저수지 월류 시 여수토 접속부 세굴에 따른 붕괴 현상의 실험적 연구

An Experimental Study of Reservoir Failure Phenomena According to Transitional Zone: Spillway Scour During Overflow

김영익* · 연규석** · 김기성** · 정종우** · 김용성**†

Kim, Young Ik · Yeon, Kyu Seok · Kim, Ki Sung · Jeong, Jong Woo · Kim, Yong Seong

ABSTRACT

This study is a preliminary investigation into the development of a construction method that will protect a reservoir even during over flows caused by severe flooding. Through hydraulic modeling tests, the destructive phenomena caused by spillway-junction scour during reservoir overflow were modeled, and the effects on the embankment during such an overflow and the spillway-junction movements are discussed. The reservoir destruction model used the Tanbu reservoir, located in Gangwondo Chuncheon-si Namsanmyeon (H=22 m, L=115 m), as the model reservoir and created an embankment with a 1/60 ratio. We review the spillway-junction safety factor during overflow and embankment movement following reinforcement measures for three different cases: no reinforcement, cemented sand and gravel (CSG) reinforcement and water-blocking sheet reinforcement. The results of this study confirmed that when the spillway-junction is exposed to soil, it is very vulnerable to overflow and that a water-blocking sheet or CSG reinforcement are very effective measures in preventing embankment destruction in the long-term period.

Keywords: Reservoir; overflow; embankment behavior; spillway

1. 서 론

최근 지구온난화 등 기상이변 및 급격한 사회구조 변화로 인해 재해취약지역의 확산과 함께 대규모 피해가 급증하고 있고, 국토 난개발 및 1회성 단순 복구 등으로 유사피해가 반복적으로 발생되고 있다.

특히 2006년도에는 태풍 「에위니아」와 장마전선이 연속적으로 맞물림으로서 많은 피해를 기록하였는데 집중호우만으로는 건국 이래 가장 큰 피해에 해당하는 1조 5천억원 (태풍 에위니아 포함 1조 9,152억원)의 재산피해가 발생한 바 있다.

소방방재청 2009년 저수지 전수조사에 따르면, 자치단체 소관 저수지 총 14,323개소 중 87.1 %에 해당하는 저수지가 70년대 이전 개발 성장기에 건설되어 노후가 심하거나 내구성이 취약하며, 축조된 지 60년 이상 경과된 노후 저수지가 전체의

58.3 %를 차지하고, 시간이 경과할수록 노후화로 인한 붕괴위험, 퇴적토사 축적에 따른 유효저수량 감소 등 안전 및 기능상 문제점을 안고 있다.

소규모 저수지의 제당구조는 전체 14,323개소 중 14,087개소 (98.3 %)가 흙댐 구조로 되어 있고, 241개소 (1.7 %)가 콘크리트 구조로 되어 있어 홍수시 월류에 매우 취약한 형식이 대부분을 차지하나 자치단체에서의 월류 대책 수립은 거의 전무한 실정이다.

흙댐 방식으로 축조된 저수지 등의 붕괴 패턴은 지난 2002년 태풍 루사로 인해 장현저수지 및 동막저수지의 여수토 접속부 세굴로 저수지 붕괴 현상이 일어난 사례에서 볼 수 있듯이 여수토 접속부 세굴로 시작되어 여수토 전체의 유실로 진행되며 붕괴에 이르게 된다.

집중호우 시 월류로 인한 저수지의 붕괴 메커니즘은 국내·외에서 여러 연구자들에 의해 보고된 바 있으나 (Hanson and Temple, 2001; Chinnarasri et al., 2004; Lemperiere et al., 2006), 접속부 세굴로 인한 붕괴 현상과 관련한 연구는 미미한 실정이다.

저수지의 붕괴 메커니즘과 관련된 연구로서, 월류시 저수지 침식에 대한 거동 평가 (Poweldge and Dodge, 1985; Toledo, 1997; Hanson and Temple, 2001; Chinnarasri et al., 2004;

* 충남대학교 농업생명과학대학 지역환경토목학과

** 강원대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과

† Corresponding author Tel.: +82-33-250-6463

Fax: +82-33-251-6463

E-mail: yskim2@kangwon.ac.kr

2011년 1월 23일 투고

2011년 2월 28일 심사완료

2011년 3월 1일 게재확정

Lemperiere et al., 2006), 흙댐 월류시 원심모델링 (Dunn et al., 1984), 월류시 사력댐 파괴의 초기 상태에 대한 실험적 고찰 (Powledge and Dodge, 1985; Toledo et al., 2006) 등의 연구가 수행된 바 있다. 국내에서도 이러한 경향은 유사하며, 저수지 설계 및 저수량에 관한 연구 (Chung et al., 1998; Jang et al., 2005; Ahn et al., 2007), 하천 제방의 붕괴 연구 (Lee and Lee, 2001), 하천 제방 재해 예방을 위한 축조 재료 연구 (Jeong and Kim, 2006) 등 저수량 설계 및 하천 제방과 관련한 연구 등은 활발하게 진행되고 있지만 여수토 접속부 세굴 및 대책공법에 관한 연구는 찾기 힘든 실정이다.

