방파제상 월파시 인간 안정성 평가에 관한 실험적 연구

Experimental Study on the Evaluation of the Human Stability due to Overtopping Waves in the Breakwater

배현웅* · 최홍수** · 이규세*** · 임남형****

Bae, Hyun Ung · Choi, Hong Soo · Yi, Gyu Sei · Lim, Nam Hyung

Abstract

Major loss of life can occur in the breakwater when people are toppled by overtopping waves. Over the last four decades, a number of numerical(analytical) and experimental studies to define the limit criteria of the loss of human stability in flood flows have been conducted. However, the analytical or experimental study to investigate the loss of human stability in overtopping waves has not been performed up to now. In this paper, the experimental investigation of the human stability in overtopping waves is conducted using two-dimensional large scale multipurpose wave flume for wave-current-tide. These new experimental results show that the toppling of human can be expected in lower depth/lower velocity compared to that of ordinary flood flows based on previous experimental study. Also the criteria for the stability of people subject to overtopping waves are proposed.

Key words : Breakwater, Coastal zone, Human stability, Overtopping wave

요 지

사람이 월파수에 의해 전도될 때 주요 인명피해가 방파제상에서 발생할 수 있다. 지난 40년간 홍수시 인간 안정성 상실 기준을 정의하기 위한 많은 이론적 및 실험적 연구가 진행되었다. 그러나, 월파수에 의한 인간 안정성 상실 현상을 분석하기 위한 이론적 및 실험적 연구는 진행되지 않았다. 본 논문에서는 2차원 대형 파-흐름-조석 복합수조를 활용하여 월파수에 의한 인간 안정성에 대한 실험적 분석을 수행하였다. 이러한 새로운 실험결과로부터, 기존에 수행된 일반적인 홍수흐름에 대한 실험결과와 비교하여 더욱 낮은 유속/낮은 수심에서 인간의 전도가 발생할 수 있음을 알 수 있다. 또한 월파수에 노출된 인간 안정성의 평가기준을 제안한다.

핵심용어 : 방파제, 연안역, 인간 안정성, 월파

1. 서 론

최근 사회의 성숙화, 국민생활수준의 향상에 따라 여가활동 수준의 고급화와 다양화가 진행되면서 해양관련 레저 활동 및 관광에 참여하고자 하는 국민의 관심이 증가하고 있다. 3면이 바다인 우리나라의 지리학적 환경은 직접 체험하고 이용하려는 관광패턴의 변화와 더불어 해양관광 인구가 지속적으로 증가되고 있다. 한국해양수산개발원에서 발행하는 해양수산동향(Lee, 2008)에 따르면, 국민 1인이 1년 동안 해양관광에 참여하는 횟수가 2000년에는 6.9회였지만, 2010년에

는 7.3회, 그리고 2030년에 8.3회로 증가할 것으로 예측하고 있으며, 국민 전체가 바다낚시에 1년 동안 참여하는 횟수는 2000년도에 1,661만회였지만 2010년도에 2,414만 3천회, 그리고 2030년도에는 4,819만 6천회로 증가할 것으로 전망하고 있다. 또한, 전국적으로 마리나, 다기능 여항건설이 추진되고 있으며, 2006년부터 2030년까지 국내총생산(GDP)의 20.6% 수준으로 '삶의 질' 향상을 위한 공공복지 지출규모가 확대되고, 마리나, 리조트 등 휴향시설이 해안에 집중될 것으로 예상됨에 따라 레저인구는 계속 증가할 것으로 전망되고 있다 (Chang, 2009).

