

수공구조물 여유고 산정을 위한 파랑모형의 적용성 검토

김경호 · 이호진
충북대학교 토목공학과

Review on Application of Wave Model for Calculation of Freeboard in Hydraulic Structure

KYOUNG-HO KIM AND HO-JIN LEE

Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Korea

KEY WORDS: Wave model 파랑모형, Freeboard 여유고, Hydraulic structure 수공구조물, Dam 댐, Reservoir 저수지, SWAN (Simulating wave nearshore) model SWAN 모형, Empirical formula 경험공식

ABSTRACT: Most of dams and reservoirs were made from natural materials, such as soil, sand and gravel. This type of hydraulic structure has the danger of collapse by overflow during a flood. Freeboard is the vertical distance between the crest of the dam and the full supply level in the reservoir. It must be sufficient to prevent overtopping from over flow. Thus, freeboard determination involves engineering judgment, statistical analysis, and consideration of the damage that would result from the overtopping of a hydraulic structure. This study attempts to calculate the wave height in dam, which is needed for the determination of the freeboard of the dam. Chung-ju dam is selected as the study area. Using the empirical formulas, the wave heights in dam were calculated, and the results were compared with those by the SWAN model, which is a typical wave model. The difference between the calculated results from the empirical formulas and those by the SWAN model is considerably large. This is because empirical equations consider only fetch or fetch and wind velocity, while the SWAN model considers depth and topography data as well.

1. 서 론

대부분의 댐과 저수지들은 흙, 모래, 자갈 등과 같은 천연 재료로 구성되어 있다. 이와 같은 형식의 수공구조물들은 홍수 발생시 월류(Overflow)에 의해서 붕괴될 위험성을 가지고 있다. 따라서 홍수가 제체를 넘어가지 않도록, 여수로, 가배수로의 규모, 여유고의 결정 등에 세심한 주의를 기울여야만 한다(한국수자원학회, 2005).

여유고는 수문조작 사고, 파괴 및 예상치 못한 이상홍수 등에 대비하여 설정되는 여분의의 높이로서, 저수지 수면으로부터 댐 마루까지의 연직 높이를 말하며, 이를 결정하는 것은 만약에 있을 수 있는 최악의 상황에 대비해야 한다는 점에서 매우 중요하다. 여유고는 저수지내 바람에 의해서 발생하는 파랑고, 지진에 의한 파랑고, 여수로 형식에 의한 안전고, 댐 형식에 의한 안전고로 이루어져 있다. 여유고는 다른 안전인자들에 비해서 상대적으로 가볍게 취급되어 왔으며, 대부분의 경우 기존의 경험공식을 이용하여 결정되어 왔다.

태풍 루사 이후 감사원이 수행한 집중호우에 대비한 댐의 안전도 조사 자료에 의하면 수자원공사가 관리하는 21개 댐은 축조할 당시 1일 가능최대강수량이 511~777mm라는 조건하에서 축조되어 루사 때 강릉에 내린 877mm가 각 댐의 상류에 내린다면 붕괴될 위험이 높다고 밝히고 있다.

또한, 한국수자원공사가 정밀 조사한 '댐의 수문학적 안정성 평가'에서도 21개 댐 가운데 단 2곳을 제외한 19개 댐이 집중호우시 수위가 댐 높이를 넘거나 댐 여유고를 고려한 안정 허용수위를 초과한다고 발표하고 있다. 실제로 붕괴위험은 대형 댐보다는 중소형 댐이 더 크다. 한국농촌공사에서 관리하는 용수댐은 30년 이상 된 노후시설이 90.7%인 데다 설계 당시 100년 빈도 강우량 기준 미만으로 설계되어 최근의 기습폭우에 무방비 상태이다. 특히 중·소형 댐들은 주택가와 인접해 있어 붕괴시 상당한 인명피해와 엄청난 재산상의 피해를 가져올 것이 분명하다(허만갑, 2005).

최근 들어, 기상이변이 빈번해짐에 따라 태풍에 동반된 집중호우에 의한 피해가 속출하고 있으며, 태풍이 강풍을 동반함을 고려할 때, 댐의 월류 안정성을 확보하기 위한 여유고의 정확한 평가가 반드시 선행되어야 한다.

