

한국 농업용 저수지의 형태학적 특성 분석

유철상* · 박현근**

Analysis of Morphological Characteristics of Farm Dams in Korea

Chulsang Yoo*, Hyunkeun Park**

요약 : 본 연구에서는 전국에 분포되어 있는 18,060개의 농업용저수지의 기본적인 제원을 분석하여, 그 평균적인 특성을 파악하는 것을 목적으로 한다. 이러한 특성들은 외국의 저수지 특성과의 비교하였다. 저수지의 특성으로 고려한 허가면적, 수혜면적, 유효저수량, 만수면적, 제당길이, 제당높이의 총 7가지 항목에 대하여 히스토그램을 작성하여 분포특성을 확인하였으며, 멱승법칙(power law)을 이용하는 파레토 분석을 통해 저수지 분포의 불평등성을 파악하였다. 히스토그램 분석을 통해서 담(즉, 하천의 단면)의 특성을 나타내는 항목들은 대수정규분포와 유사한 형태로 나타났으며, 반대로 유역의 특성을 나타내는 항목들은 지수분포를 따르는 것으로 파악되었다. 파레토 분석은 지수분포형을 나타내는 5가지의 항목들에 대하여 수행하였다. 추정된 파레토 지수는 허가면적의 경우는 0.38, 수혜면적은 0.42, 유효저수량은 -0.19, 유역면적은 0.30, 만수면적은 0.22로 수혜면적의 경우가 불평등성이 가장 크고 반대로 유효저수량의 경우가 불평등성이 가장 작은 것으로 파악되었다. 저수지의 형상지수와 저수지면적과의 관계를 분석한 결과 한국의 농업용 저수지는 대부분 깊은 또는 보통 저수지로 분류됨을 알 수 있었다. 이러한 특성은 기존연구를 통해 살펴본 외국의 저수지와도 유사한 것으로 파악되었다.

주요어 : 농업용저수지, 분포특성, 파레토 분석, 형태학적 특성

Abstract : This study was to analyze a total of 18,068 farm reservoirs in Korea with their basic measures, and estimate their average characteristics. These characteristics have also been compared with those of foreign countries. Histograms of seven measures (approval area, beneficial area, watershed area, effective storage, full water area, dam length, and dam height) of reservoirs are made to characterize their distributions and to apply the Pareto analysis with the power law to evaluate their inequalities. The histogram analysis shows that the measures of dam (channel cross-section) characteristics follow the log-normal distributions, on the other hand, those of the basin characteristics the exponential-type distributions. Pareto analysis was done for the five measures of having exponential distribution. The Pareto exponents estimated are 0.38 for the approval area, 0.42 for the beneficial area, -0.19 for the effective storage, 0.30 for the watershed area, and 0.22 for the full water area, so the inequality of the beneficial area is the highest and that of the effective storage is the lowest. Analysis of morphology index versus watershed area shows that most reservoirs are categorized into deep or normal ones. These characteristics are also found to be similar to those of foreign countries.

Key Words : farm reservoir, distribution characteristics, Pareto analysis, morphological characteristics.

* 고려대학교 건축사회환경공학과 교수(Professor, Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University), envchul@korea.ac.kr

** 고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정(Master student, Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University), compb@hanmail.net

1. 서론

전 세계적으로 자연적인 호수(lake) 및 댐과 같은 인공적인 저수지(reservoir)는 많다(이하에서는 특별히 구분이 필요하지 않은 경우 모두 저수지로 칭한다). 이들 저수지에 대한 분석은 몇몇 연구에서 살펴볼 수 있는데, 대체로 저수지의 형태학적 특성과 관련된 것들이다(Takeuchi, 1997; Leonard and Crouzet, 1999; Lehner and Döll, 2004). 지구 전체로(Takeuchi, 1997; Lehner and Döll, 2004) 또는 특정 대륙(예를 들어 유럽의 경우, Leonard and Crouzet(1999))만을 고려한다고 해도 존재하는 저수지의 수가 매우 많기 때문에 이를 DB(data base)화하여 정리하는 것 자체도 쉬운 일은 아니다. 따라서 대부분의 관련 DB가 상대적으로 규모가 큰 저수지를 대상으로 하고 있음은 당연한 일이다. 그러나 일단 DB가 구축되면 여러 가지 분석이 가능한데 아직까지는 초보적인 수준의 분석에 머물고 있다. 저수지 형상, 저수량과 수심 및 만수면적의 관계 등이 대표적인 예에 속한다.

농업이 발달한 한국에서도 역사적으로 많은 저수지가 건설되어 왔다. 근대 이후에는 용수 공급 및 홍수에 방을 목적으로 대규모 다목적 댐이 건설되기도 하였다. 그러나 개수 면에서 보면 농업용 저수지가 절대 다수를 차지한다. 특히 근대 이후 쌀 생산 증대를 위해 많은 농업용 저수지가 건설되었다.

한국의 국토의 약 70%가 산지이고 지형이 비교적 험하며 강우의 유출이 빨라 토지의 보수력이 낮다. 따라서 농업용 저수지는 농업용수 확보를 위한 중요한 시설물이자 수단이 된다(박삼규 등, 2002). 홍병만(2004)에 따르면 1906년 '수리조합조례'가 발표된 이래 근대적 수리시설을 갖추기 시작하였고, 광복이후에도 정부는 쌀 증산을 목표로 농업용수 개발에 집중적인 투자를 실시하여 계속적인 저수지 축조를 시행하였다. 특히, 1967-68년의 극심한 가뭄을 계기로 농업용수 개발에 전환을 맞게 되어 중장기 계획에 맞춘 체계적인 개발이 시행되었다. 1970-80년대 주곡자급 달성을 목표로 항구적인 농업용수 개발이 추진되었고, 이때부터 현대적 의미의 저수지 개발이 본격화 되었다고

할 수 있다(김선주·박재홍, 1998).

현재 한국에 축조되어 있는 농업용 저수지들 중 상당수는 축조된 지 50년 이상으로 대부분 노후화 된 실정이다(홍병만, 2004). 또한 대부분의 농업용 저수지가 관개규모가 100ha (0.01km²)이하의 소규모 저수지이다. 이렇게 노후화된 소형 저수지들은 대부분 가뭄 또는 집중호우에 취약한 면을 드러낼 수밖에 없고, 특히 저수지의 안정성을 크게 위협하는 누수현상도 심각한 수준인 것으로 파악되고 있다(김성기, 2002). 따라서 농업용수 공급측면에서의 효율도 높지 않은 상황이며, 저수지의 유지관리 자체도 비효율적이 될 수밖에 없는 상황이다. 현재 이들 소규모 농업용저수지에 대한 종합적인 검토가 다각도로 진행되고 있다(박창규 등, 2003; 정병호 등, 2004; 이광만 등, 2005).

본 연구는 한국의 농업용 저수지의 지형형태학적 특성을 정량화하고, 그 결과를 바탕으로 한국의 저수지와 외국의 저수지의 특성을 비교하는데 있다. 농업용 저수지의 허가면적, 수혜면적, 유효저수량, 만수면적¹⁾, 유역면적, 제당높이, 제당길이 등 기본적인 제원들을 저수지의 특성으로 하여 각각 정리하고, 아울러 그 특성을 파악하고자 한다. 저수지 각 제원에 대한 히스토그램 분석이나 멱승법칙(power law)을 이용하는 파레토(Pareto) 분석 등이 이용될 것이다. 또한 저수지 각 제원들 사이의 관계도 자세히 검토될 것이다.

본 연구에서는 또한 저수지의 형태지수(morphology index)를 도입하여 각 저수지를 깊은 저수지, 중간 저수지 및 얇은 저수지로 구분할 것이며, 전체적인 구분 특성을 고려하여 우리나라 저수지와 외국의 저수지를 비교할 것이다. 추가로 저수량과 저수지 제원들과의 관계, 즉 만수면적과 저수량과의 관계 그리고 저수량과 만수면적 및 제당높이와의 관계를 정량화 하여 우리나라의 저수지와 외국의 저수지가 비교·분석될 수 있도록 할 것이다.

