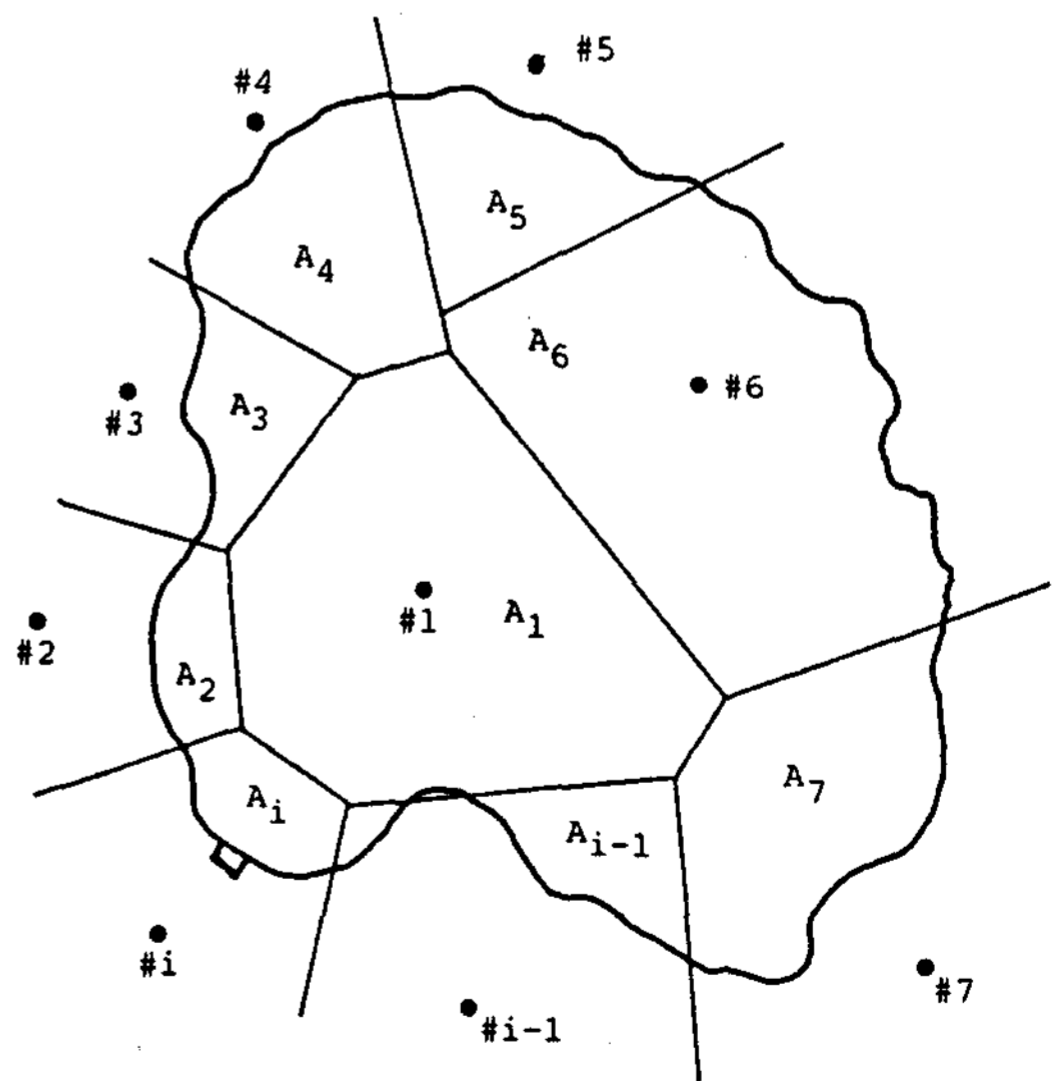


그림 1 여러개의 강우량 관측소에 의해 분할된 유역면적 (Thiessen 법)

만일 그림 1에서와 같이 소수력 발전소의 해당 유역면적내에  $i$ 개의 강우량 관측소가 존재한다면 유역면적내에서의 평균 강우량은 Thiessen법에 의해 구할 수 있으며, 평균 강우량  $R$ 은 다음과 같이 표시된다.

$$R = \sum W_i R_i \dots\dots\dots (8)$$

여기서  $W_i$ 는

$$W_i = A_i / A \dots\dots\dots (9)$$

이며  $A_i$ 는 유역면적  $A$ 내에서 해당 강우량 관측소에 의해 분할된 유역면적을 나타내고  $R_i$ 는  $i$ 번째 강우량 관측소에서의 강우량을 나타낸다.

소수력 발전소를 통과하는 유량도 강우량과 마찬가지로 다음과 같이 표시된다.

$$Q = A \sum W_i q_i \dots\dots\dots (10)$$

따라서 소수력 발전소를 통과하는 유량을 모두 누적시킨 누적분포함수  $F(q_i)$ 와 확률밀도함수  $P(q_i)$ 는 다음과 같다.

$$F(q_i) = \sum W_i [1 - \exp\{-\frac{q_i}{\beta_i} \alpha_i\}] \dots (11)$$

$$P(q_i) = \sum W_i \frac{\alpha_i}{\beta_i} (\frac{q_i}{\beta_i})^{\alpha_i-1} \exp\{-\frac{q_i}{\beta_i} \alpha_i\} \dots\dots\dots (12)$$

또한 소수력 발전소에서의 유황곡선을 나타내는 유황곡선함수  $D(q_i)$ 는 누적분포함수  $F(q_i)$ 와 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$D(q_i) = W_i - F(q_i) = \sum W_i \exp\{-\frac{q_i}{\beta_i} \alpha_i\} \dots\dots\dots (13)$$