*정회원. 충남대학교 토목공학과 박사과정(E-mail: dalmatian101@cnu.ac.kr)
Member. Ph.D Candidate, Department of Civil Engineering, Chungnam National University

**㈜세화디엔씨 대표이사, 충남대학교 토목공학과 박사
Representative Director, SehwaDNC, Ph.D, Department of Civil Engineering, Chungnam National University

***정회원. 선문대학교 토목공학과 교수
Member. Professor, Department of Civil Engineering, Sunmoon University

****교신저자. 정회원. 충남대학교 토목공학과 교수(Tel: +82-42-821-7005, Fax: +82-42-821-8867, E-mail: nhrim@cnu.ac.kr)
Corresponding Author. Member, Professor, Department of Civil Engineering, Chungnam National University

이처럼 연안역 관광객 수요가 증가하여 한편으로는 안전사고 발생확률이 증가함을 암시할 수 있다. 최근 이상기후 등에 의해 2001년 6회 출현했던 3.1 m 이상의 이상파랑이 2002년 15회, 2004년 20회, 2006년 45회로 증가추세를 보이고 있으며(Lee, 2010) 특히 관광객들이 바다 쪽으로 가장 근접하게 접근할 수 있는 연안지역의 대표적 친수시설인 방파제는 파도를 막는 배후에 적당한 정온(靜穩)수역을 창출하는 것을 목적으로 한 시설이기 때문에 다른 항만시설에 비해 파랑조건이 혹독한 장소에 설치된다. 하지만 방파제가 지닌 여러 장점 때문에 친수시설로서 각광받고 있어, 최근 친수성 방파제의 건설이 촉진되고 있다. 따라서 연안역 관광객 수요의 급증으로 이상파랑 등에 의한 위험에 가장 쉽게 노출될 수 있는 친수공간으로 볼 수 있다(Choi, 2012).

실제로 2003년부터 2010년까지 국내 연안역에서 발생한 안전사고사례에 의하면, 총 71건의 사고사례 중 29건(40.9%)의 사고가 방파제에서 발생하였으며 총 66건(93.0%)이 해상 추락사고이다. 해상추락사고 중 49건(74.2%)이 사람의 추락이었으며, 건수는 49건이지만 인원으로 따졌을 경우 64명의 추락인원이 발생되었다. 인명추락사고 중에서는 주로 방파제(35명)에서 사람의 추락사고가 발생(54.7%)되었고, 방파제 추락사고 인원 중 파도에 의한 추락사고는 11명(31.4%)으로 파악되었다(Lim et al., 2012).

2009년에는 강원도 강릉시에 위치한 주문진에서 너울성 파도가 발생하여 5명의 인명피해가 발생한 사례가 있다. 이와 같이 최근 증가하고 있는 예기치 못한 이상파랑 등의 너울성 파도로 인하여 방파제에서의 관광객들은 매우 위험한 상황에 처할 수 있으므로, 급증하고 있는 연안역 관광수요에 발맞춰 이에 대한 안전시설의 확충 및 안전기준에 대한 대책마련이 시급한 실정이다.

본 논문에서는 최근 이상파랑의 증가 및 연안역 관광수요의 급증에 따라 대국민 안전성을 확보하기 위한 연안역 안전기준 확립에 기초적 자료를 제공하기 위해, 방파제에서 월파에 의한 인간 안정성 평가에 관한 실험적 연구를 수행하였다. 이를 통해 방파제상 인간의 전도 특성을 분석하고 안정성 평가기준을 제시하고자 한다.

Fig 1. Overtopping wave on a breakwater

2. 인간 안정성 평가 실험

2.1 인간 안정성 모델

물의 흐름 내에서 인간이 안정성을 상실하는 메커니즘은 두 가지로 나타낼 수 있다. 마찰(Friction) 한계상태에 의한 미끄럼형(Slipping type) 전도와 모멘트(Moment) 한계상태에 의한 쓰러짐형(Tumbling type) 전도이다. 미끄럼형의 전도와 쓰러짐형의 전도(Figs. 2 and 3)를 계산하기 위하여, Eq. (1)~(3)을 이용하였다. Eq. (1)은 마찰한계상태에 의한 전도식이며, Eq. (2)는 모멘트한계상태에 의한 전도식이다. 여기서, F 는 항력, μ_s 는 정마찰계수, W_o 는 수중중량, h_G 는 바닥면에서 항력 작용 위치까지의 거리, l_G 는 발뒤꿈치에서 무게중심까지의 거리이다. 항력은 Eq. (3)과 같이 구하며, 여기서 C_D 는 항력계수, w_o 는 물의 단위중량, g 는 중력가속도, A_o 는 투영면적, V 는 유속이다(Takahashi et al., 1992).