본 연구에서는 여유고 평가기준을 수립하기 위한 기초적인 단계로서 기존에 사용되어온 경험공식들과 최근에 개발된 파랑모형을 이용하여 여유고 결정의 가장 중요한 요소인 파고를 모의하여 수공구조물 여유고 결정 위한 파랑모형의 적용성을 검토하였다.

일반적으로 우리나라의 저수지 특성은 저수지 중심부는 물론 댐 전체 인근까지 파장 대비 수심이 매우 크기 때문에 파고 특성은 심해파로 규정할 수 있어, 본 연구에서는 각 모형에 대해서 심해파 조건을 적용하였다.

충주댐을 대상영역으로 선정하여 지형자료, 수심자료, 기상

교신저자 김경호 : 충북 청주시 흥덕구 개신동 12번지

043-261-2402 coastal@chungbuk.ac.kr

자료 등을 수집하여 분석하였고, 제3세대 파랑모형인 SWAN 모형을 이용하여 댐 내에서 발생하는 파고를 모의하였다. 또 기존에 사용되어온 경험공식인, Molitor 식, Falvey 식을 적용하였고, SMB법과 ACES 모형을 이용하여 파고를 산정하였다.

2. 여유고 결정을 위한 파고산정

2.1 여유고

대표적인 수공구조물인 댐의 여유고를 개념적으로 도시하면 Fig. 1과 같다(한국수자원학회, 2005).

그림에서 알 수 있는 바와 같이 여유고는 정상여유고와 최소여유고로 구분된다. 정상여유고(Normal freeboard)는 댐 마루 표고와 저수지 수위의 차이를 말한다. 최소여유고(Minimum freeboard)는 댐 마루 표고와 최고수위의 차이를 말한다(U.S. Dept. of Interior, 1987).

여유고에 대한 산정식으로는 일반적으로 다음과 같은 식을 이용한다.

$$H_f \geq H_w + h_a + h_i \quad (1)$$

여기서, H_f 는 여유고, H_w 는 파고, h_a 는 여수로 형식에 의한 안전고로 수문이 있을 경우에는 0.5m 취하고, h_i 는 댐형식에 의한 안전고로 보통 1.0m를 취한다. 여유고는 여러 가지 요소에 의해서 결정되지만 파고를 제외한 나머지 인자들은 고정된 값이 제시되어 있으므로 파고가 여유고를 결정하는 핵심 인자라 할 수 있다.

파고는 다시 엄밀하게 나누어, 바람상승(Wind set-up), 파고(Wave height) 및 처오름(Run-up)으로 구성되고, 이 가운데 파고가 본 연구에서 다룰 주된 내용이다. 저수지에서의 파고는 풍속, 바람의 지속시간, 대안거리, 수심 및 저수지의 폭에 따라 결정된다. 또한 파고는 제체와 풍향의 각도, 필댐 등에서는 상류쪽 비탈의 기울기, 그리고 그 비탈면의 거치된 정도에 영향을 받는다.

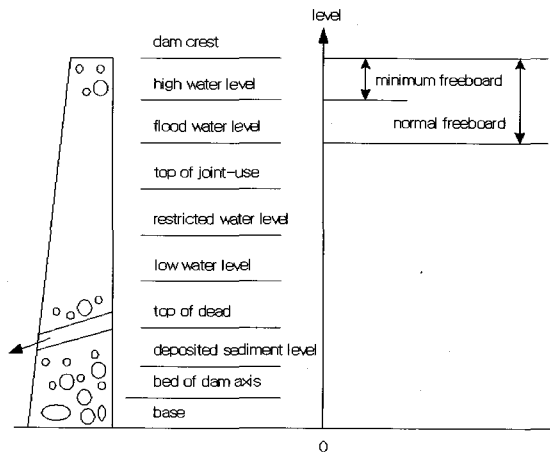


Fig. 1 Definition of the freeboard in the dam

2.2 SWAN 모형

컴퓨터 성능의 발달과 수치해석기법이 발달함에 따라 파랑 현상을 모의할 수 있는 수치모형이 발달하였다.