2. 우리나라 농업용 저수지의 현황

본 연구에서 파악한 전국의 농업용 저수지의 수는

총 18,060개소이며, 전국적인 공간분포는 그림 1과 같다(이광야 등, 2005). 도별로 보면 경상북도, 경상남도, 전라남도, 전라북도, 충청남도, 충청북도, 경기도 및 강원도의 순으로 그 수가 많으나, 전체적으로는 경기도, 강원도 등 중부지방이 밀도가 낮고, 전라도, 경상도 등 남부지방에 그 밀도가 크다. 이러한 분포특성은 기본적으로 각 지역의 기후학적 특성 및 지형학적 특성을 반영한 결과로 이해할 수 있다. 즉, 경상도 지역은 강수량이 타 지역에 비해 10~20% 가량 작으며, 또한 지형이 경사가 급해 우수가 빨리 배출되므로 저수

지의 필요성이 크다. 반면에 전라도 지역은 강수량이 많고 아울러 지형이 평탄한 지역으로 농업이 특히 발달된 곳이다. 그러나 자연적인 저수지가 드물어 역시 물 수요를 맞추기 위한 저수지의 축조가 활발했던 지역이다. 이 지역에 대규모 댐의 입지가 부족한 점도 소규모 농업용 저수지의 개발을 촉진하게 된 이유로 판단된다.

이들 농업용 저수지의 기본적인 제원 및 특징(허가면적, 수해면적, 유효저수량, 만수면적, 유역면적, 제당높이, 제당길이)은 표 1과 같이 나타난다. 이러한 통

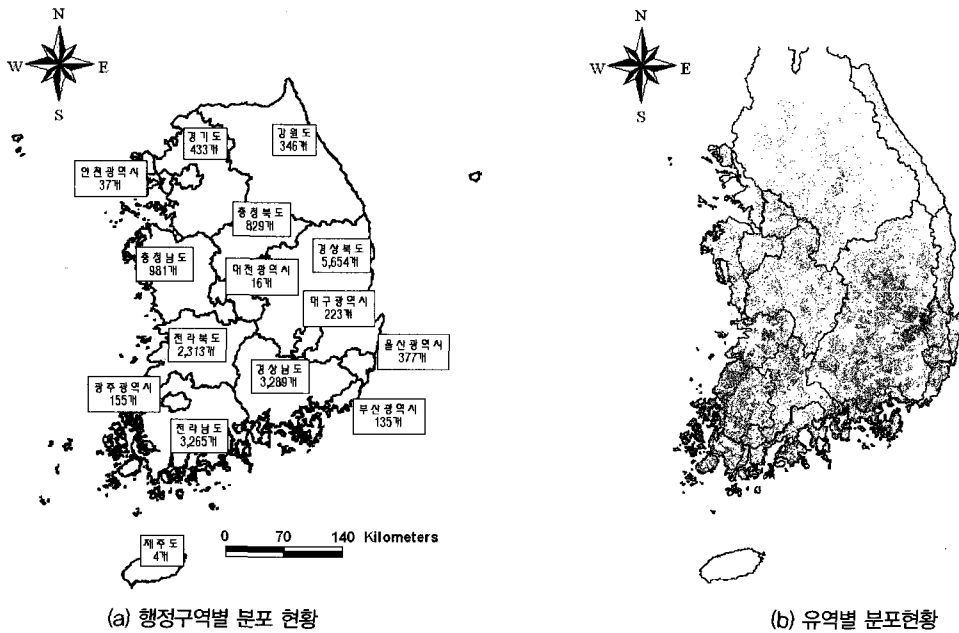


그림 1. 지역별 저수지 개수 및 분포 현황

표 1. 저수지 자원별 기본통계분석

저수지 자원	자료의수 (저수지수)	최고값	최저값	평균	분산
허가면적(ha)	17,933	43,000	0.1	42.92	339,257
수해면적(ha)	17,958	12,090	0.1	30.42	109,742
유효저수량(×1000ton)	17,945	100,000	0.1	172.87	5,290,855
만수면적(ha)	17,945	4,755	0.1	4.83	5,988
유역면적(ha)	17,958	347,100	1.0	173.41	14,415,560
제당길이(m)	17,958	7,807	4.0	110.10	28,372
제당높이(m)	17,958	140	0.5	7.09	25

계치는 자료가 가용하지 않을 경우를 제외한 경우에 해당한다. 현재, 전국 18,060개소의 저수지 중 자료가 미비한 경우는 대략 100여개 정도로 파악된다. 자료가 가용한 저수지의 경우에 관개면적이 가장 큰 저수지는 금강 저수지이며, 수해면적이 가장 큰 저수지는 섬진 저수지이다. 유효저수량이 최대인 저수지는 영산호이고, 만수면적이 가장 큰 저수지는 가학 저수지로 나타난다. 유역면적이 최대인 저수지는 영산호이며, 제당길이가 최대인 저수지는 대호 저수지이고, 마지막으로 제당높이가 가장 큰 저수지는 칠곡 저수지로 파악되었다.

현재 농업용 저수지 총 18,060개소 중 절반이 넘는 9,707개소(54%)는 1945년 이전에 건설된 것들이다(홍병만, 2004). 즉, 이들 중 절반이상이 건설된 지 60년 이상으로 노후화되어 여름철 집중호우와 겨울과 봄에 빈발하는 가뭄에 취약한 실정이다(김성기, 2002). 이들 대부분은 또한 소규모 저수지들로서 저수지의 효율성이 떨어지고 아울러 유지관리의 문제 등 비효율적인 측면이 있다.

1962년은 '제1차 경제개발 5개년 계획'의 추진과 식

량난을 해결하기 위하여 저수지 건설이 본격적으로 시작되는 시기이다. 농업용 저수지에서 다목적 댐에 이르는 다양한 규모의 저수지들이 다수 건설된 시기이기도 하다. 이는 그림 2에서와 같이 연도별로 건설된 저수지의 수를 통해서도 쉽게 파악할 수 있다. 김성기(2002)에 따르면 2002년 기준으로 전국의 저수지는 1만7,820개소이며 연간 4,741백만³의 농업용수를 공급할 수 있는 규모이다. 이는 전체 수리시설물의 용수 공급량 9,184백만³의 51.6%가 저수지에 의존하고 있음을 알 수 있다. 김선주·박재홍(1998)에 따르면 2002년 기준 우리나라 논 면적은 1,138천ha 이지만 수리시설에 의해 농업용수를 공급받는 논 면적은 880천ha로써 수리답률은 77% 수준이다. 이중 10년 빈도 가뭄에 안정적으로 용수를 공급받을 수 있는 수리안전답은 434천ha로써 수리안전답률은 38% 정도가 된다.

표 2는 관계규모별 저수지의 개수를 정리한 것이다. 이 표에서는 특히 100ha 미만의 소규모 저수지가 전체 저수지수의 93.6%를 차지하고 있음에 주목할 필요가 있다. 즉, 대부분의 저수지가 소규모로 건설되어져 왔

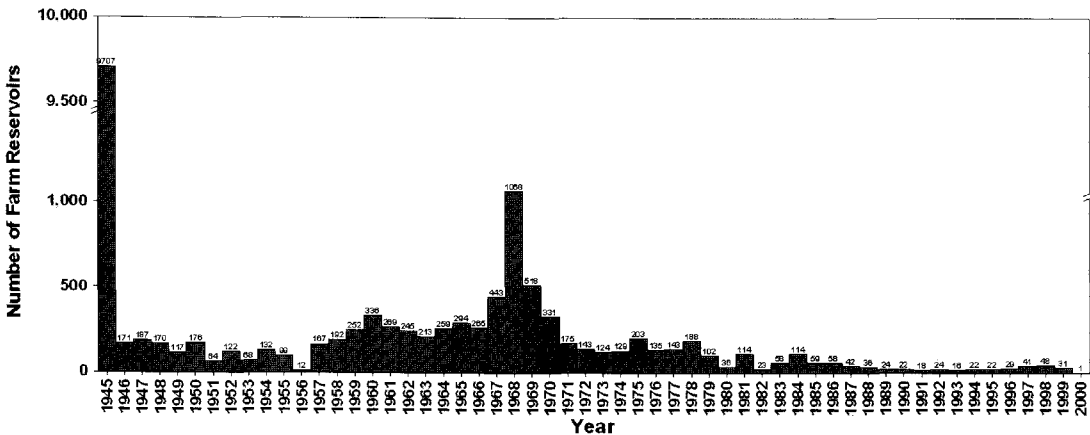


그림 2. 연도별 저수지 축조 현황

표 2. 농업용 저수지의 관개 규모별 현황

구분	계	관개규모(ha)				
		무관개시설	100 미만	101-1,000	1,001-5,000	50,001이상
개소수	14,798	270	13,854	625	38	11
구성비(%)	100	1.8	93.6	4.2	0.3	0.1

다는 것을 파악할 수 있다.