그러므로 집중호우로 인해 불가피하게 여수토 접속부가 월류 되는 조건이 형성되는 경우 저수지의 붕괴를 막을 수 있는 여수토 접속부 보호기법 개발을 위한 여수토 접속부의 거동 특성에 대한 연구가 절실히 필요하다.

본 연구는 저수지 월류시 여수토 접속부의 거동 특성을 분석하고 대책공법으로서 차수매트 보강공법 및 시멘트 혼합토 (Cemented sand and gravel, CSG) 보강공법 등의 적용성을 검토하여 현장에서 비상상황 시 활용 가능한 대책방안을 수립 하는데 기초자료로서 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 제체 축조 재료

저수지 모형 제작 시 대상 저수지는 실험규모, 실험내용과 환경 조건 및 실험 재료 등을 고려하여 적절한 저수지를 선정하기 위해 춘천 인근의 10개 저수지를 대상으로 흙댐 구조로서 여수토 접속부 세굴로 인한 붕괴현상이 일어날 가능성이 있는

(a) Embankment

(b) Spillway

Photo 1 Embankment and spillway view at Tanbu reservoir

저수지를 조사 하였다. 강원도 춘천시 남산면에 위치하고 있는 탄부저수지는 자치단체 소관 저수지로써 현장조사 결과, 제체와 여수토 접속부가 월류 시 세굴로 인한 붕괴위험이 클 것으로 판단되어, 모델 댐으로 선정하였다. Photo 1은 탄부저수지의 상류사면 및 여수토 단면의 전경을 나타낸다.

원입도를 축소된 시험입도로 조정하는 방법에는 상사입도법, 전두입도법, 일정량치환법 등이 있으며, 이 중에서 가장 널리 적용되는 방법은 상사입도법이다. 이 방법은 시험기의 크기에 맞추어 최대입경을 결정한 후, 원재료의 입도곡선을 평행이동하여 시험입도의 균등계수가 원입도와 같도록 입도를 축소조정하는 방법이다. 그러나 이 방법을 적용할 때에는 세립분의 함유량이 원입도에 비해 증가할 수 있으며, 이는 지반의 강도, 변형 및 투수특성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 상사입도로 시험입도를 구성할 때 세립분의 함유량이 재료의 물리적 특성에 큰 영향을 미치지 않도록 주의를 기울여야 한다. 이러한 단점을 해결하기 위해서 전두입도법이 이용되기도 하는데, 전두입도법이란 최대입경은 시험기의 규모에 맞추어 축소시키되 세립분의 함유량이 지나치게 많아지지 않도록 시험입도를 원입도에 비해 경사지게, 즉 균등계수가 작도록 입도를 구성하는 방법을 말한다. 또한 전두입도와 상사입도의 장점을 취한 일정량치환법이 이용되기도 하는데 이 방법은 시험시료의 최대입자 크기는 시험장치의 크기에 맞추어 축소시키되 일정 크기 이하의 세립분의 양은 원입도와 동일하게 구성하는 것이다. 세립분의 양의

Fig. 1 Grain size distribution curve

Table 1 Physical properties of the fill dam materials applied in model test

Fill dam type	Specific gravity (Gs)	Water content (%)	Unit weight		Liquid limits (%)	Plastic index	USCS	Hydraulic conductivity (cm/sec)
			(r_d)	(r_t)				
Core	2.663	21.2	1.577	1.912	33	14	SC	1.32×10^{-7}
Shell	2.632	17.1	1.730	2.026	N.P.	N.P.	SW	3.41×10^{-6}

변화를 최소화 시키는 방법인 전두입도와 유사한 방법으로 투수성이 중요한 변수로 작용하는 경우 추천되는 방법이다.

모델 댐 축조에 필요한 코어 재료와 사력재료는 현장 조사 및 시료 채취를 통해 탄부저수지와 동일한 재료를 일정양치환법으로 입도 조정하여 사용하였다. 투수계수는 변수위 투수시험을 통해 구하였으며, 축조재료의 물성치는 Fig. 1 및 Table 1과 같다.