최근 들어 사용되고 있는 제3세대 파랑모형은 파랑 스펙트럼의 형태를 사전에 가정하여 실제 파랑 스펙트럼이 가정된 형태와 벗어날 때, 큰 오차를 발생시키는 기존 모형들의 문제점을 극복하여, 스펙트럼 형태를 사전에 가정하지 않고 파랑을 모의할 수 있도록 개발된 모형이다.

SWAN 모형은 바람, 수심 및 흐름 조건으로부터 근해, 호수 및 하구에서 파랑의 특성인자를 모의할 수 있는 제3세대 수치파랑 모형이다 (Booji et. al, 1999; Holthuijsen et. al, 2000). 이 모형은 파랑의 공간상의 전파, 수심변화와 흐름에 의한 굴절, 수심변화와 흐름에 의한 천수현상, 반대방향 흐름에 의한 파랑의 차단 및 반사 등을 고려할 수 있다.

SWAN 모형의 기본식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t} N(\sigma, \theta) + \frac{\partial}{\partial x} c_x N(\sigma, \theta) + \frac{\partial}{\partial y} c_y N(\sigma, \theta) + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N(\sigma, \theta) + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N(\sigma, \theta) = \frac{S(\sigma, \theta)}{\sigma} \quad (2)$$

위 식에서 좌변의 제 1항은 작용의 시간 변화량, 제 2항과 제 3항은 지리적 공간에서의 작용의 전파, 제 4항은 수심과 흐름의 변화에 의한 상대주파수의 천이 그리고 제 5항은 수심과 흐름에 의한 굴절을 나타낸다.

위 식에서 $c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta$ 는 지형공간(x, y)과 스펙트럼공간(σ, θ)에서의 파의 전파속도로서 각각은 다음과 같이 정의된다.

$$c_x = \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right] \frac{\sigma k_x}{k^2} + U_x \quad (3)$$

$$c_y = \frac{dy}{dt} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right] \frac{\sigma k_y}{k^2} + U_y \quad (4)$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[\frac{\partial d}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla d \right] - c_g \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial s} \quad (5)$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial m} \right] \quad (6)$$

여기서, $\vec{k} = (k_x, k_y)$ 는 크기 k 를 갖는 파수벡터 이고, d 는 수심, $\vec{U} = (U_x, U_y)$ 인 유속벡터, s 는 θ 방향에서의 좌표, m 은 s 에 수직인 좌표, $c_g = \vec{k}/k \cdot \partial \sigma / \partial k$ 로 정의되는 군속도(Group velocity)이다.

식 (2)는 작용의 시·공간적변화가 우변의 원천함수와 같다는 것을 나타내므로 작용평형방정식(Action balance equation)이라 부른다.

원천함수는 식 (7)과 같이 다양한 물리적 과정을 나타내는 여러 개의 항을 포함한다.

$$S(\sigma, \theta) = S_{in}(\sigma, \theta) + S_{ds}(\sigma, \theta) + S_{nl}(\sigma, \theta) \quad (7)$$

여기서, S_{in} 은 바람에 의한 파랑에너지의 발생을 나타내고, S_{ds} 는 백파(White capping), 바닥마찰(Bottom friction), 수심 변화에 따른 쇄파(Breaking)에 의한 에너지 소산을 나타내며, S_{nl} 은 파랑의 비선형 상호작용(Wave-wave interaction)에 의한 에너지 전달을 나타낸다(윤종태, 1999).

2.3 경험공식

(1) Molitor(1935) 식

미국의 관측 자료를 이용하여 Stevenson 식을 개량한 것으로 Stevenson 식이 대안거리만의 함수인 것에 반해, 풍속이 고려되는 것이 특징이며, 수심을 고려할 수는 없다. 파압 추정을 목적으로 사용되지만, 해안항만 분야에서는 항만 내의 파고를 간단히 추정하기 위하여 사용한다(Novak et. al., 2001).

$$H_w = 0.06 \sqrt{VF} + 0.76 - 0.27^4 \sqrt{F} \quad (8)$$

여기서 H_w 는 파고, F 는 대상지역까지의 대안거리, V 는 풍속을 나타낸다.