3. 농업용 저수지 특성 분석

1) 히스토그램 분석

농업용 저수지의 허가면적, 수혜면적, 유효저수량, 만수면적, 유역면적, 제당높이, 제당길이 등 총 7가지 항목에 대해 각각 히스토그램을 작성하였다. 히스토그램은 특히 모집단의 확률밀도함수를 추정해 보는데 유용하다. 이 히스토그램을 작성하는데 필요한 계급구간(class interval)의 크기(Δx)는 Stuges(1926)의 공식을 이용해 결정하였다. 즉,

$$\Delta x = \frac{X_{max} - X_{min}}{3.221 \log_{10}(n)} \quad (1)$$

위의 식 (1)에서 n 은 전체 자료의 개수를, X_{max} 와 X_{min} 은 히스토그램으로 나타내고자 하는 자료의 최대값과 최소값을 나타낸다.

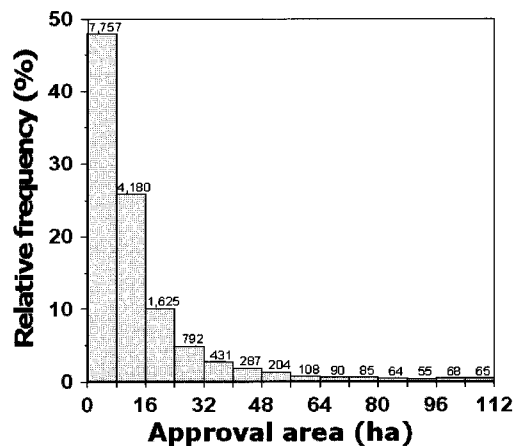
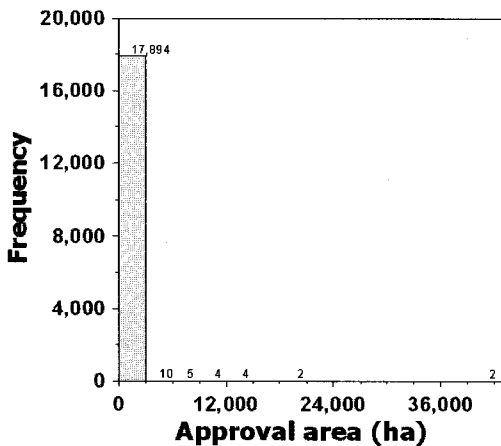
그림 3은 저수지의 각 제원에 대하여 히스토그램을 그린 것이다. 본 연구에서 사용한 저수지 제원은 대체

로 왼쪽에 있는 전체구간의 히스토그램처럼 작은 규모의 값이 대부분을 차지하는 특징을 보이고 있다. 따라서 그 분포특성을 자세히 이해하기 위해 오른쪽의 그림과 같이 작은 부분에 속하는 경우에 대해 따로 히스토그램을 그려 제시하였다.

전체적으로 보면 그림 3에 나타난 저수지의 특성은 크게 두 가지로 구분하여 설명할 수 있다. 먼저, 히스토그램의 경우, 관개면적, 수혜면적, 유효저수량, 만수면적, 유역면적 등 댐과 관련된 기여면적 등은 대체로 저수분포를 따른다. 반면에 댐 본체의 특성에 해당하는 제당높이 및 제당길이는 양의 왜곡도를 가지는 대수정규분포로 파악된다. 이러한 특성은 기본적으로는 유역의 특성 및 하천 단면의 특성을 대변한 것으로 이해할 수 있다.

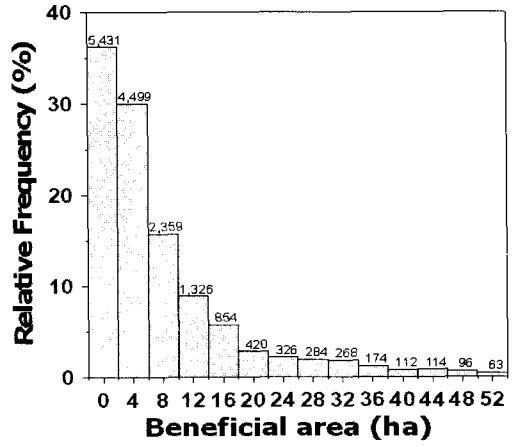
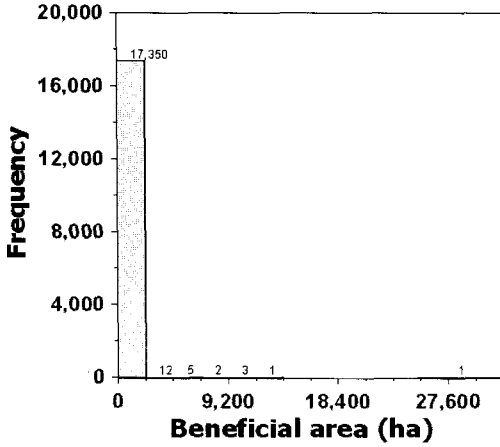
2) 역승법칙과 파레토 분포

파레토 법칙은 두 개의 집단을 비교할 때 소수의 한쪽 집단이 전체의 대부분을 차지하는 현상이다 (Persky, 1992; Clementi and Gallegati, 2004). 이 법칙은 일반적으로 80/20의 원칙으로도 설명된다. 즉, 널리 알려진 경제학 분야의 예를 들면 ‘한 사회의 부의 80%는 20%의 소수가 차지하고 있다’, 또는 ‘어느 회사의 매출의 80%는 20%의 고객으로부터 발생한다’

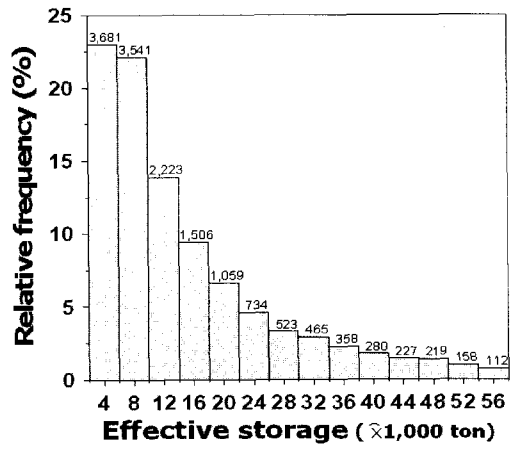
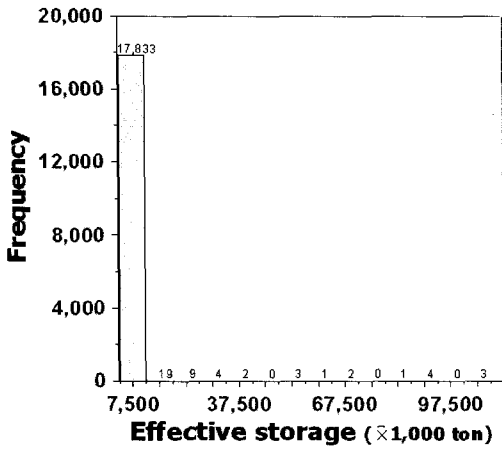


(a) 허가면적(좌: 전체자료, 우: 일부분 자료(상위 88.34%))