### 3. 소수력 발전 시스템의 성능특성

소수력 발전 시스템은 유량과 낙차로부터 에너지를 추출하는 것으로 소수력 발전소에서 얻

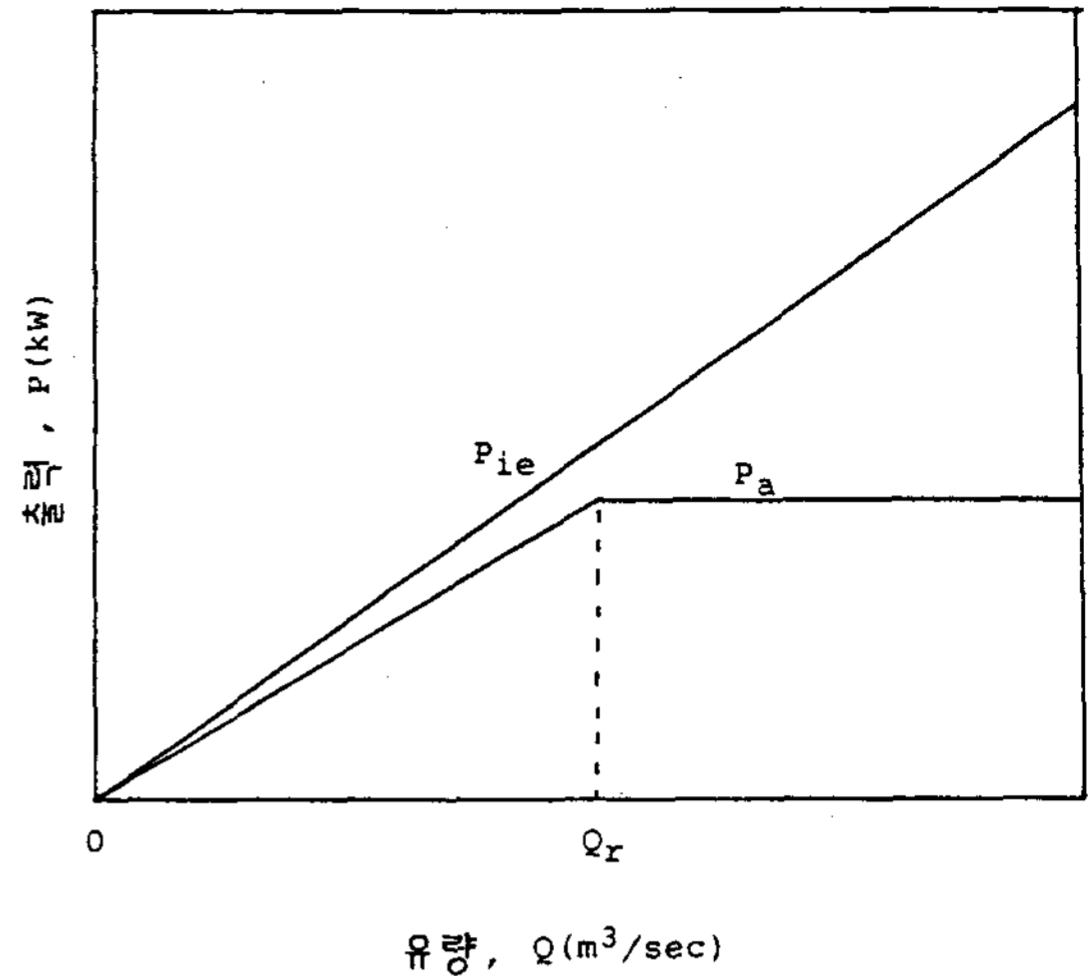


그림 2 소수력 발전 시스템의 출력 특성

을 수 있는 순수한 소수력 에너지  $P_{ie}$ 는

$$P_{ie} = \rho g Q H \dots\dots\dots (14)$$

이다.

그림 2는 단위 낙차, 단위시간당 단일기의 소수력 발전 시스템에 대해 유량변화에 따른 출력의 변화를 나타내는 그림이다. 순수한 소수력 에너지  $P_{ie}$ 는 낙차가 일정할 경우 유량 변화에 따라 선형적으로 변하게 된다. 그러나 소수력발전 시스템에서 발생하는 전기에너지는 순수한 소수력 에너지  $P_{ie}$ 와는 달리 시스템의 설계유량  $Q_r$ 이 존재하기 때문에 시스템의 출력 특성이 바뀌게 된다.

소수력 발전 시스템에서 발생하는 전기에너지  $P_a$ 는 설계유량 이하에서는 유량 변화에 따라 선형적으로 변하게 된다. 그러나  $P_a$ 는 시스템의 효율로 인하여 순수한 소수력 에너지  $P_{ie}$ 보다 항상 적은 값을 갖게 된다. 또한 소수력 발전 시스템은 설계유량이 존재하기 때문에 설계유량 이상의 유량에서는 설계유량에 해당하는 유량만을 사용하고 이를 초과하는 유량은 방류하기 때문에  $P_a$ 는 일정하게 유지된다. 앞에서 언급한 바와 같이 소수력 발전소를

통과하는 유량은 계절별, 월별로 다르기 때문에 순수한 소수력 에너지와 소수력 발전 시스템에서 발생하는 에너지는 쉽게 구할 수 없다. 이 값들을 해석적으로 구하기 위해서는 확률 밀도함수를 이용하여야 한다. Weibull 확률 밀도함수를 이용하여 소수력 발전소에서 얻을 수 있는 단위시간당의 순수한 평균 에너지양  $P_{im}$ 을 구하면 다음과 같다.

$$P_{im} = \sum \int_0^{\infty} \rho g A_i q_i H P(q_i) dq_i \quad (15)$$

식 (11)을 이용하여 식 (15)를 정리하면,

$$P_{im} = \rho g H \sum A_i \beta_i \Gamma(1+1/\alpha_i) \quad (16)$$

을 얻을 수 있다. 여기서  $\Gamma$ 는 gamma 함수를 나타낸다.