(2) SMB 법

유의파법은 실제의 불규칙한 파랑을 유의파로 대표시켜, 파랑과 주기를 풍속, 취송거리 및 취송시간에 결부시킨 것이다. SMB법은 2차 세계대전 중 군사상 목적으로 개발된 파랑 예측법으로, 이것은 Sverdrup과 Munk가 처음으로 개발하고 Bretschneider가 그 후의 자료를 더해서 재정리 한 것이다(Sorensen, 1993).

이 방법은 근본적으로 심해에서 일정한 바람이 부는 경우를 대상으로 한 것이지만 Willson, Bretschneider 등에 의하여 바람이 시간적, 공간적으로 변동하는 경우나 천해영역의 경우 등에도 적용될 수 있도록 개량되었고 다수의 관측 값에 잘 맞아서 공학적으로 가장 사용빈도가 높은 수법이다.

$$\frac{gH_w}{V_2} = 0.003 \left(\frac{gF}{V_2} \right)^{0.45} \quad (9)$$

여기서 g 는 중력가속도를 나타낸다.

위 식을 H_w 에 대하여 정리하면 다음과 같은 식을 얻는다.

$$H_w = 0.00086 V^{1.1} F^{0.45} \quad (10)$$

(3) Falvey(1974) 식

Falvey가 'Prediction of Wind Wave Heights(1974)'에 제시한 식으로서 대안거리와 풍속에 관한 함수로서 유의파고를 표현하였다(Sentürk, 1994).

$$\bar{H}_{1,\beta} = (31 \times 10^{-4} \times U_{10}^2 + 1.6 \times 10^{-2} \times U_{10}^2) F^{1/2} \quad (11)$$

여기서, $\bar{H}_{1,\beta}$ 는 유의파고, U_{10} 은 수면 위 10m에서의 풍속(m/s), 그리고 F 는 대안거리(km)를 나타낸다.

(4) ACES 모형

ACES 모형은 미국 육군 공병단의 해안공학 연구센터에서 개발한 모형이다. 수정SMB법에 기초하여 파고 및 주기 등을 추정하여 해안 구조물의 기본설계 및 분석에 사용되는 프로그램이다(Leenknecht et. al., 1991).

심해파로 가정하여 대안거리와 지속시간의 효과를 고려한다. 먼저 제한된 대안거리가 갖는 파랑장에 대하여 요구되는 최소 지속시간 t_{fetch} 를 결정한다.

$$t_{fetch} = 47.12 \frac{F^{0.72}}{g^{0.28} \bar{U}_a^{0.44}} \quad (12)$$

다음으로 파 성장의 특성이 제한된 지속시간을 조건으로 하는 것인가 아니면 제한된 대안거리를 조건으로 하는 것인가를 결정한다.

$$\text{Duration limited} \quad H = 0.000103 \left(\frac{\bar{U}_a^2}{g} \right) \left(\frac{gt_i}{\bar{U}_a} \right)^{0.69} \quad (13)$$

$$(t_i < t_{fetch}) \quad T = 0.082 \left(\frac{\bar{U}_a}{g} \right) \left(\frac{gt_i}{\bar{U}_a} \right)^{0.39} \quad (14)$$

$$\text{Fetch limited} \quad H = 0.0015 \left(\frac{\bar{U}_a^2}{g} \right) \left(\frac{gF}{\bar{U}_a^2} \right)^{1/2} \quad (15)$$

$$(t_i \geq t_{fetch}) \quad T = 0.3704 \left(\frac{\bar{U}_a}{g} \right) \left(\frac{gF}{\bar{U}_a^2} \right)^{0.28} \quad (16)$$

이어서 아래의 식으로서 완전히 발달 상태에서의 파고와 주기를 결정하게 된다.

$$H_{fd} = 0.2433 \left(\frac{\bar{U}_e^2}{g} \right) \quad (17)$$

$$T_{fd} = 8.134 \left(\frac{\bar{U}_e}{g} \right) \quad (18)$$

이상에서 g 는 중력가속도, t_i 와 F 는 제한된 지속시간 식에 사용된 바람의 지속시간과 대안거리를 나타내며 $\bar{U}_a = U_a \cos(\phi)$ 와 $\bar{U}_e = U_e \cos(\phi)$ 는 제한된 대안거리 식에 대한 U_a 및 U_e 성분 각각에 평행한 대안거리를 나타낸다.