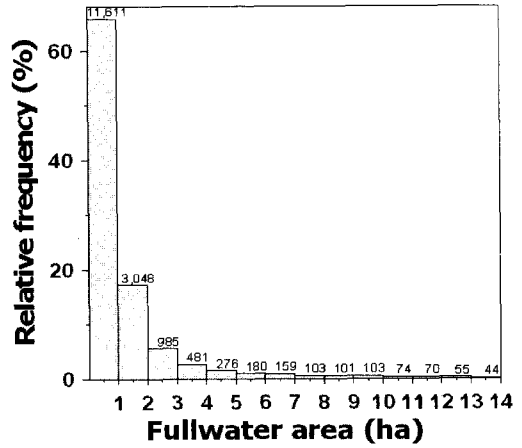
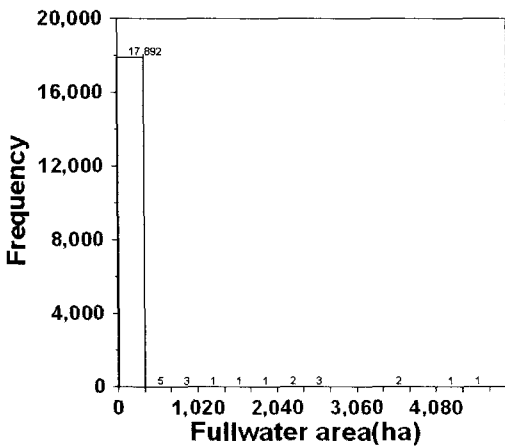
그림 3. 농업용 저수지 각 제원에 대한 히스토그램



(b) 수혜면적(좌: 전체자료, 우: 일부분 자료(상위 93.52%))

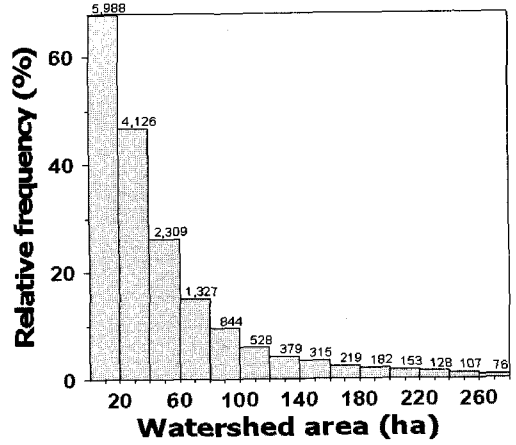
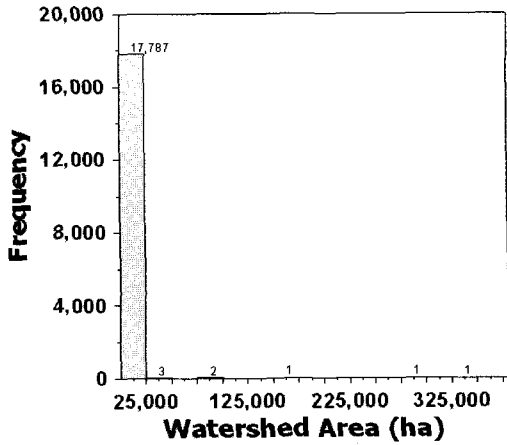


(c) 유효저수량(좌: 전체자료, 우: 일부분 자료(상위 84.67%))

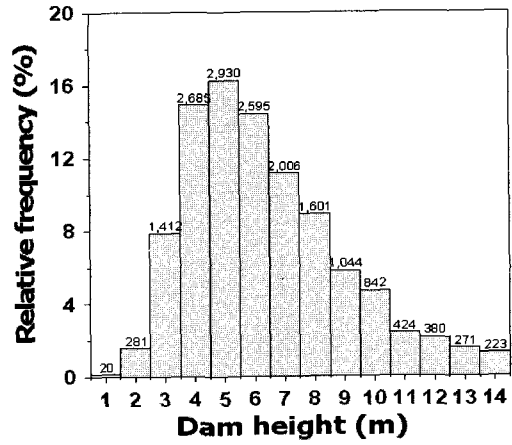
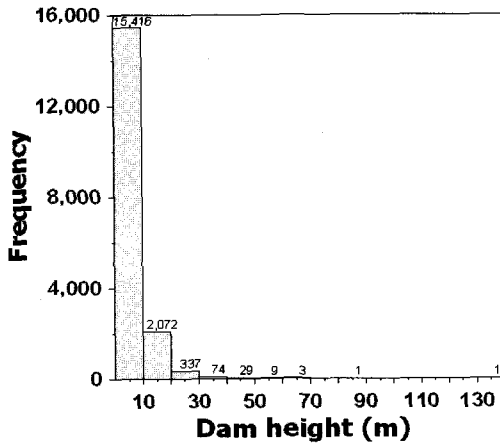


(d) 만수면적(좌: 전체자료, 우: 일부분 자료(상위 96.637%))

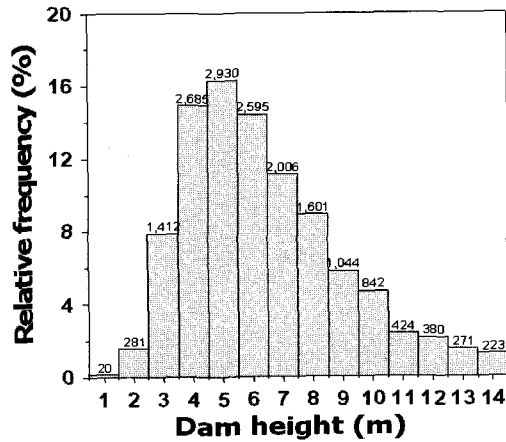
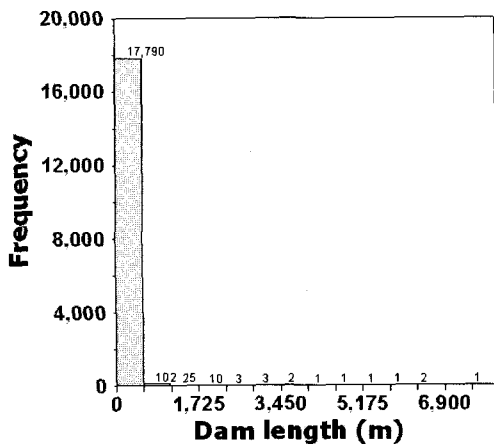
그림 3. (계속)



(e) 유역면적(좌: 전체자료, 우: 일부분 자료(상위 93.67%))



(f) 제당높이(좌: 전체자료, 우: 일부분 자료(상위 93.18%))



(g) 제당길이(좌: 전체자료, 우: 일부분 자료(상위 97.08%))

그림 3. (계속)

등이다.

파레토는 이탈리아의 가구의 소득과 그에 해당하는 가구의 수를 분석한 결과 그 분포에 지수분포와 비슷한 형상의 긴 꼬리가 나타남을 발견하였다. 이 그래프를 대수축에 그리면 긴 꼬리 부분이 음의 기울기를 갖는 직선으로 나타나게 된다. 파레토는 이와 같은 현상을 아래와 같은 공식으로 표현하였다.

$$\log N = B - \beta(\log x) \quad (2)$$

이 식에서 N 은 가구수이며 x 는 가구소득을 나타내고 β 는 경사를 나타낸다. 여기서 는 파레토 지수라 불린다. 위 식의 양쪽에 지수(exp)를 취하고 총 도수로 나누면 아래와 같은 확률밀도함수 $p(x)$ 로 표현할 수 있다(Souma, 2001). 따라서 $\beta=1+a$ 가 된다.

$$p(x) = Ax^{-(1+a)} \quad (3)$$

이 식에서 A 는 정규화 상수이며 a 는 파레토 지수로 불린다. 파레토는 또한 가구의 소득분포에서 $\beta=(1+a)$ 값이 1.52 주변에 있음을 발견했다. 이와 유사한 경제학 분야의 연구는 Aoyama et al.(2000), Dragulescu and Yakovenko(2001), Clementi and Gallegati(2004) 등과 같이 최근까지도 이어지고 있다. 또한 자연현상 혹은 사회적인 통계에서도 파레토 법칙으로 설명 가능한 경우들이 많이 발견되었다. 예를 들면 Brock(1971)은 대기의 에어로졸의 크기 관계를 파레토 법칙을 이용하여 특성화 하였으며, Downey(2005)도 인터넷상에 존재하는 파일의 크기와 개수의 분포를 파레토 법칙을 이용하여 특성화 한 바 있다.

본 연구에서는 먼저 7가지 저수지 제원(허가면적, 수혜면적, 유효저수량, 만수면적, 유역면적, 제당높이, 제당길이)에 대해 누가확률분포도를 작성하였다(그림 4). 누가확률분포도의 작성은 히스토그램을 누가해서 할 수도 있으나 보다 자세한 특성을 파악하기 위해 전체를 총 500개의 구간으로 나누어 이용하였다. 단, 제당높이의 경우는 자료범위의 한계로 인해 140개의 구간으로 한정하였다. 본 연구에서 조사를 실시한 항목들 중 지수분포를 따르는 경우는 대부분 누가확률분포도가 대수축에서 선형을 나타내고 있다. 경우에 따라 보다 선형인 경우도 있으며, 일부 구간에서 정체되는 양상을 보이기도 한다. 그러나 지수분포를 따르지 않는 두 경우(제당높이 및 제당길이)에 있어서는 특히 큰 값에 대한 빈도가 매우 작게 나타남을 확인할 수 있다.