2. 저수지 모형 설계 및 축조

가. 저수지 모형 설계

모델 댐은 탄부저수지 1/60축척을 적용하여 댐 제체와 여수토의 폭과 높이, 길이, 경사를 설계하였다.

저수지 모형의 외형은 축조 후 하중을 충분히 견딜 수 있고 월류 시 제체를 통과하는 유황을 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 강성 아크릴 판으로 제작하였으며 아크릴 판의 부재는 아크릴 접착에 사용되는 특수 접착제를 사용하여 수압 및 하중을 지지할 수 있도록 제작하였고, 물의 침투 및 누수를 방지하기 위하여 접착면을 모두 실링 처리 하였다. 또한, 여수토 접속부 모형실험 시 수위의 상승 및 월류, 제체의 거동을 모형과 동일한 높이에서 육안으로 쉽게 식별할 수 있도록 모형 지지대를 설치하였다.

나. 저수지 모형 축조

댐 모형의 중심 코어는 불투수성 존으로 점토를 사용하였고, 셀존은 사질토를 사용하였으며, 제체를 완공한 후 여수토는 시멘트페이스트 (W/C 60 %)로 시공 하였다.

한편, 사력재료는 중심 코어를 한 단계 축조 후 제체용 측벽 거푸집을 이용하여 양쪽에서 동시에 축조를 실시하였으며, 동일한 다짐 밀도를 나타낼 수 있도록 층별 소요 재료량을 산출하여 함수비를 일정한 수준으로 유지하여 10단계 분할 층다짐을 실시하여 축조하였다. Photo 2는 탄부저수지를 1/60의 축척으로 축소한 모형 제작과정을 나타낸다.

(a) Compaction process of model dam

(b) Model spillway after construction

Photo 2 Model dam and spillway after construction

3. 계측기 매설

본 연구에 사용된 계측기는 간극수압계 및 변위계로 구성되며, 각각의 계측 장비로부터 실시간으로 수압 및 제체의 거동 변위를 분석할 수 있도록 동적 데이터로거를 설치하였다.

간극수압계는 월류시 제체 상류에서의 수위의 변화를 측정하고, 변위계는 여수토 및 접속부 제체의 거동을 분석하기 위하여 제체 축조 완성 후 여수토, 접속부사면, 제정에 각각 1개씩 3개소에 설치하였다. Fig. 2는 간극수압계 및 변위계의 설치 위치를 나타낸다.

4. 월류 실험

월류시 여수토 접속부에 보강공법의 적용 여부에 따른 거동 및 붕괴 특성을 분석하기 위하여 보강공법을 적용하지 않은 Case 1, CSG로 보강한 Case 2, 차수매트를 설치한 Case 3 등으로 구분하여 동일한 시간 및 유량을 적용하여 수행하였다.

Case 2 및 Case 3의 보강 범위는 Fig. 2에서 변위계 (strain meter)를 설치한 지점 보다 약간 넓은 범위의 상하류 방향 단면으로 한다. 다만, 주요한 실험대상은 접속부이므로 변위계 (strain meter)를 설치한 지점이 주요한 관찰 대상 지역이 된다.

CSG 공법의 주요재료는 시멘트, 모래, 자갈 등과 물을 혼합한 재료이나 모형이 실물의 1/60이므로 여수토 모형과 동일한 재료인 시멘트 페이스트를 활용하였다.

차수매트는 부직포를 기재로 한 휠타매트에 폴리에틸렌 용융액을 일체화 시켜 불투수층으로 한 재료로서, KS K 0514, KS K 0520, KS F 2322를 만족하는 600 g/m² 이상의 중량과 10 % 이상의 신도 및 투수계수가 0인 제품을 사용하여야 하나, 모형실험이므로 시중에서 쉽게 구입 가능한 일반 비닐 재료를 사용하였다.

저수지 모형 완성 후 월류 시험 전에 유량을 공급, 만수위 상태를 유지하도록 하였으며, 제체에 침투가 이루어져 실제 저수지의 침투조건과 유사한 경향을 나타내도록 사전에 충분히 예비시간을 배정하였다. 홍수량 조절은 유량공급조절장치를 통

Fig. 2 Establishment point of pore water pressure cell and strain meter

해 홍수량 결정을 위한 실험을 실시하여 제정을 월류하지 않고 접속부의 일정 높이까지 수위를 유지하면서 월류하는 수량을 선정하였다. 실험 결과 적정 홍수량은 $2,000 \text{ cm}^3/\text{s}$ 로 결정되었으며 이 유량을 지속적으로 30분간 공급하였다. 유량 공급 개시 후 10초 만에 여수토 접속부에 도달하였고, 점차 수위가 증가하여 제정 부근에 까지 이르렀으나 유출량이 점차 많아져 수위는 일정하게 유지되었으며 30분간 여수토와 접속부의 붕괴 양상을 관찰하였다.