$$F \geq \mu_s W_o \quad (1)$$

$$F h_G \geq W_o l_G \quad (2)$$

$$F = C_D \frac{w_o}{2g} A_o V^2 \quad (3)$$

2.2 실험 개요

기존 국외에서 선행된 인간 안정성에 대한 실험연구는 홍수시와 같은 일정하게 흐르는 물속에서의 인간의 전도에 대한 연구(Foster and Cox, 1973; Abt et al., 1989; Karvonen, 2000; Yee, 2003; Jonkman, 2008; Cox et al., 2010; Lind et al., 2004; Ramsbottom et al., 2004; Ramsbottom et al., 2006)가 주로 이루어졌다. 본 연구에서 수행한 인간

Fig. 2. Unstable behavior of a human due to the flow

Fig. 3. Concept of human stability evaluation(F.B.D)

Fig. 4. Cross section of breakwater model

안정성 실험은 인간에게 미치는 월파에 의한 충격력 등의 월파-월류 효과를 고려한 것으로 기존 연구와는 차별성이 있는 실험이라 할 수 있다.

월파 실험에 사용된 실험수조는 2(폭)×3(깊이)×100 m(길이)의 대형수조를 사용하였고, 방파제 모형은 2×1.8×3.2m의 직립제 형태로 축소하였다. 방파제 모형의 재료는 콘크리트 블록과 시멘트를 이용하였으며 자갈로 속채움을 하여 모형의 중량을 확보하였다. 수심은 1.7 m로 고정하여 초기의 천단고는 0.1 m가 되도록 하고, 방파제 높이를 0.1 m의 평판을 이용하여 0.1 m씩 가변시킬 수 있는 형태로 제작하여 천단고가 최대 0.6 m까지 될 수 있도록 하였다.

월파시 예상되는 방파제상 수심, 유속 범위를 Takahashi 이론식(Takahashi et al., 1992)에 의해 결정하여 실험파를 결정하였다. 예상 파고(0.68~1.00 m)를 1.0 sec 주기마다(3.0~10.0 sec) 단주기와 장주기를 고려할 수 있도록 설정하였고, 조파기 spec을 고려하여 주기별로 생성(generate)이 가능한 파고까지만 설정하였다. 주기 3.0~4.5 sec는 단주기파로써 고려하고, 5.0~7.0 sec는 중간 주기파로써, 주기 8.0, 9.0, 10.0 sec는 장주기파로써 고려하였다.

본 논문에서 목표로 하는 실험은 직립 방파제상의 인간이 바른 자세로 서있을 때, 파도에 의한 월파-월류시 안정성을 상실할 때의 수심과 유속을 측정하기 위한 실험이다. 월파현상이 아닌 일반적인 물의 흐름속 사람의 안정성에 대한 국외 실험 데이터와 비교하여 본 실험은 월파시 낙하하는 물에 의한 파력의 영향 등으로 인간이 전도될 때의 결과 치에 차이가 있을 것으로 판단된다. 방파제 상에 월파수가 낙하하여 흐를 때의 최대수심은 약 0.37 m까지 측정되었으며, 최대유속은 2.9 m/s까지 측정되었다. 유속계는 최대 약 10 m/s까지 측정 가능하고 오차 ±2%의 성능을 가진 프로펠러식 유속계를 사용하였다.

2.3 월파수 운동 검증

본 실험 분석에 앞서 실험의 신뢰성 파악을 위해 대표적 파조건에 대한 방파제 상의 월파수 운동을 일본의 Takahashi 등 (1992)에 의해 제안된 이론식과 비교하였다.