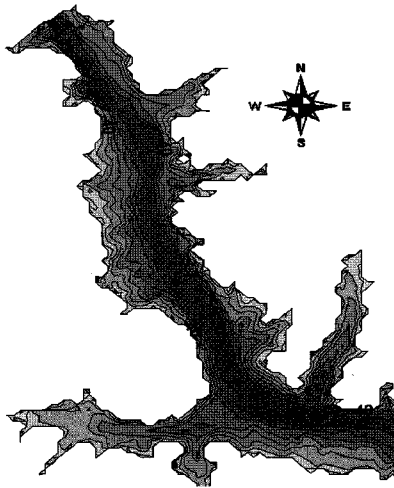


Fig. 2 Study area

3. 연구대상지역 및 입력자료

3.1 연구대상지역

연구대상지역은 수심자료의 취득이 가능한 충주댐을 선정하였다. 충주댐은 한반도의 중심부를 관류하는 남한강 수계에 건설된 국내 최대의 콘크리트 중력식 댐으로서 길이 464m, 높이 97.5m로 1978년 6월 착공하여 1985년에 완성되었다. 소양강댐에 이어 2번째로 많은 27억 5000만 톤의 저수능력을 갖추어 연간 33억 8000만 톤의 각종 용수를 수도권지역에 공급하고 있다. 또한 연간 6억 톤의 홍수 조절기능으로 한강 수위를 1m 정도 낮추고 있다.

충주댐 배후의 충주호에 대하여 댐축에 대하여 직각이면서 직선의 대안거리를 약 4.6km를 확보할 수 있는 동서 6.0km, 남북 5.2km의 범위를 적용대상 지역으로 선택하였다.

3.2 바람자료

댐에서 발생하는 파랑을 모의하기 위해서는 연구대상지역의 바람자료가 필수적이다. 본 연구에서는 연구대상지역 인근의 충주기상대 자료를 이용하였다.

충주 기상대는 북위 36°58', 동경 127°53'에 위치하며, 해발 높이는 69.1m, 풍속계의 지상높이는 10m로서 주로 기상관측(기상항목 관측 및 정보제공)을 주 업무로 하고 있다.

1982년에서 2001년까지 20년 동안 관측된 연별 풍향별 최대풍속 자료를 이용하여 풍향별 재현빈도별 풍속을 분석하여 Table 1에 제시하였다(기상청, 1982~2001).

Fig. 2에 제시된 바와 같이 댐 체체에 영향을 미치는 풍향의 계열로는 SSE계열, SE계열 그리고 ESE 계열임을 알 수 있다.

그러나 충주댐의 지형적 특성상 SE계열 및 ESE 계열의 바람은 주위의 높은 산으로 인해 차폐될 가능성이 높고, SSE 계열 만큼의 긴 대안거리를 확보하지 못한다.

따라서, 본 연구에서는 충주 댐 내의 파고를 산정하기 위하여 SSE의 계열의 풍향을 선정하였다.

Table 1 Wind velocity classified by return period and wind direction of the Chung-ju regional meteorological office (unit: m/sec)

Return period (year)	Wind direction			
	ESE	SE	SSE	S
5	6.51	7.49	6.52	6.55
10	7.85	8.71	7.64	7.82
20	9.14	9.87	9.71	9.04
50	10.81	11.39	10.09	10.61
100	12.05	12.52	11.13	11.79
200	13.30	13.65	12.16	12.97
500	14.94	15.14	13.53	14.52

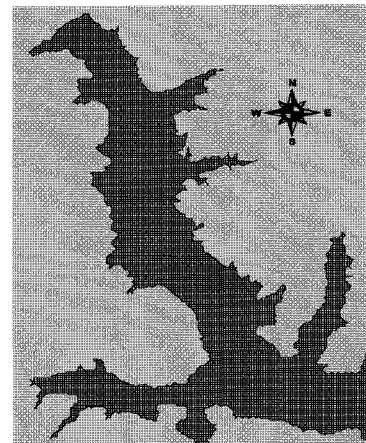


Fig. 3 Grid map of the Chung-ju reservoir

4. 적용 및 고찰

Fig. 2에 제시된 지형조건과 Table 1에 제시된 바람자료를 이용하여 앞에서 제시된 각각의 방법에 따라 파고를 산정하였다.