그러나  $P_{im}$ 은 순수한 소수력 에너지양을 나타내는 것으로서 실제 소수력 발전시스템에서는 적용할 수 없으며, 단지 소수력 발전소에서의 소수력 가용량만을 제시하여 줄 뿐이다. 실제 소수력 발전 시스템에서는 설계유량이 존재하므로 이를 고려하여 소수력 발전 시스템에서 생산되는 평균 전기 에너지양  $P_a$ 를 구하면 다음과 같다.

$$P_a = \rho g H \sum \int_0^{Q_r} \eta_t \eta_m \eta_g A_i q_i P(q_i) dq_i + \rho g H \eta_t \eta_m \eta_g Q_r \sum \int_{Q_r}^{\infty} P(q_i) dq_i \quad (17)$$

식 (17)의 첫 항에서  $\eta_t, \eta_m, \eta_g$ 는 유량에 따라 변하는 값이지만 큰 변화가 없다고 가정하여 적분식 밖으로 빼내어 정리하면,

$$P_a = \rho g H \eta_t \eta_m \eta_g (\sum \int_0^{Q_r} A_i q_i P(q_i) dq_i + Q_r \sum \int_{Q_r}^{\infty} P(q_i) dq_i) = \rho g H \eta_t \eta_m \eta_g (S_1 + S_2) \quad (18)$$

과 같다. 여기서  $S_2$ 는 다음과 같이 해석적으로 구할 수 있으며,  $S_1$ 은 수치적분으로 구할 수 있다.

$$S_2 = Q_r \sum \exp \left\{ - \left( \frac{q_r}{\beta_i} \right)^{\alpha_i} \right\} \quad (19)$$

소수력 발전소를 설계하기 위해서는 여러가지 요소를 고려하여야 한다. 그 하나는 소수력 시스템으로부터 얻을 수 있는 평균 전기 에너지양이고 다른 사항은 시스템의 설비용량, 시스템 년평균 가동율 그리고 연간 전기 생산량등이다. 이 값들은 소수력 발전소의 위치에 따라 다르게 되고, 동일한 위치일지라도 설계유량의 선정에 따라 변하게 된다.

소수력 발전 시스템에서 발생시키는 평균 전기 에너지양과 순수한 평균 소수력 에너지양과의 관계를 나타내는 시스템 년평균 이용율  $U_f$  평균 전기 에너지양과 시스템 설비용량과의 관계를 나타내는 시스템 년평균 가동율  $L_f$ 는 각각 다음과 같이 정의된다.

$$U_f = P_a / P_{im} \quad (20)$$

$$L_f = (S_1 + S_2) / Q_r \quad (21)$$

또한 시스템의 시설용량  $C$ 와 연간 전기 생산량  $E_a$  및 소수력 가용량  $E_{ia}$ 는 다음과 같이 산정된다.

$$C = \rho g H Q_r \eta_t \eta_m \eta_g \quad (22)$$

$$E_a = 8760 P_r L_f \quad (23)$$

$$E_{ia} = 8760 P_{im} \quad (24)$$

#### 4. 결과 및 검토

본 연구의 결과를 분석하기 앞서 Weibull 분포의 누적분포함수를 이용하여 단위 유역면적에 대한 유황곡선을 작성하는 방법에 대하여 타당성을 검토하였다. 식 (6), (7)을 이용하여 표 3의 자료를 분석한 결과 형상계수  $\alpha = 0.616709$ , 척도계수  $\beta = 0.013497$  ( $m/sec$ )로 산정되었다.

그림 3은 정선 관측소에 의해 영향을 받

는 분할된 단위유역면적에 대한 유황곡선을 나타내는 그림이다. 그림 3에서 보는 바와 같이 실측된 강수량 자료를 단위 유역 면적당의 월 평균유량으로 환산하여 획득한 유황곡선을 Weibull 분포의 누적분포함수가 매우 타당성 있게 특성화 시켜주고 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 다른 강수량 관측소의 강수량 자료에 의한 단위 유역면적당의 월 평균유량 자료도 Weibull 분포로 특성화할 수 있다는 것을 나타낸다.