월파수의 운동은 월파한 월파수가 방파제 천단면에 닿기 직전까지의 타입시와 월파수가 천단면에 낙하 후 항 내측으

(a) Overtopping state

(b) Overflow state

Fig. 5. Phenomenon and model of overtopping wave

(a) 0.00sec

(b) 0.08sec

(c) 0.15sec

(d) 0.23sec

(e) 0.28sec

(f) 0.38sec

Fig. 6. Motion of overtopping wave(hc=0.1 m, T3.0-H068)

Table 1. Comparison between theoretical and experimental values on motion of overtopping wave

Parameters		Theoretical values(m)	Experimental values(m)
Overtopping instant	Maximum height(η_3)	0.17	0.12
	Drop distance(l_3)	0.40	0.65
Over flow instant	Front maximum depth(η_1)	0.60	0.60
	Constant depth(η_2)	0.24	0.21
	Distance until constant depth(l_1)	0.89	0.87
	Velocity in constant depth(U_s)	3.49	1.78

로 흘러가는 월류시로 구분된다(Fig. 5). 타입모델에서는 그 궤적의 최대높이 η_3 , 낙하거리 l_3 로 타입시의 파면의 운동을 나타낼 수 있으며, 월류모델에서는 앞면의 최대수위 η_1 , 항 내측의 일정수위 η_2 , 일정수위까지의 거리 l_1 에 의해 월파시의 파면의 운동을 나타낼 수 있다. 본 실험의 비디오 분석 및 유속 측정을 통해 파고/주기 및 천단고에 따른 이론값과 실험값을 비교하였다.

Fig. 6은 천단고 0.1 m, 주기 3.0 sec, 파고 0.68 m일 경우의 실제 월파수의 시간대별 운동을 대표적으로 나타낸 것으로 (a)를 기준으로 상대적 시간대를 나타내었다. Table 1과

같이 월파수 운동 현상에 대한 주요 파라미터 이론값들이 실험값과 큰 오차 없이 유사하게 나타난 것을 알 수 있으며, 월파양상 또한 거의 유사한 양상으로 나타난 것을 확인할 수 있다. 그러나 방파제상 일정수심지역의 유속은 이론값보다 낮은 유속을 나타내어 이론식의 유속이 다소 과대평가되고 있음을 알 수 있다. 종합적으로, Takahashi 이론식(Takahashi et al., 1992)과 비교한 결과 본 실험은 어느 정도 월파수의 운동을 잘 모사하고 있다고 판단된다.

2.4 실험 및 피험자 조건

Fig. 7과 같이 방파제상에서 인간이 전도될 때의 수심과 유속은 사람의 체형뿐만 아니라 착용하고 있는 옷, 신발, 바닥의 표면, 서있는 조건 등에 따라 차이가 있다. 본 절에서는 이러한 인간의 전도에 영향을 미치는 요소들에 대해 설명하였으며, 가장 지배적인 요소는 체형(키, 몸무게 등)의 차이이다.

피험자는 성인남성(단신, 장신, 비만체형)에 대해 실제 사람 3명을 대상으로 실험을 수행하였다. 피험자의 신체치수는 Table 2와 같다. 주요 파라미터가 되는 체중과 신장은 각 연령별 통계적 표준치(2004년 사이즈코리아 자료)와 함께 나타내었다.