각 그래프에서 선형으로 나타나는 부분은 식 (3)에 의해 멱승법칙으로 나타나는 구간이다. 본 연구에서는 농업용 저수지의 제원 중 지수분포와 유사한 형태를 따르는 허가면적, 수혜면적, 유효저수량, 만수면적, 유역면적에 대하여 누가확률그래프를 이용한 파레토 지수를 추정하였다(표 3). 이 결과를 살펴보면 파레토 지수인 값이 가장 큰 저수지 제원은 수혜면적이며, 파레토 지수가 가장 작은 것은 유효저수량이다. 파레토 지수가 클수록 해당 저수지 제원의 불명등성이 큼을 나타낸다. 즉 파레토 지수가 가장 큰 수혜면적의 경우 수혜면적이 극단적으로 큰 경우와 극단적으로 작은 경우의 분리가 상대적으로 심하며, 반대로 파레토 지수가 가장 낮은 유효저수량의 경우에는 양 극단적인 경우의 분리가 상대적으로 덜하다는 것을 의미한다.

본 연구의 결과는 Lehner and Döll(2004)의 연구결과와 비교될 수 있다. 그들은 전 세계 호수(면적 0.1

표 3. 저수지 특성별 파레토 확률밀도 함수의 A와 β 값

저수지 제원	A	α
허가면적	64.47	0.38
수혜면적	5669.06	0.42
유효저수량	844.31	-0.19
유역면적	20469.79	0.30
만수면적	150.76	0.22

km² 이상; 인공 저수지 제외) 자료를 이용하여 면적과 개수와의 관계를 추정하였다. 그들의 연구에서도 면적과 개수의 관계가 전대수지에서 뚜렷한 선형을 나타내 주었는데, 추정된 α 는 약 -0.01로 파악되었다. 이러한 결과는 둘 사이의 관계가 축척불변(scale invariant)라는 것을 의미하며, 따라서 호수의 면적이 프랙탈(fractal) 특성을 갖는다는 것을 의미한다.

Lehner and Döll(2004)의 연구결과는 인공저수지에 해당하는 본 연구에서의 농업용 저수지와는 약간 다른 특성이기도 하다. 즉, 농업용 저수지의 경우는 규모에 따라 축척이 일관되게 변하는 특성(self-affine)을 갖는다고 평가할 수 있다. 즉, 자연적인 호수의 경우는 수심

의 증가에 따라 수면의 모양에 큰 차이가 없으나(예를 들어 원형에서 원형으로), 인공 저수지의 경우는 수심의 증가에 따라 저수지 모양이 더욱 길쭉해 진다(폭의 증가보다 길이의 증가가 더욱 커짐). 참고로, Lehner and Döll(2004)의 연구에서 비교한 캐나다 및 중국의 호수는 α 가 각각 0.13 및 -0.15로 나타났으며, 이는 지역적으로 호수의 형태학적 특성이 다름을 의미하기도 한다. 아울러, 이상과 같은 결과는 호수를 대상으로 한 것이므로 본 연구에서와 같이 인공 저수지를 대상으로 한 경우와의 직접적인 비교는 무리일 수 있다.

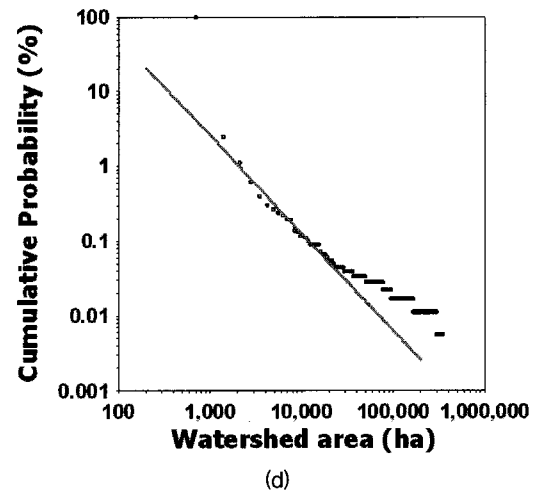
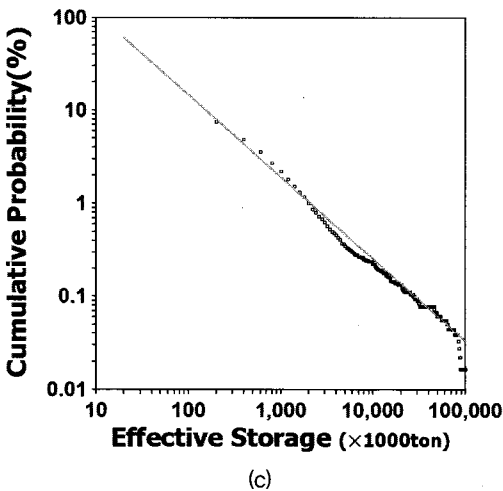
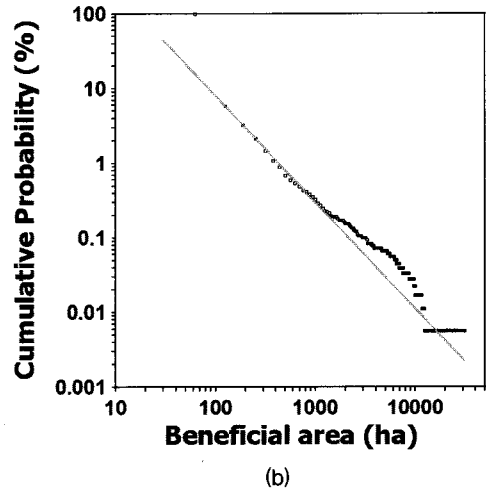
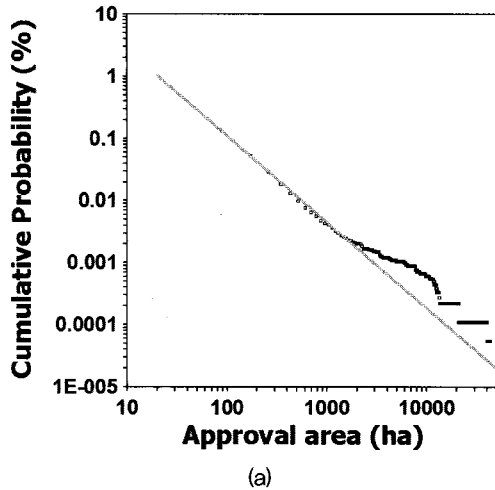
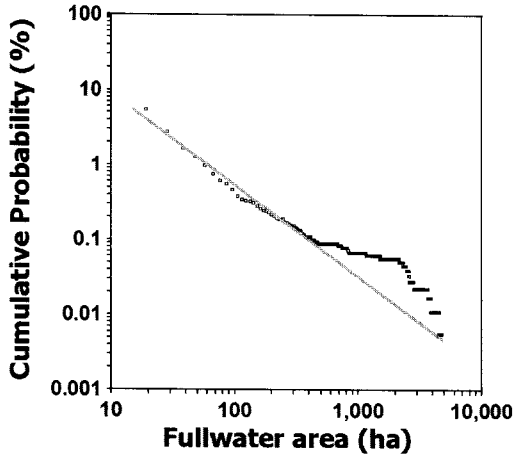
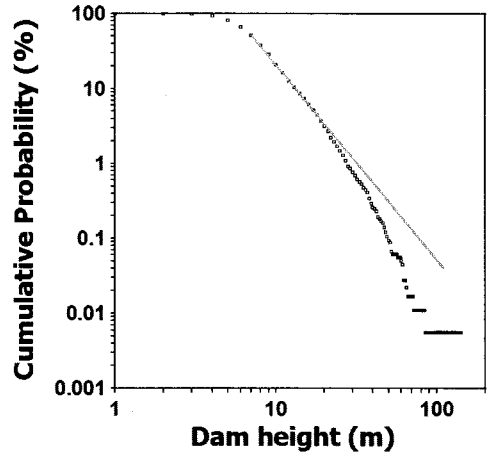