계산에 필요한 수심자료는 한국수자원공사에서 제시된 수심측량도를 이용하여 추출하였으며, 수치모형에 적용하기 위하여 Fig. 3과 같이 20m 간격으로 세분하여 격자망을 구성하였다.

앞에서 제시된 Molitor 식, Falvey 식, SMB법, ACES모형과 수치파랑 모형인 SWAN 모형을 이용하여 댐에서의 파고를 산정하였다.

Fig. 4에 각각의 방법들에 의해 얻어진 파고의 산정결과를 재현빈도에 따라 제시하였다.

Molitor 식에 의한 산정결과는 다른 4가지 방법에 의한 산정결과보다 상당히 크게 평가되고 있다. 이것은 경험공식의 특성상 관측 자료의 오류 및 관측 지역의 특성을 반영하고 있는 것으로 판단된다.

SMB법, Falvey 식, ACES 모형, SWAN 모형에 의해 산정된 결과는 풍속이 증가함에 따라 파고가 증가하고 있다. 각각의 결과를 살펴보면 다음과 같다.

이들 4가지 방법에 의해 추정된 파고의 크기는 SMB법에 의해 산정된 결과가 제일 크고, SWAN 모형에 의한 결과가 가장 작게 나타났다. Falvey 식과 ACES 모형에 의한 결과 또한, 유사한 경향을 보였으나 어떤 것이 정확한 결과를 나타내고 있다고 결론지어 말할 수는 없다.

각각의 방법들에 의해 산정된 파고를 정리하여 Table 2에 제시하였다.

표에 제시된 바와 같이 Molitor 식에 의한 결과는 0.69m~0.84m의 범위를 갖으며, 풍속의 크기 변화에 따른 파고의 변화가 미소하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

SMB법에 의해 산정된 파고는 0.31m~0.67m의 범위를 나타내고 있으며 일반적으로 사용되는 수공구조물 설계빈도인 50년 빈도에서는 0.49m의 크기를 나타내고 있다.

Falvey 식에 의해 산정된 파고는 0.25m~0.59m의 범위를 나타내고 있으며 50년 빈도에서는 0.41m의 크기를 나타내고 있다.

ACES 모형에 의해 산정된 파고의 크기는 0.21m~0.46m의 크기를 나타내고 있으며, 50년 빈도에서는 0.34m의 크기를 나타내고 있다.

SWAN 모형에 의해 산정된 파고는 0.17m~0.34m의 분포를 나타내고 있으며, 50년 빈도에서의 파고는 0.24m를 나타내고 있다.

풍속크기의 변화, 즉 재현기간에 따른 파고의 변화양상을 살펴보면 Molitor 식에 의한 결과는 최대값이 최소값에 비해 22%정도 증가하고 있다. SMB법에 의해 산정된 파고의 변화양상은 최대값이 최소값에 비해 116% 증가하였으며, Falvey 식에 의한 결과는 최대값이 최소값에 비해 136% 증가하였다. 또, ACES 모형에 의한 산정결과는 최대값이 최소값에 비해 119% 증가하였으며, SWAN 모형에 의한 산정결과는 최대값이 최소값에 비해 100% 증가하는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과로부터 Molitor 식을 제외한 나머지 방법들은 파고의 변화양상이 유사한 것을 알 수 있다. Molitor 식은 재현빈도가 낮은 경우에 파고를 과대평가하고 있고, 풍속의 증가에 따른 파고의 증가를 잘 반영하지 못하고 있는 것으로 판단된다.

그러나, 위에서 사용된 방법들 중 SWAN모형을 제외하고는 관측 자료에 근거하여 도출된 경험공식들이므로, 관측이 행해진 지역의 기후적인 특성을 반영하고 있어, 정확한 결과를 나타내고 있다고 말할 수는 없다.

또한, 국내의 지형조건은 이와 같은 식들이 개발된 서구의 지형조건과 다른 특성을 많이 보이고 있다. 예를 들면, 서구의 경우 산지보다는 평지가 많지만, 우리나라의 경우 산지가 많아 서구의 파고 발달과정과는 차이를 나타낼 수 있다.