Fig. 3은 시간에 따른 수위곡선을 나타낸 그래프이다. Photo 3은 데이터로거 및 댐 모형에서 만수위 모습을 보여준다.

Fig. 3 Time vs. water level

(a) Dynamic data logger (b) Maximum storage level view

Photo 3 Dynamic data logger and maximum storage level view in model dam

III. 결과 및 고찰

월류시 여수토 접속부에 보강공법의 적용 여부에 따른 거동 및 붕괴 특성을 분석하기 위하여 Fig. 2에서 보는 바와 같이 변위계를 제정 (crest), 사면 (slope), 접속부 (transition zone) 등 3개를 설치하여 이 지점에서의 월류에 따른 변위 양상을 분석하였다.

1. 무보강 시

보강공법을 적용하지 않은 Case 1의 경우 월류시험 시작 후 19분이 경과한 시점에서 여수토-제체 접속부에서 세굴공이 형성되었으며 24분 이후부터 제정 방향으로 점차 진전되면서 확대되었다. 27분 이후부터 여수토 하부 지반도 접속부의 유실과 동시에 세굴이 진행되면서 여수토 모형의 일부가 파손되는 등 토사의 세굴, 유실 등이 복합적으로 발생되었다. 또한 28분 이후에는 접속부 및 여수토가 완전히 붕괴되는 현상을 나타냈다.

Fig. 4는 무보강 시 시간에 따른 변위 분포를 나타내며, 23분 후 접속부에서 침하가 시작되고 25분 후 변형의 진전이 점

Fig. 4 Displacement distribution of spillway-junction with time (Case 1)

(a) Before experiment
(down stream)

(b) After experiment
(up stream)

(c) Spillway scour

Photo 4 Transitional zone without reinforcement

차 완화되나, 변형이 점차 제정 쪽으로 확대되면서 제정의 침하가 급격히 증가되고 있음을 볼 수 있다. Photo 4는 Case 1에 대한 실험 전, 후의 제체의 모습을 나타낸다.

2. CSG공법 보강 시

CSG공법으로 보강한 Case 2의 경우 만수위까지 미세한 변위를 보이다가 그 이후에는 거의 변화가 없었으며, 월류가 지속됨에도 불구하고 제체 및 여수토의 세굴 및 유실 등은 발생하지 않았으나 약간의 침하가 발생하였다. 이는 저수위 상승으로 인한 접합부 지반의 포화 및 월류로 인한 영향으로 판단되나 1/60의 스케일을 고려한다면 실제 저수지에서는 미미한 정도의 침하로 평가된다.

Fig. 5는 Case 2의 시간에 따른 변위 분포를 나타내며, 실험 시작 후 수위 증가에 따라 침하가 점차 증가하다가 5분 후 제정 및 접속부, 여수토 등에서의 침하가 거의 완료되는 것으로 나타났다. Photo 5는 Case 2에 대한 실험 전, 후의 제체의 모습을 나타낸다.

Fig. 5 Displacement distribution of spillway-junction with time (Case 2)

(a) Before experiment (down stream) (b) After experiment (down stream)

Photo 5 Transitional zone reinforced by CSG

3. 차수매트 보강 시

차수매트로 보강한 Case 3의 경우도 만수위까지는 미세한 변형을 보인 후 만수위 이후에는 CSG보강과 마찬가지로 변위가 거의 일어나지 않았다. 제체 및 여수토의 세굴 및 유실 등이 전혀 발생하지 않았고 변형량도 미미한 수준에 불과하여 저수지 월류 시 제체보호에 효과가 있는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 Case 3의 시간에 따른 변위 분포를 나타내며, Case 2의 경우와 마찬가지로 실험 시작 후 수위 증가에 따라 침하가 점차 증가하다가 5분 후 침하가 거의 완료되는 것으로 나타났다. Photo 6은 Case 3에 대한 실험 전, 후의 제체의 모습을 나타낸다.

4. 유사 모형시험과의 비교 분석

월류시 여수토 접속부의 거동 분석을 위해 수행된 본 연구의 모형 실험과 유사 모형실험과 비교하였다.