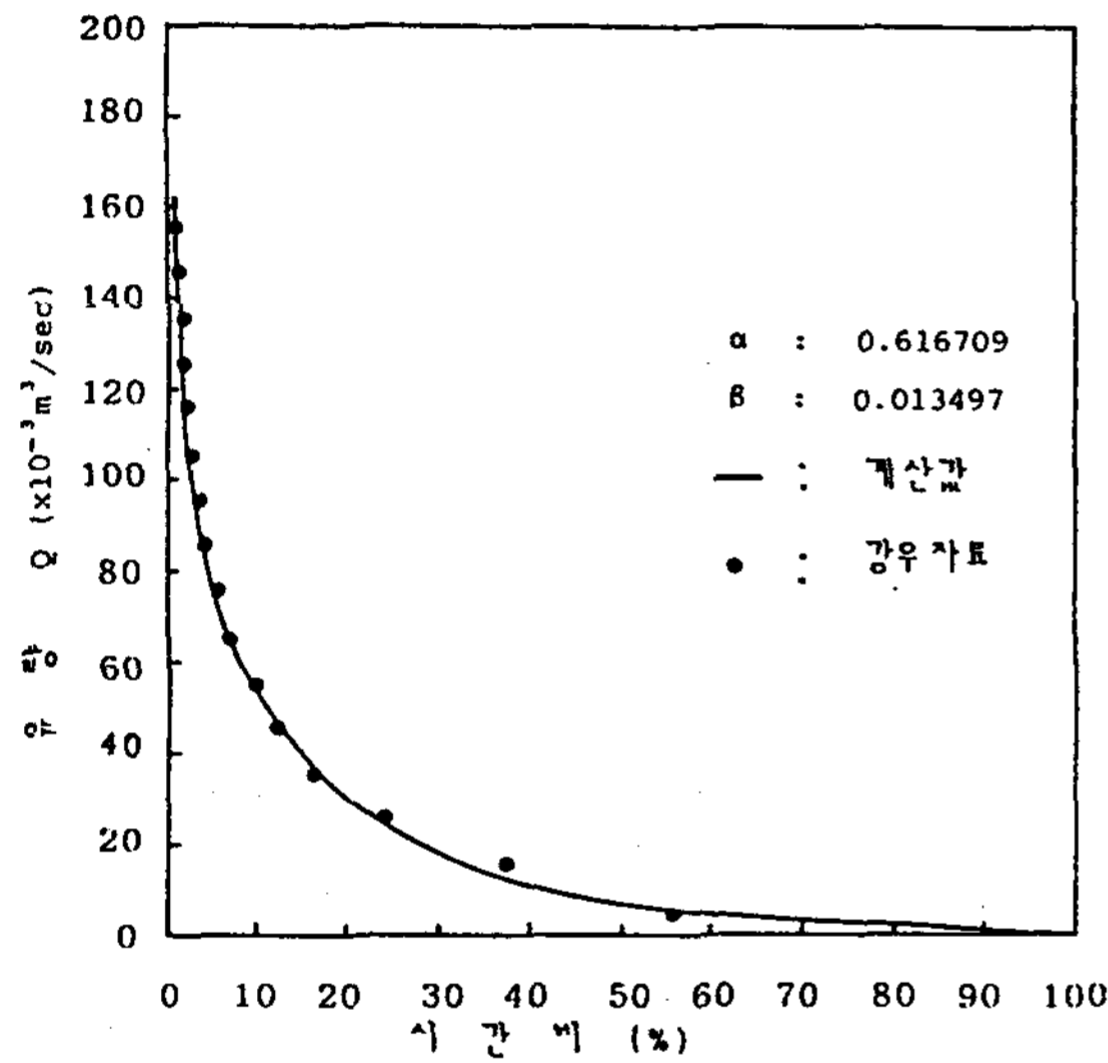


그림 3 정선 관측소에 영향을 받는 단위 유역면적당의 유황곡선

그림 4는 강원도 평창군 대기리에 위치한 소수력 발전지점에 대한 유역면적을 나타내는 것으로 해당지역은 Thiessen망도에 의해 3개의 관측소로부터 영향을 받는 3개의 작은 유역면적으로 분할되는 것을 알 수 있으며 그림에서 직선은 분할된 유역면적에 대한 경계선을 나타낸다. 또한 그림 4에 분할된 유역면적 A1, A2, A3은 각각 대관령, 황계 및 송계 관측소에서 측정된 강수량에 의해 영향을 받는 유역면적을 나타낸다. 대기리 소수력 발전