하지만, 각각의 공식들의 제한조건 및 적용성을 검토하기 위한 구체적인 연구, 국내의 관측 자료를 이용한 공식의 검토·보정이 이루어지고 있지 않아 이들 식들을 그대로 사용하기에는 문제가 있을 것으로 판단된다.

특히, 해마다 되풀이되는 수해를 방지하기 위해 수공구조물의 홍수방어 능력을 높이기 위한 안전도 검토가 이루어지고 있음을 생각할 때 여유고 산정방법을 정립하기 위한 혁신적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서 사용된 수치파랑 모형은 경험 자료에 기초하여 개발된 기존의 방법들과는 달리 작용평형방정식에 기초하고 있으므로, 경험공식이 가지고 있는 단점을 극복하기 위한 하나의 대안으로 생각할 수 있다.

따라서, 이와 같은 수치모형을 국내의 실정에 맞게 수정하거나, 관측 자료를 이용하여 예측능력을 향상시킨다면 수공구조물 여유고 산정을 위한 파고 산정의 정확성을 향상시킬 것으로 판단된다.

5. 결 론

현재, 우리나라에서 댐 여유고 산정을 위해 사용되고 있는 파고산정 방법들에 대하여 고찰해 보았다.

연구대상지역으로 수심자료의 획득이 가능한 충주댐 영역을 선정하였다. 기존에 사용되어온 경험적 방법으로는 Molitor 식, Falvey 식, SMB법, ACES 모형을 선택하였으며,

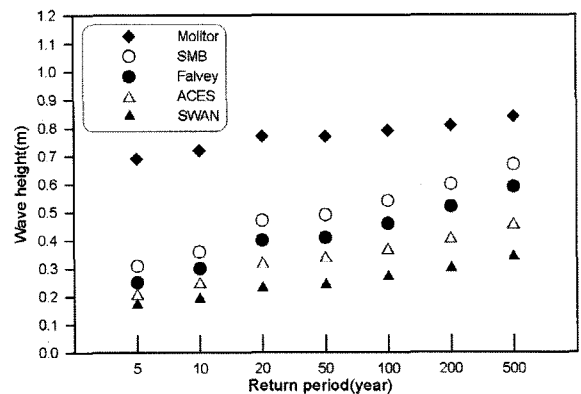


Fig. 4 Wave height according to the return period

Table 2 Wave height at Chung-ju reservoir

(unit: m)

Method					
Return period (year)	Molitor	SMB	Falvey	ACES	SWAN
5	0.69	0.31	0.25	0.21	0.17
10	0.72	0.36	0.30	0.25	0.19
20	0.77	0.47	0.40	0.32	0.23
50	0.77	0.49	0.41	0.34	0.24
100	0.79	0.54	0.46	0.37	0.27
200	0.81	0.60	0.52	0.41	0.30
500	0.84	0.67	0.59	0.46	0.34

수치파랑모형으로는 대표적인 제3세대 파랑모형인 SWAN 모형을 선택하였다.

파랑추산을 위한 입력 자료로서는 충주기상대에서 관측된 20년간의 풍속자료를 분석하여 빈도별 풍속을 산출하였으며, 수심 및 지형자료는 충주댐 유역도를 이용하여 추출하였다.

이와 같은 계산 및 모의 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

(1) 각각의 방법들에 의한 파고의 크기는 Molitor 식에 의한 파고는 0.69m~0.84m의 범위를 나타내고 있어 다른 식들에 비해서 과대평가되고 있다. Falvey 식에 의한 파고는 0.25m~0.59m의 분포를, SMB법에 의한 파고는 0.31m~0.67m까지의 범위를 나타내고 있다. 또, ACES모형에 의한 결과는 0.21m~0.46m의 분포를, SWAN 모형에 의한 파고 산정결과는 0.17m~0.34m의 크기를 나타내고 있어, 상대적으로 파고가 작게 산정됨을 알 수 있다.

(2) Molitor식에 의한 파고를 다른 방법들과 비교한 결과 상당히 과대평가 되는 것으로 나타났다. 댐 시설 기준에 제시된 방법으로서 SMB법을 이용한 결과도 역시 SWAN 및 ACES에 비하여 과대평가되고 있다. 만약, 이와 같은 방법에 의해 산정된 파고가 과대평가되어 제체의 여유고가 실제 필요한 크기보다 크게 결정된다면 막대한 경제적 낭비를 가져올 것이다. 또한, 홍수 발생시 댐 운영을 탄력적으로 할 수 있는 범위를 제한시켜 홍수방어체계의 효율성을 감소시킬 것이다.