Takahashi 등 (1992)의 연구 자료에 의하면, 물의 흐름 내의 사람에게 작용하는 힘과 관련된 항력계수는 피험자에 따라 차이는 거의 없으나 복장에 따라 약간의 차이가 있다는 결과를 보였다. 연구결과에 따르면 롱부츠와 슬랙스에서는 항력계수가 0.6~1.0, 드라이슈트(방수 옷)에서는 0.9~1.15로 전

Fig. 7. Panorama of a test on human stability on breakwater

Table 2. Body size of subjects(Unit: kg, m)

	Subject1	Subject2	Subject3
Age	28	27	26
Height(H)	1.680	1.800	1.770
Standard height	1.708	1.720	1.726
Weight(M)	72	75	90
Standard weight	67	71	71
Difference from standard weight	7.46%	5.63%	26.76%
HM	121	135	159
Standard HM	114	122	123

체적 분산이 크다는 것으로 나타났다. 또한, 신발과 바닥면의 정마찰계수에 대한 실험결과에 의하면, 바닥면의 상황에 따라 운동화는 0.4~0.9, 구두는 0.6~0.9로 나타났다. 월파시와 같은 젖은 상황에서는 미끄러운 콘크리트 면으로 0.6을 대푯값으로, 수초 등의 부착물로 덮여 매우 미끄러운 상황에서는 대푯값으로 0.4를 고려할 수 있다고 제안하였다.

본 실험의 피험자는 청바지를 착용하였으므로 항력계수 0.6~1.0을 사용할 수 있다. 또한 착용신발은 일반 운동화를 모두 동일하게 착용하여 마찰계수는 0.4~0.9값을 사용할 수 있다.

무게중심의 위치는 Park et al.(2009)의 연구 자료를 참고로 하여 발뒤꿈치로부터(0.3×발길이) 지점을 대푯값으로 설정하였으며, 피험자 모두 물이 흘러오는 방향을 정면으로 보고 실험하였다.

이론적 인간 안정성 평가 모델에서 고려되는 마찰계수와 항력계수는 본 실험에서는 실측되지 않았기 때문에 기존 문헌자료에 의해 가정되어 사용될 수밖에 없는 한계점이 있다. Fig. 8과 9는 인간 안정성 상실시의 유속과 항력계수/마찰계수와와의 관계를 나타낸 것이다. 기존 실험 자료에 의해 0.6~1.15의 값을 갖는 항력계수는 사람의 착용복장에 따라 Fig. 8과 같이 인간전도시 유속에 최대 27.8% 민감도를 보이며, 0.4~0.9의 값을 갖는 마찰계수는 바닥표면에 따라 Fig. 9와 같이 최대 50.0%의 민감도를 보여, 이론적 안정성 평가 모델식에 사용되는 변수(무게중심, 마찰 및 항력계수)들의 불

Fig. 8. Influence of drag coefficient when human overturns

Fig. 9. Influence of friction coefficient when human overturns

확실성에 의해 평가기준에 많은 편차가 존재할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 실험결과와 기존 연구자료의 Curve fitting을 근거로 인간 안정성 평가 기준을 제시한다.

2.5 일반적 물의 흐름에 대한 이론식과의 비교

피험자별로 구분하여 일반적인 물의 흐름에 대한 안정성 평가 이론식(Eq. 1~3)과 비교하였다. Fig. 10~12은 피험자들의 안정성에 대한 반응(무반응, 발끝 들림, 발끝 많이 들림, 미끄러짐, 쓰러짐)을 유속(V)과 수심(D)으로 나타낸 것이다. 음영표시는 불안정에 대한 기준을 발끝 들림으로 보았을 때

Fig. 10. Human stability on overtopping wave (Subject 1)

Fig. 11. Human stability (Subject 2)

Fig. 12. Human stability (Subject 3)

안정과 불안정에 대한 한계선을 나타낸다. 일부 이론 곡선과 유사한 유속 및 수심에서 전도가 발생된 경우가 있지만 대부분 데이터는 이론식에 의한 전도한계 영역보다 동일수심에서 느린 유속 내에서 전도가 발생되며, 동일유속에서도 더 낮은 수심 내에서 전도되는 것으로 나타났다. 이는 일반적인 물의 흐름과는 분명히 다른 월파-월류 특성(월파수의 낙하, 충격과력 등의 영향)에 의한 것으로 판단된다.