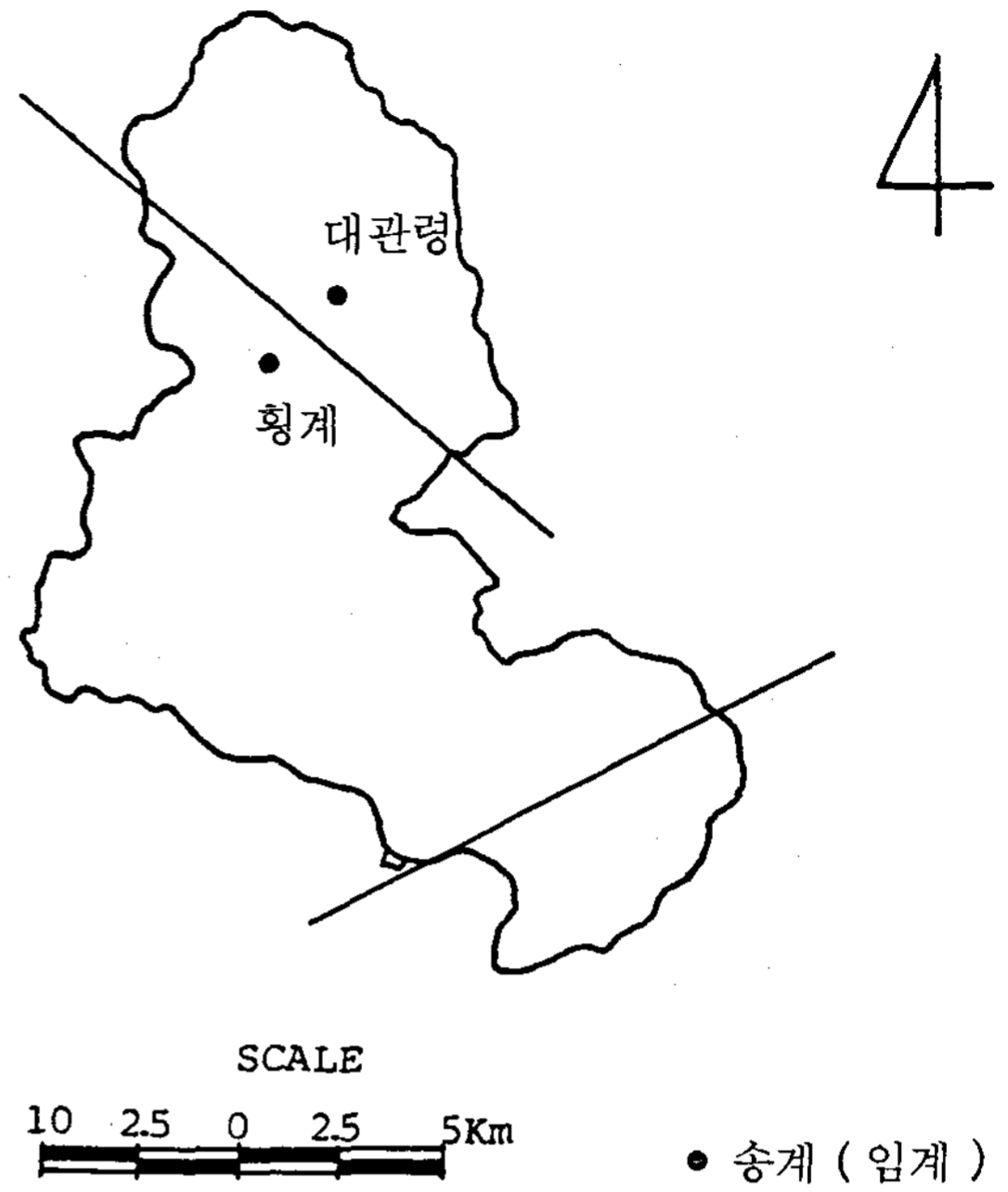


그림 4 대기리 소수력 발전지점의 분할된 유역면적도

소의 총 유역면적은 지도상에서 214.5km<sup>2</sup>으로 측정되었으며, 분할된 유역면적의 제반 특성은 표 4와 같다.

표 4 분할된 유역면적의 특성

특성 관측소	유역면적 (km <sup>2</sup> )	형상계수 (α)	최도계수 (β, m <sup>3</sup> /sec)
대 관 령	58.7	0.777559	0.023759
황 계	130.9	0.60053	0.011083
송 계	24.9	0.758023	0.014866

그림 5는 표 4에 보여진 분할된 유역면적의 특성이 조합되어 구해진 대기리 소수력 발전지점에서의 유황곡선을 나타내며, 이때 사용된 유황곡선의 함수는 식 (13)에 표시된바와 같다. Robert Noyes (9)는 Little Arkansas River의 일별 유량기록(1922 - 1976년)을 불균등한 유량계급으로 구분하여



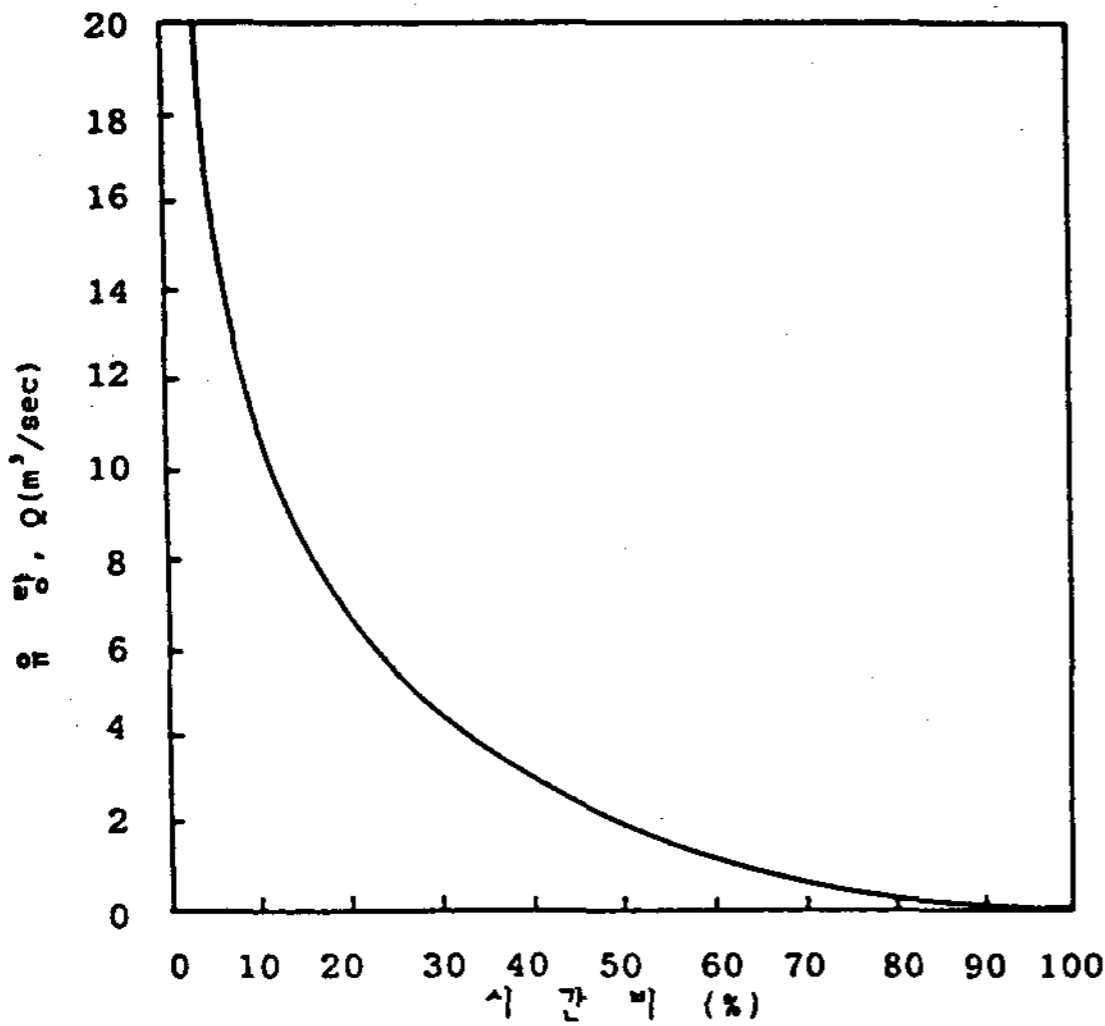


그림 5 대기리 소수력 발전지점의 유황곡선

유황곡선을 작성하였으며, 본 연구에서 구한 유황곡선의 형태와 매우 유사하다는 것을 알 수 있다.

표 4에 언급된 소수력 발전지점에 설치된 소수력 발전소의 특성을 분석하기 위하여 발전소의 유효낙차  $H$ 는 단위유효낙차 1미터로 가정하였고 수차, 발전기 및 전달장치의 기계적 효율은 각각  $\eta_t = 0.85$ ,  $\eta_g = 0.85$ ,  $\eta_m = 0.95$ 로 가정하였다.