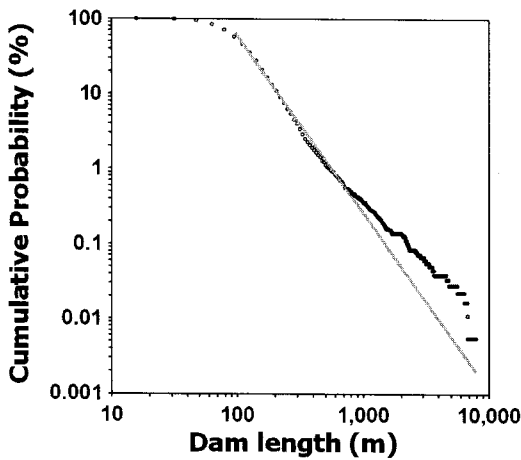
그림 4. 저수지 각 제원의 누가확률분포도와 파레토 분석



(e)



(f)



(g)

그림 4. (계속)

4. 저수지 제원간의 관계 분석 및 특성화

1) 형태지수 분석

저수지의 경우에 있어 형태지수(morphology index)는 저수지의 평균수심과 만수면적을 이용하여 정량화한다(Leonard and Crouzet, 1999).

$$\text{Morphology Index} = 1,000 \times \text{평균수심(m)} \times \text{만수면적(m}^2\text{)}^{-0.5} \quad (4)$$

위 식에서 평균수심은 저수량을 만수면적으로 나누어 계산한다. Leonard and Crouzet(1999)의 연구에 의하면 형태지수가 10.5 이상이면 깊은 호수(deep lake)에 속하고, 형태지수가 0.6 - 10.4에 속하면 보통 호수(normal lake)로 구분된다. 반대로 형태지수가 0.5 이하이면 얇은 호수(shallow lake)로 분류된다.

그림 5는 우리나라 농업용 저수지의 형태지수를 만수면적의 함수로 나타낸 것이다. 그림에서 살펴볼 수 있듯이 대부분의 저수지들은 보통 또는 깊은 호수로 분류된다. 이들 형태지수의 평균을 구하면 약 24.6으로 깊은 호수로 분류되게 된다. 그러나 Leonard and

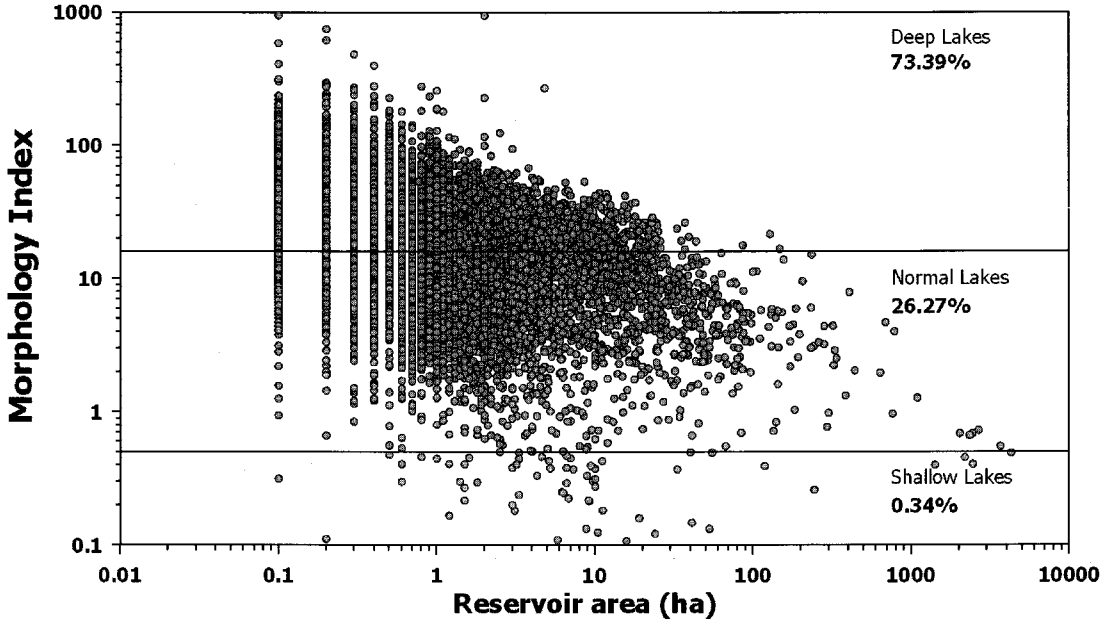


그림 5. 저수지 만수면적과 형상지수의 관계

Crouzet(1999)의 분석에 따르면 유럽의 인공저수지도 우리나라 농업용 저수지의 경우에서처럼 주로 보통과 깊은 저수지로 구분되고, 따라서 자연적인 호수(대부분이 보통 저수지로 분류 됨)와는 구별되는 특성을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 이는 인공 저수지를 개발함에 있어 고려되는 사항이므로(만수면적에 비해 저수량(또는 수심)이 큰 경우 선택) 당연할 결과이기도 하다. 특히, Leonard and Crouzet(1999)의 경우는 유럽 지역의 면적 100km² 이상 되는 큰 규모의 저수지와 호수를 대상으로 분석을 수행하였음에도 불구하고 본 연구의 결과와 유사한 결과를 나타내고 있음에 주목할 필요가 있다. 아울러, 저수지의 규모가 커짐에 따라(만수면적이 커짐에 따라) 저수지는 대부분 보통 저수지로 분류된다.

2) 저수량-만수면적-제당높이 관계분석

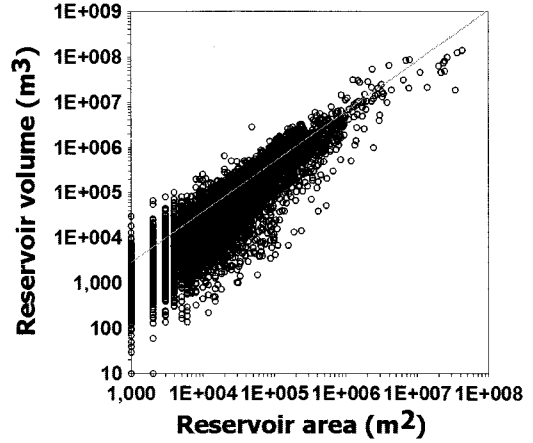
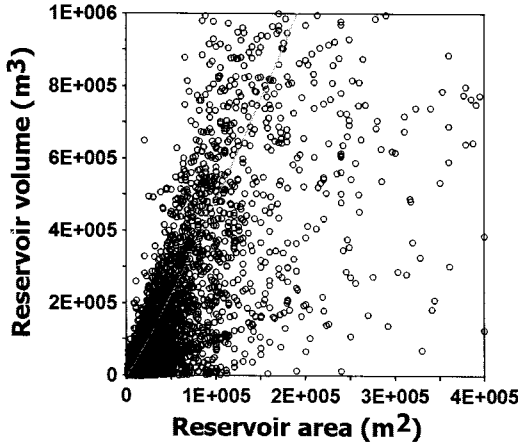
저수지의 형태를 좌우하는 주요 제원인 저수량, 만수면적, 제당높이가 서로 어떠한 관계를 가지고 있는지 조사하였다. 그림 6은 각 특징별 관계를 선형 및 대

수축의 그래프로 나타낸 것이다.