3. 결과 분석 및 고찰

실험결과로부터 방파제상 월파-월류시에는 일반적인 물의 흐름과는 다른 월파수의 특성에 의해 이론식에 의한 전도한계 영역보다 더 낮은 수심/유속 내에서 전도가 발생하는 것을 분명히 알 수 있다.

앞서 언급했듯이 착용복장에 따른 항력계수, 바닥표면에 따른 마찰계수 등 이론적 안정성 평가 모델식에 사용되는 변수들의 불확실성에 의해 평가기준에 많은 편차가 존재할 수 있기 때문에 본 실험데이터와 국외 연구 자료의 Curve fitting을 근거로 평가기준을 제시하고자 하였다. 안정성 평가 기준은 안정과 불안정의 경계를 무반응에서 발끝 들림으로 될 때 (Instability 1)와 미끄러짐(Friction) 또는 쓰러짐(Moment)에 의해 전도될 때(Instability 2) 2가지의 기준으로 나누었다.

Ramsbottom 등 (2004, 2006)이 물의 흐름 내에서 인간의 위험에 대한 영역을 구분하기 위해 제시한 D (수심)와 V (유속)에 대한 식 형태(Fig. 13)를 본 실험결과에 적용했을 경우, Fig. 14~16과 같이 Curve fitting하여 나타낼 수 있다.

Eq. (4)와 (5)는 각각 피험자1(HM=121 mkg)의 경우에 대하여 Instability 1(발끝 들림) 기준과 Instability 2(전도) 기준에 대한 식이다.

$$D(V + 0.5) = 0.46 \quad (4)$$

$$D(V + 0.5) = 0.60 \quad (5)$$

Eq. (6)과 (7)은 각각 피험자2(HM=135 mkg)의 경우에 대하여 Instability 1(발끝 들림) 기준과 Instability 2(전도) 기준에 대한 식이다.

Fig. 13. Hazard zone for human instability (Ramsbottom, 2006)

4. 결 론

본 논문은 연안지역에서의 안전성을 확보하기 위한 연안역 안전기준 확립에 기초적 자료를 제공하기 위해, 방파제에서 월파에 의한 인간 안정성 평가에 관한 실험적 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 방파제에서의 인간 안정성 실험결과, 일부 이론 곡선과 유사한 유속 및 수심에서 전도가 발생된 경우가 있지만 대부분 데이터는 이론식에 의한 전도한계 영역보다 동일 수심에서 느린 유속 대에서 전도가 발생되며, 동일유속에서도 더 낮은 수심 대에서 전도되는 것으로 나타났다. 이는 일반적인 물의 흐름과는 분명히 다른 월파-월류 특성(월파수의 낙하, 충격파력 등의 영향)에 의한 것으로 판단된다.
- 2) Ramsbottom 등이 제안한 $D(V+0.5) = \alpha$ 를 이용하여, 직립 방파제 상에서의 인간 안정성 평가 기준 Instability1과 Instability2 2가지(발끝 들림, 전도)에 대한 안정성 평가기준을 제안하였다. 피험자 체형별(H·M) 수정계수는 아래 표와 같다.

Height(H)×Weight(M)	Modified coefficient	
	Instability1	Instability2
121mkg	$\alpha=0.46$	$\alpha=0.60$
135mkg	$\alpha=0.39$	$\alpha=0.51$
159mkg	$\alpha=0.44$	$\alpha=0.56$

- 3) 차후 추가 실험 및 심층적 분석이 이루어진다면 방파제 등지에서 발생하는 이상 파랑에 의한 대피 기준 및 예 방책, 안전시설 설계기준 등에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업(09지역기술혁신 B-01)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Lee, S.W. (2008) *Trend of Maritime and Fisheries*. Korea Maritime Institute, Vol. 1266, p. 2.
- Chang, I.S. (2009) A Study on the Measures for Safety Management at the Coastal Sea Area in Korea. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 15, No. 4, pp. 393-399.
- Lee, J.G. (2010) Increase of repetition rate of abnormality waves in the eastern coast of Korea. Yonhap News Agency, Available From: <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=001&aid=0003239021>.
- Choi, H.S. (2012) *Experimental Study on the Evaluation of the Human Stability due to Overtopping Waves in the Breakwater*. Ph.D. dissertation, Chungnam National University, Daejeon, Korea.
- Lim, N.H., Bae, H.U., Sung, I.H. and Yi, G.S. (2012) An Analysis of Fall Accidents into the Sea by the Fault Tree Analysis Method. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 12,