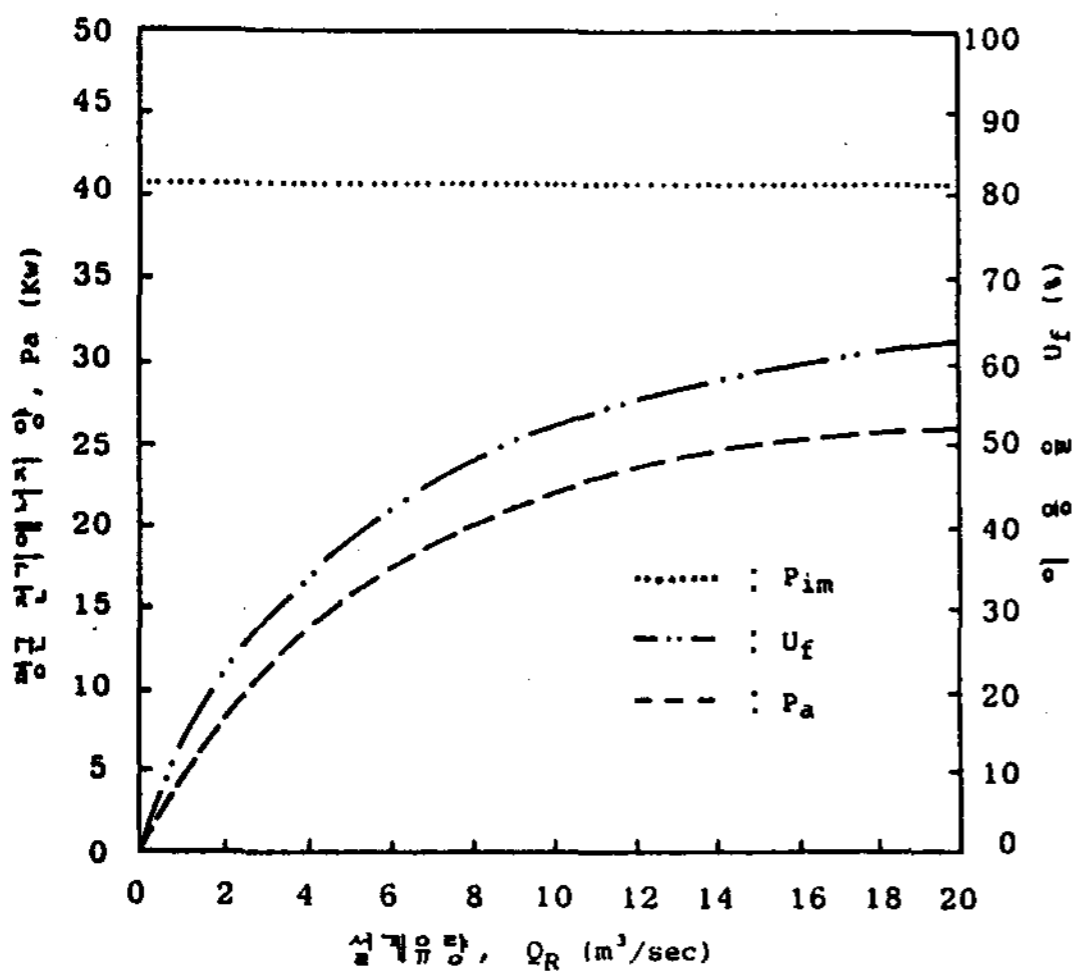


그림 6 설계유량에 따른 평균 전기에너지양과 년평균 이용율의 변화

그림 6은 대기리 소수력 발전소의 특성을 나타내는 것으로 설계유량  $Q_r$ 의 변화에 따른 시스템의 단위시간당의 평균 전기에너지 생산량과 시스템 이용율의 변화를 나타내는 것이다.

그림 6에서 보는 바와 같이 해당소수력 발전지점에서의 순수한 평균 소수력 에너지  $P_{im}$ 은 41.4 kW로 설계유량에 관계없이 일정한 값을 가지므로 대기리 소수력 발전 지점의 단위 유효낙차당 소수력 가용량  $E_{ia}$ 는 연간 362,664 kWh로 산정된다.

그림 6에서 시스템에서 얻을 수 있는 평균 전기 에너지양  $P_a$ 와 시스템 년 평균 이용율  $U_f$ 는 설계유량이 증가함에 따라 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 설계유량이 작은 영역에서는 이들 값이 설계유량의 증가에 따라 급하게 증가하지만 설계유량이 점차 커지면 증가율이 서서히 감소하는 것을 보여준다. 이러한 이유는 대기리 소수력 발전 지점을 통과하는 유량이 낮은 유량 범위로 편중되어 있고 큰 유량이 나타나는 확률이 매우 낮기 때문이다.

시스템 년 평균 이용율  $U_f$ 는 시스템에서 얻을 수 있는 평균 전기 에너지양  $P_a$ 를 순수한 평균 소수력 에너지양  $P_{im}$ 으로 나누어 준 값이므로  $P_a$ 의 변화와 동일한 경향으로 변하게 된다. 또한 시스템 년 평균 이용율  $U_f$ 는 시스템의 효율로 인하여 항상 100%가 되지 못하며, 이 경우에는 설계유량이 매우 큰 값을 가질 때 시스템의 효율과 같은 값인 68.6%를 나타내게 된다.