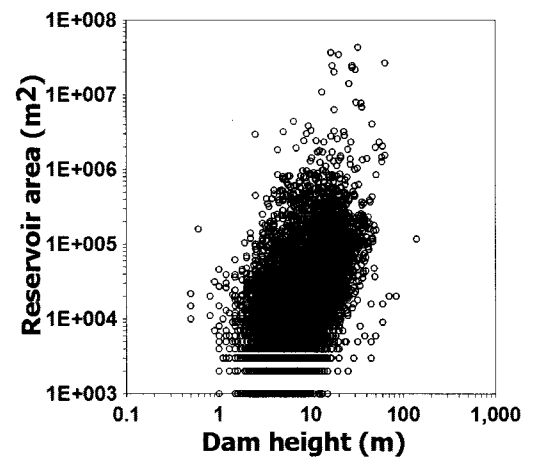
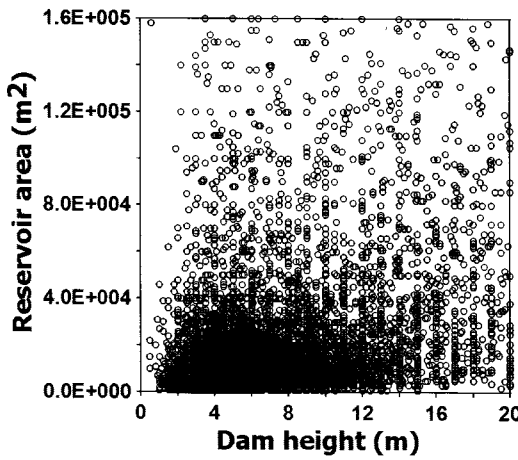
먼저 그림 6을 살펴보면 저수량과 만수면적의 관계는 대략적인 선형의 관계임을 파악할 수 있다. 그러나 제당높이와 만수면적 사이에는 어떤 특별한 관계가 보이지 않는다. 반대로 제당높이와 저수량관계는 대체로 선형인데, 특히 제당높이의 증가에 따른 급격한 저수량의 증가에 주목할 만하다. 마지막으로 저수량/제당높이와 만수면적 관계는 앞서의 경우들에 비해 현격하게 뚜렷한 선형의 관계를 보여주고 있다. 이는 제당높이와 만수면적의 곱(따라서 부피가 됨)이 저수량과의 뚜렷한 관계로 나타나기 때문인 것으로 판단된다. Lehner and Döll(2004), Takeuchi(1997)와 같은 기존 연구에서도 대체로 이와 같은 관계를 정량화하였으며, 정량화된 관계는 저수지 DB의 관리와 같은 실용적인 목적뿐만 아니라 저수지를 형태학적으로 특성화하는 데도 이용되었다.

먼저, Lehner and Döll(2004)는 전 세계의 저수지 및 호수에 대하여 다음과 같은 관계를 추정하였다.

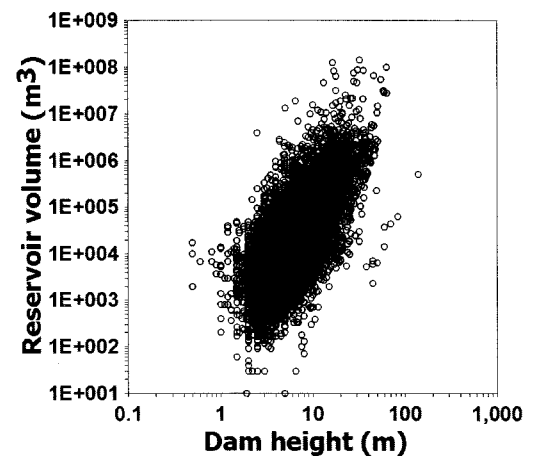
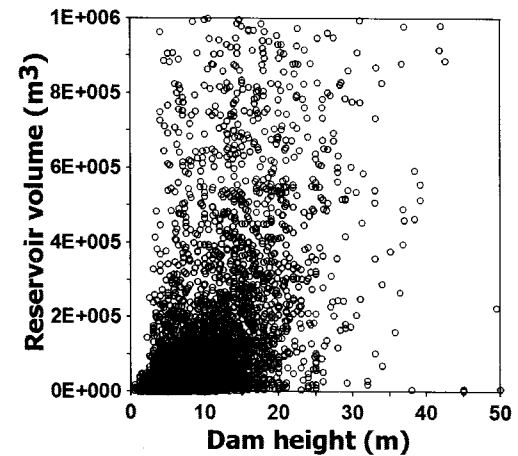
$$\text{만수면적(m}^2\text{)} = 3.42 \times \frac{\text{저수량(m}^3\text{)}}{\text{제당높이(m)}} \quad (5)$$



(a) 만수면적-저수량

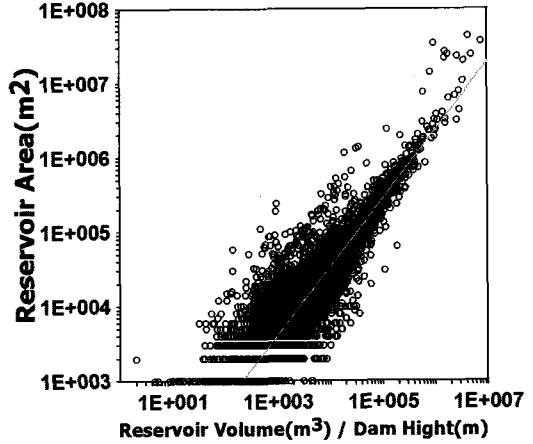
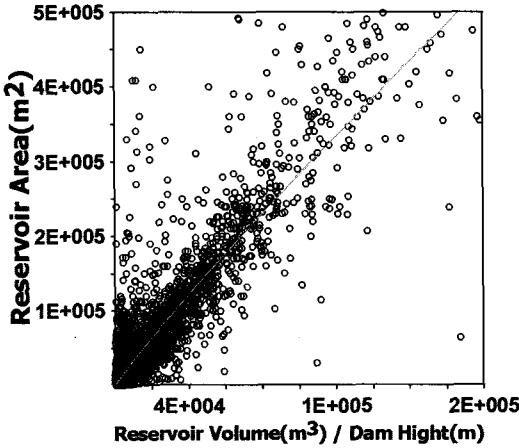


(b) 제당높이-만수면적



(c) 제당높이-저수량

그림 6. 저수량, 만수면적, 제당높이 관계 비교(오른쪽 그림은 왼쪽 그림을 전대수지에 재도시한 것임)



(d) 저수량/제당높이-만수면적

그림 6. (계속)

즉, 저수량은 만수면적과 제당높이의 곱의 약 29%(=1/3.42) 정도임을 나타낸다. 동일한 형태의 식을 우리나라의 농업용 저수지에 적용하면 비례상수로 2.96이 추정된다. 즉, 우리나라 농업용 저수지의 경우 저수량이 만수면적과 제당높이의 곱의 약 34%(1/2.96) 정도가 되고, 이는 기존 Lehner and Döll(2004)의 연구에 비해서는 약간 큰 값을 나타내는 결과이다. 그러나 Lehner and Döll(2004)의 연구에서는 만수면적이 50km² 이상인 호수와 저수량이 0.5km³ 이상인 저수지를 대상으로 하여 분석한 것이고, 아울러 자연적인 호수의 영향(호수는 저수지에 비해 수심이 낮은 편이다)이 크게 반영된 것이므로 인공적인 호수가 대부분인 본 연구의 경우와 유의한 차이를 의미한다고 판단하는 데는 무리가 있다. 즉, 인공저수지가 만수면적이 상대적으로 적은 위치에 건설된다는 점을 고려하면 본 연구의 결과와 Lehner and Döll(2004)의 결과사이에는 큰 차이가 없을 것으로 추정된다.

유사한 연구로서 Takeuchi(1997)도 살펴볼 수 있는데, 그는 만수면적 36.1km² 이상, 저수용량 0.5km³ 이상의 규모를 가진 전 세계의 저수지 7,936개를 대상으로 다음과 같은 만수면적과 저수량과의 관계를 추정하였다.

$$\text{저수량}(10^6 \times \text{m}^3) = 9,208 \times \text{만수면적}(\text{km}^2)^{1.114} \quad (6)$$

그러나 우리나라 농업용저수지의 경우는 그림 6에서 보여주고 있는 것처럼 뚜렷한 관계의 설정이 쉽지 않다. 가장 빈도가 큰 부분에 대한 추세를 작성한다고 하면 다음과 같은 관계식의 도출이 가능하다.

$$\text{저수량}(10^6 \times \text{m}^3) = 13,310 \times \text{만수면적}(\text{km}^2)^{1.114} \quad (7)$$

위 두 식을 비교하면 우리나라의 농업용 저수지의 경우가 더 큰 저수량을 주고, 따라서 더 깊은 저수지라는 것을 판단할 수 있다. 이는 우리나라의 농업용 저수지는 대부분 인공인데 반해 Takeuchi(1997)의 경우는 저수지와 호수를 함께 고려했기 때문으로 판단된다. 따라서 우리나라 농업용 저수지와 전 세계의 대형저수지 사이에 유의한 차이를 결론짓는 데는 무리가 있다고 하겠다.