(3) Molitor 식, SMB 법, Falvey 식, ACES 모형, SWAN 모형에 대하여 5년, 10년, 20년, 50년, 100년, 200년, 500년 빈도의 바람자료를 이용하여 모의한 결과 파고 값이 200년 이상의 빈도에 대하여 상호간의 차이가 작게 나는 것을 확인 할 수 있었다. 이로써 바람으로 야기되는 파고는 어느 한계 이상 발달할 수 없음을 알 수 있다.

(4) 기존에 사용되어온 방법들은 서구의 관측 자료를 바탕으로 하여 개발된 경험공식이므로, 우리나라의 자연조건과 기후조건을 고려하지 못하고 있다. 또한, 이와 같은 공식들의 적용성에 대한 검토도 전무한 실정이다. 특히, 기후변화에 따른 집중호우의 증가로 여유고에 대한 신뢰성 있는 산정이 중요한 실정임을 감안할 때 지역적인 특성이나 자료 의존성이 없는 수치모형을 이용하여 여유고 산정기법을 개발하는 것이 합리적인 것이다. 본 연구에 도입된 SWAN모형은 제3세대 수치파랑모형으로 이상기후 등의 조건변화에 탄력적으로 대응할 수 있다. 따라서, 국내실정을 고려한 현장자료 수집 및 관측을 병행하여 모형의 적용성을 향상시킨다면, 댐 여유고 산정을 위한 도구로서 충분한 역할을 할 것으로 판단된다. 특히, 최근의 집중호우에 의한 수공구조물의 안전도 위협은 기존 구조물들의 여유고 및 여유용량에 대한 정확한 평가를 필요로 하고 있다. 이와 같은 연구는 수공구조물의 안정성을

향상하여 재해 발생요소를 감소시킴으로써 국민생활의 안정을 도모할 수 있을 것이다.

후 기

“이 논문은 2006년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

참 고 문 헌

- 기상청 (1982-2001). “기상연보”, 기상청.
- 윤종태 (1999). “동해에서의 파랑추산을 위한 심해파랑 모형에 관한 연구”, 한국해양공학회지, 제13권, 제2호, pp 116-128.
- 한국수자원학회 (2005). “댐시설기준”, 한국수자원학회, pp 181-189.
- 허만갑 (2005). “예측 못한 폭우에 댐이 무너지고 있다” 주간조선, 조선일보사, 제 1869호, pp 18-20.
- Booij, N., Ris, R.C. and Holthuijsen, L.H. (1999). “A Third-generation Wave Model for Coastal Regions”, J. Geophysical Research, Vol 104, No C4, pp 7649-7666.
- Falvey, H.T. (1974). “Prediction of Wind Wave Heights”, Journal of the Waterway, Harbor and Coastal Engineering Division, ASCE, Vol 100, No 1, pp 1-12.
- Holthuijsen, L.H., Booij, N., Ris, R.C., Haagsma, IJ. G., Keiftenburg, A.T.M.M. and Kriezi, E.E. (2000). “SWAN Cycle III Versio 40.11 USER MANUAL”, Delft University of Technology.
- Leenknecht, D.A., Szusalski, A. and Sherlock, A.R. (1991). “Automated Coastal Engineering System Technical Reference”, Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers.
- Molitor, D.A. (1935). “Wave Pressures on Sea-walls and Breakwaters”, Trans. ASCE, Vol 100, p 984.
- Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. and Narayanan, C. (1998). “Hydraulic Structures”, E & FN SPON, pp 162-165.
- Sentürk, F. (1994). “Hydraulics of Dams and Reservoirs”, Water Resources Publications, pp 416-427.
- Sorensen, R.M. (1993). “Basic Wave Mechanics”, John Wiley & Sons, pp 145-160.
- United states department of the interior (1987). “Design of Small Dams”, pp 255-258.

2006년 8월 21일 원고 접수

2006년 12월 11일 최종 수정본 채택