Fig. 14. New developed stability equations using the Ramsbottom's approach (Subject 1)

Fig. 15. New developed stability equations using the Ramsbottom's approach (Subject 2)

Fig. 16. New developed stability equations using the Ramsbottom's approach (Subject 3)

$$D(V + 0.5) = 0.39 \quad (6)$$

$$D(V + 0.5) = 0.51 \quad (7)$$

Eq. (8)과 (9)은 각각 피험자3(HM=159 mkg)의 경우에 대하여 Instability 1(발끝 들림) 기준과 Instability 2(전도) 기준에 대한 식이다.

$$D(V + 0.5) = 0.44 \quad (8)$$

$$D(V + 0.5) = 0.56 \quad (9)$$

- No. 2, pp. 17-23.
- Takahashi, S., Endoh, K. and Muro, Z-I (1992) *Experimental Study on People's Safety against Overtopping Waves on Breakwaters*. Report on the Port and Harbour Institute, Vol. 34, No. 4, pp. 4-31.
- Foster, D.N. and Cox, R.J. (1973) *Stability of Children on Roads Used as Floodways*. Technical Report No. 73/13, Water Research Laboratory, The University of New South Wales, Manly Vale, NSW, Australia.
- Abt, S.R., Wittler, R.J., Taylor, A and Love, D.J. (1989) Human Stability in a High Flood Hazard Zone. *Water Resources Bulletin*, American Water Resources Association, Vol. 25, No. 4, pp. 881-890.
- Karvonen, R.A., Hepojoki, H.K., Huhta, H.K. and Louhio, A. (2000) *The Use Of Physical Models In Dam-Break Flood Analysis, Development of Rescue Actions Based on Dam-Break Flood Analysis (RESCDAM)*. Final report of Helsinki University of Technology, Finnish Environment Institute.
- Yee, M. (2003) *Human Stability in Floodways*. Undergraduate Honours Thesis, School of Civil and Environmental Engineering, University of New South Wales, Sydney, Australia.
- Jonkman, S.N. and Penning-Rowsell, E. (2008) Human Instability in Flood Flows. *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 44, No. 4, pp. 1-11.
- R.J. Cox, T.D. Shand and M.J. Blacka (2010) *Appropriate Safety Criteria for People*. Stage 1 Report, Australian Rainfall and Runoff, Revision Project 10, P10/S1/006, April.
- Lind, N., Hartford, D. and Assaf, H. (2004) Hydrodynamic models of human stability in a flood. *Journal of the American Water Resources Association*, February.
- Ramsbottom, D. Floyd, P. and Penning-Towsell, E. (2004) *Flood Risks to People*. Phase 2:Draft Inception Report, 2004.
- Ramsbottom, D. Floyd, P. and Penning-Towsell, E. (2006) *Flood Risks to People*. Phase 2:Project Record, FD 2321/PR, Department for Environment Food and Rural Affairs, United Kingdom, p. 166.
- Park, S.B., Park, S.G., Lee, J.H., Lee, G.D. and Kim, D.W. (2009) Analysis of the Foot Pressure Distribution of Flexible Walking Shoes. *Proceedings of the Spring Conference on the Ergonomics Society of Korea*, pp. 272-280.

© 논문접수일 : 2012년 12월 17일
 © 심사의뢰일 : 2012년 12월 17일
 © 심사완료일 : 2012년 12월 26일