5. 결론

본 연구에서도 전국에 분포되어 있는 18,060개 농업용 저수지의 허가면적, 수해면적, 유효저수량, 만수면적, 유역면적, 제당높이, 제당길이 등의 기본적인 제원들을 정리하고 그 특성을 파악하였다. 히스토그램을

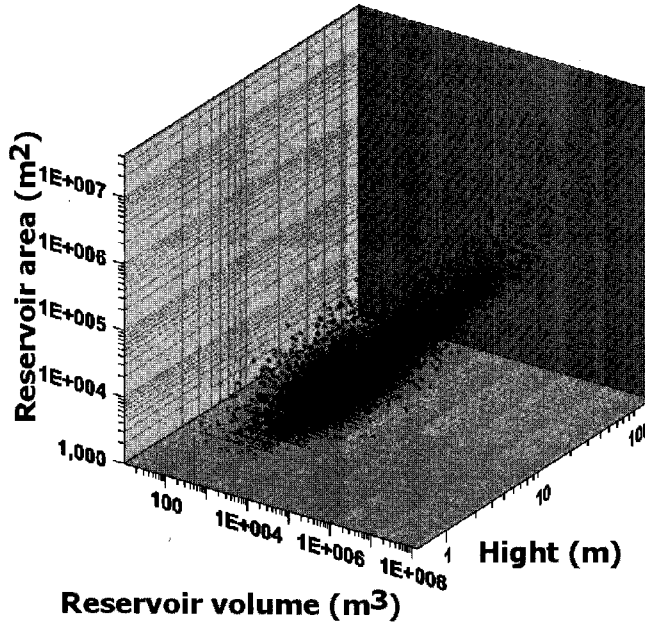


그림 7. 저수량-만수면적-제당높이 관계 (전체구간)

이용하여 저수지 각 제원의 분포특성을 파악하였고, 아울러 멱승법칙(power law)을 이용하는 파레토 분석을 통해 저수지 분포의 불평등성을 파악하였다. 각 제원의 불평등성은 파레토 지수로 정량화 하였다. 본 연구에서는 또한 저수지의 형태지수를 도입하여 각 저수지를 깊은 저수지, 중간 저수지 및 얇은 저수지로 구분하였으며, 전체적인 구분 특성을 고려하여 우리나라 저수지와 외국의 저수지를 비교할 수 있도록 하였다. 추가로 저수량과 저수지 제원들과의 관계, 즉 만수면적과 저수량과의 관계 그리고 저수량과 만수면적 및 제당높이와의 관계를 정량화 하여 비교함으로써 우리나라의 저수지와 외국의 저수지가 비교·분석할 수 있도록 하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 하천 단면의 특성에 해당하는 제당길이, 제당높이는 대수정규분포형과 비슷한 형태를 갖추고 있음을 파악할 수 있었고, 유역의 특성을 반영하는 허가면적, 수혜면적, 유효저수량, 유역면적, 만수면적은 지수분포형과 유사한 형태를 나타내고 있음이 파악 되었다.

2) 본 연구에서 조사를 실시한 제원들 중 지수분포형과 유사한 분포형태를 갖는 유역의 특성인자들은 파레토 분포로 설명할 수 있음을 파악하였고, 이 경우에

대해 파레토 지수를 추정하였다. 그 결과 수혜면적의 파레토 지수가 가장 큰 것으로 나타났고, 유효저수량의 경우가 가장 작은 것으로 나타났다.

3) 저수지 평균 깊이 및 만수면적으로 정의되는 형태지수와 저수지면적과의 관계분석을 통해 살펴본 결과 우리나라 대부분의 저수지는 깊은 호수와 보통 호수로 분류됨을 파악할 수 있었다. 이는 유럽의 저수지와도 동일한 특성이다(Leonard and Crouzet, 1999).

4) 마지막으로 저수량/제당높이와 만수면적 관계는 뚜렷한 선형의 관계를 가짐을 확인하였다. 아울러 저수량이 저수지면적과 제당높이의 곱의 34%로 나타나 기존 Lehner and Döll(2004)의 연구에서의 결과 29%보다 약간 크나 이는 자연적인 호수를 고려하지 않은 이유로 판단된다. Takeuchi(1997)와의 결과 비교에서도 유사한 결론을 얻을 수 있었다. 이상의 결과를 통해 우리나라의 농업용 저수지는 비록 대부분이 소규모기는 하지만 외국의 저수지와 비교하여 그 형태학적 특성이 크게 다르지 않음을 확인할 수 있었다.

謝辭

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업 (내배수 홍수분담 최적화 기술개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

註

1) 만수면적은 고정된 값이고 만수면적은 수위에 따라 변동하는 값이나 저수지의 형태학적 분석에서는 동일한 것으로 가정하며, 본 논문에서도 혼용하였다.

文獻

김선주 · 박재홍, 1998, “유지관리를 위한 관개용 저수지의 등급화,” 1998년도 한국농공학회 학술발표회 논문집, 한국농공학회, 47-58.

김성기, 2002, “농업용수의 효율적 이용 및 관리방안,” 농어촌환경, 농림부, 75, 14-21.

박삼규 · 송성호 · 최종학 · 최보규 · 이병호, 2002, “수리시 설물의 누수탐지를 위한 물리탐사의 적용성,” 한국지구물리탐사학회 제4회 특별 심포지움, 한국지구물리탐사학회, 179-195.

박창규 · 어대수 · 신수균 · 김명원 · 박영진, 2003, 저수지 수리현황 분석과 개선방안연구, 농어촌연구원

이광야 · 김해도 · 정광근 · 김계현 · 권오준, 2005, 효율적인 농업용 저수지 용수확보 및 이용방안 연구, 농어촌연구원

정병호 · 구분충 · 정인영 · 박창규 · 박광수 · 어대수 · 신수균 · 조영권 · 김명원 · 박영진, 2004, 홍수재해에 방을 위한 저수지의 수리·구조적 안전도 개선연구, 농어촌연구원

홍병만, 2004, “농업용 저수지 건설의 문제점 및 개선방안,” 한국수자원학회지, 37(4), 29-33.

Ayoma, H., Nagahara, Y., Okazaki, M. P., Souma, W., Takayasu, H., and Takayasu, M., 2000, Pareto's law for income of individuals and debt of bankrupt companies, *Fractals*, 8(3), 293-300.

Brock, J. R., 1971, On size distributions of atmospheric aerosols, *Atmospheric Environment*, 5, 833-841.

Clementi, F. and Gallegati, M., 2004, Power law tails in the Italian personal income distribution, *Physica A*, 350, 427-438.

Downey, A. B., 2005, Lognormal and Pareto distributions in the Internet, *Computer Communications*, 28, 790-801.

Dragulescu, A. and Yakovenko, M., 2001, Exponential and power-law probability distribution of wealth and income in the United Kingdom and the United States, *Physica A*, 299, 213-221.

Lehner, B. and Döll, P., 2004, Development and validation of a global database of lakes, reservoir and wetlands, *Journal of Hydrology*, 296, 1-22.

Leonard, J. and Crouzet, P., 1999, Lakes and Reservoir in the EEA area, Topoc Report No. 1/1999, European Environment Agency(EEA), Copenhagen, Denmark.

Persky, J., 1992, Pareto's law, *Journal of Economic Perspectives*, 6(2), 181-192.

Souma, W., 2001, Universal structure of the personal income distribution, *Fractals*, 9(4), 463-470.

Stuges, H., 1926, The choice of a class interval, *Journal of the American Statistical Association*, 21(153), 65-66.

Takeuchi, K., 1997, Least marginal environmental impact rule for reservoir development, *Hydrological Science Journal*, 42(4), 583-597.

교신 : 유철상, 136-701, 서울시 성북구 안암동 5가 1번지, 고려대학교 공과대학 건축사회환경공학과(이메일: envchul@korea.ac.kr, 전화: 02-3290-3321/ 019-412-1454)

Correspondence: Chulsang Yoo, Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, 5-1, Anam-dong, Sungbuk-Gu, Seoul, 136-701, Korea(e-mail: envchul@korea.ac.kr, Phone: +82-2-3290-3321)

최초투고일 07. 11. 22.

최종접수일 07. 12. 16.