그림 7은 설계유량  $Q_r$ 의 변화에 따른 시스템 년 평균 가동율  $L_f$ , 시스템 시설용량  $C$  그리고 시스템에서 발생하는 연간 전기생산량  $E_a$ 의 변화를 나타내는 그림이다. 시스템의 설비용량  $P_r$ 은 설계유량  $Q_r$ 의 증가에 따라 선형적으로 변하게 된다. 그러나 시스템 년 평균 가동율은 설계유량이 증가함에 따라 감소하게 되며, 또한 설계유량이 작은 영역에

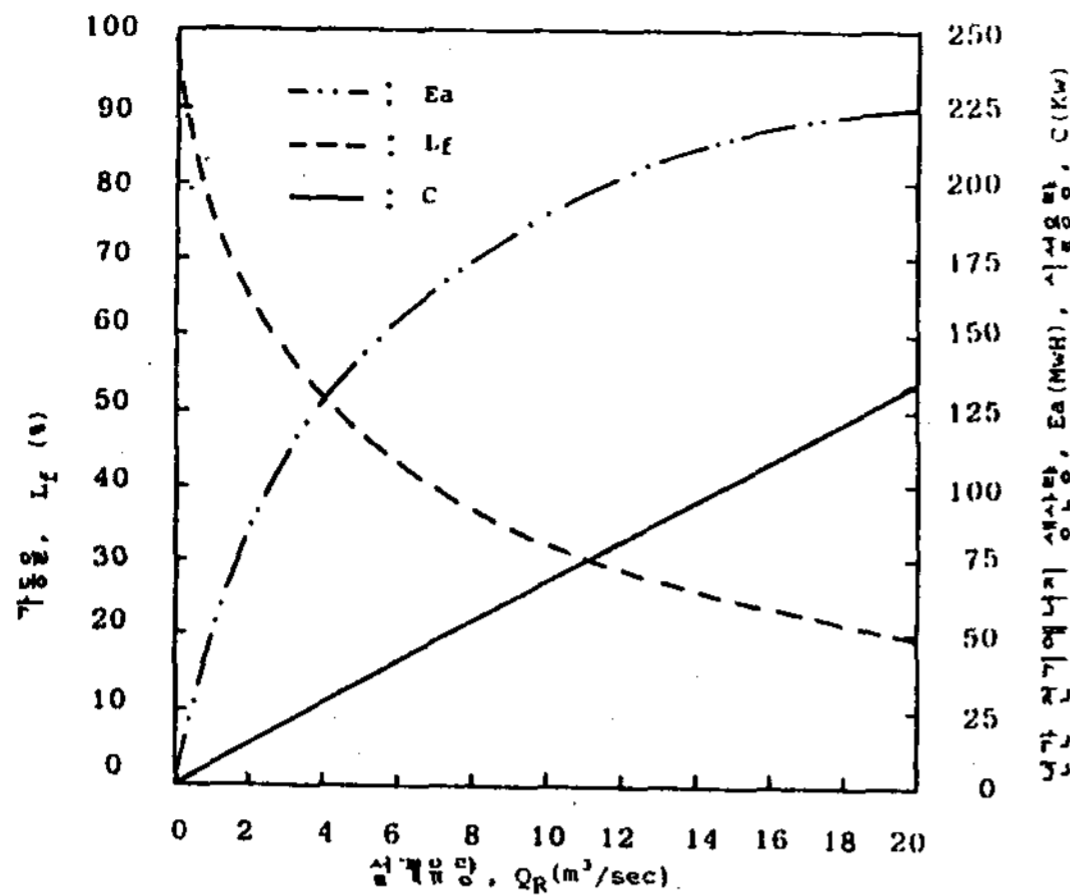


그림 7 설계유량에 따른 시스템 년 평균 가동율, 시설용량 및 연간 전기 생산량의 변화

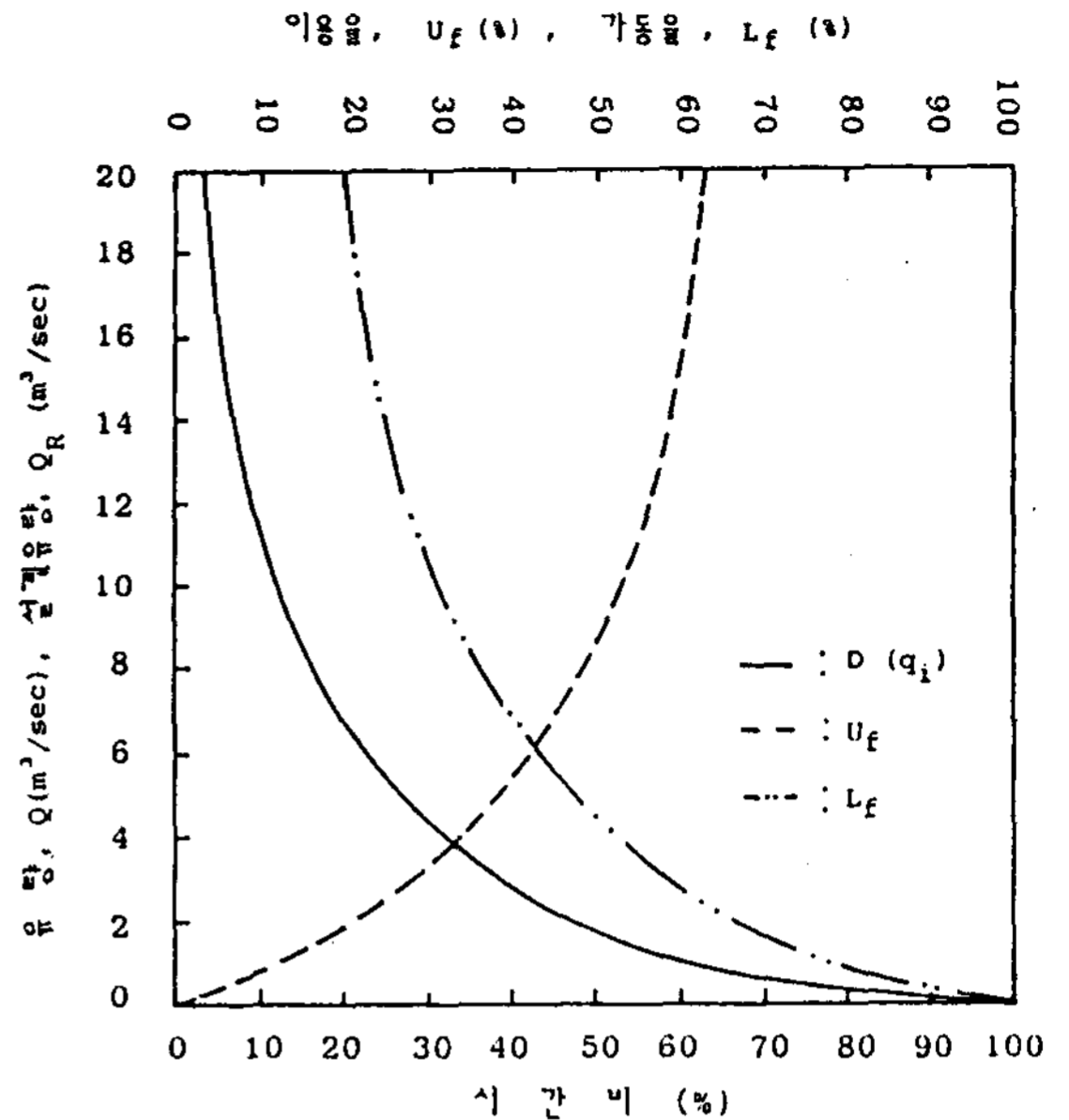


그림 8 유황곡선과 시스템 년 평균 가동율 및 이용율과의 관계

서는 급히 그리고 큰 영역에서는 서서히 변하는 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 설계유량이 작을 경우에는 시스템에서 얻을 수 있는 평균 전기 에너지양  $P_a$ 가 설비용량에 비해 상대적으로 크기 때문이다. 시스템 년 평균 가동율은 설계유량이 0인 극단적인 경우에는 100%가 된다. 또한 시스템에서 발생하는 연간 전기 생산량  $E_a$ 는 설계유량이 증가함에 따라 증가하게 되며 설계유량이 점차 커지면 증가율이 서서히 감소하게 된다.

그림 8은 그림 5에서 그림 7까지의 그림에서 시스템의 가동율과 이용율을 유황곡선상에 나타낸 그림으로 설계유량과 시간비의 변화에 따른 시스템의 가동율과 이용율의 변화를 볼 수 있다. 그림 8에서 시스템의 가동율과 이용율이 교차하는 지점은 유량이  $6.1 \text{ m}^3/\text{sec}$ 이고 시간비는 21.5%이며, 이때 시스템의 가동율과 이용율은 42.5%임을 알 수 있다.

본 연구에서는 해당 소수력 발전지점에서의

유효낙차를 단위 유효낙차  $1 \text{ m}$ 로 하여 분석하였으나 소수력 발전소 설계시 필요한 소수력 가용량, 시스템의 설비용량 및 연간 전기 생산량은 유효낙차의 증가에 따라 선형적으로 변하고 시스템 년평균 가동율과 이용율은 낙차에 영향을 받지않기 때문에 앞서 분석된 소수력 발전 지점의 성능 특성은 유효낙차가 변하여도 유용하게 사용될 수 있다.

### 5. 결론

본 연구는 원자료인 강우량 자료를 분석하여 소수력 발전소 설계에 필요한 성능 특성 예측 방법을 정립하기 위한 것으로, 본 연구를 통하여 원자료인 강우량 자료를 특성화하는데는 Weibull 분포의 누적함수를 사용하는 것이 타당성이 있다는 것이 밝혀졌다. 또한 이를 이용하여 해당소수력 발전소의 유황곡선을 작성하는 방법과 이 때 구해진 Weibull 확률 밀도함수를 사용하여 소수력 발전소의 제반 성

능특성을 예측, 분석하는 방법이 제시되었다.

대기리 소수력 발전지점을 대상으로 하여 본 방법을 적용한 결과, 단위시간당의 순수한 평균 소수력 에너지는 41.4 kW로 밝혀졌다. 또한 시스템의 년 평균 가동율과 이용율이 교차하는 지점은 유량이 6.1 m<sup>3</sup>/sec이고, 이때 유량에 대한 시간비는 21.5%로써 시스템의 년 평균 가동율 및 이용율은 42.5%로 산정되어 소수력 발전소의 기초설계 자료로 사용될 수 있는 유용한 자료를 획득할 수 있었다.

### 참 고 문 헌

1. 박인용외, "소수력 발전조사", 과학기술처 연구조사 보고서, R-74-53, 1974.
2. 박인용외, "시범 소계곡 발전소의 설계연구", 과학기술처 연구 조사보고서, R-75-38, 1975.
3. 손병찬외, "국내 소수력 자원조사 및 개발(1)", 한국동력자원연구소 연구 보고서 KE-82T-12, 1982.
4. 손병찬외, "국내 소수력 자원 조사 및 개발(2)", 한국동력자원연구소 연구 보고서, KE-83-5, 1983.
5. 신동렬외, "국내 소수력 자원 조사 및 개발(3)", 한국동력자원연구소 연구 보고서, KE-84-5, 1984.
6. 건설부, "한국 수문 조사 년보(1972년-1988년)"
7. 차종희, 박인용, "소수력 발전의 설계에 관한 연구", 대한전기협회, 조사연구 논문, 1982.
8. G.L. Jhonson, "Economic Design of Wind Electric System", IEEE. Tr. Power Apparatus and System, Vol. PAS-97, No.2, pp.554-562, 1978
9. Robert Noyes, "Small and Micro Hydroelectric Power Plants; Technology and Feasibility", Energy Technology Review No. 60, Noyes Data Corporation, U.S.A., 1980.