Kim et al. (2010)은 저수지 월류시 홍수류에 의한 월류가 지속되면 저수지 하류사면의 선단부분에서 침식이 발생하게 되

Fig. 6 Displacement distribution of spillway-junction with time (Case 3)

(a) Before experiment (down stream) (b) After experiment (down stream)

Photo 6 Transitional Zone reinforced by water-blocking sheet

Table 2 Generalized maximum settlement of the dam model tests (s/H, %)

Reinforcement	1G test		Centrifuge test: 60G, Dam overflow (Im et al., 2005)
	Dam overflow (Kim et al., 2010)	spillway-junction overflow (this study)	
No reinforcement	19.2	7.14	7.5
CSG method	-	0.03	-
Water-blocking sheet	0.01	0.01	-

고, 세굴공이 형성되어 상류사면 쪽으로 점차 진전되면서 제정까지 확대되는 양상으로 붕괴되며, 저수지 월류시 차수매트를 설치하지 않았을 경우 월류 시작 후 수 심초 이내에 제체의 하류사면이 거의 붕괴되나 Table 2에서 보는 바와 같이 차수매트를 포설한 경우 침식이 거의 발생하지 않는 것으로 보고하였다.

Im et al. (2005)은 원심모형실험에서 월류로 인해 정상부 부근 하류사면에서 U자형의 흠이 파이고 댐 모형에서 약 12 cm정도의 사면파괴가 발생하였으며, 이러한 미끄러짐 파괴는 월류가 진행됨에 따라 경사진 표면에 흐르던 물이 사면 내부로 침투, 사면 침식을 유발시킨 것으로 보고하였다.

Table 2는 원심모형시험과 1G 모형시험에서 얻어진 최대침하량을 댐 높이로 나눈 정규화 최대 침하량을 나타낸 것이다.

본 연구에서는 여수토 접속부에 대한 무보강 시, CSG공법 보강 시, 차수매트 보강 시 등 세 가지 경우에 대해 모형실험을 실시한 결과 Table 2에서 보는 바와 같이 보강공법을 적용한 경우 거의 침식이 발생하지 않았다.

Table 2에서 보강공법을 적용하지 않은 경우 여수토에서 저수지 정상부까지의 높이 7.14 %에 해당하는 부분이 파괴되었는데 이는 제체 높이의 19.2 %에 해당하는 부분이 파괴된 Kim et al. (2010)의 연구 및 월류 시 제체 높이의 7.5 %에 해당하는 부분이 미끄러짐 파괴를 기록한 Im et al. (2005)의 연구와 대규모의 붕괴가 발생한다는 측면에서 유사한 경향을 나타낸다고 할 수 있다.

월류 모형 실험 결과, 월류 시 홍수류의 힘이 사력재료의 저항하는 힘보다 크게 될 때 침식이 발생되는데 저수지의 붕괴는 축조재료의 다짐도, 축조재료의 물성 등 사면의 표면 상태와 밀접한 관련이 있으며, 입자상의 축조재료를 홍수류와의 차단을 통해 침식을 방지하는 피복재의 역할이 매우 중요함을 알 수 있었다. 특히 장기적 대안으로 CSG공법 시공 및 비상상황 시 일회성 차원의 대안으로 차수매트 포설 등과 같은 방법은 홍수류에 의한 침식을 방지하는데 적절한 방법임을 확인하였다.

IV. 결론 및 향후 계획

본 연구는 집중호우로 인해 불가피하게 여수토 접속부가 월류하는 조건이 형성되는 경우 대책 공법을 이용, 제체를 보호하여 저수지가 붕괴되는 상황을 막도록 하는 여수토 접속부 보호기법을 개발하기 위한 기초적 연구로서 월류시 대책공법에 따른 여수토 접속부의 거동 특성에 대해 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 저수지 월류시 홍수류에 의한 월류가 지속되면 여수토-제체 접속부에서 세굴공이 형성되어 제정 쪽으로 점차 진전되면서 확대되며, 여수토 하부 지반의 세굴도 동시에 진행되면서 여수토가 붕괴되는 것으로 판단된다.

2. 저수지 월류 모형시험에서 무보강 시의 경우 시험시작 후 세굴이 진전되어 상당한 변위가 발생되며 파괴에 이르렀다.

3. CSG 보강 및 차수매트 보강 시에는 월류의 지속시간에 관계없이 변위가 미미한 수준으로 저수지 월류 시 제체보호공법으로의 활용이 가능한 것으로 판단된다.

4. 월류 시 홍수류의 힘이 사력재료의 저항하는 힘보다 크게 될 때 침식이 발생되는데 저수지의 붕괴는 축조재료의 다짐도, 축조재료의 물성 등 사면의 표면 상태와 밀접한 관련이 있으며, 입자상의 축조재료를 홍수류와의 차단을 통해 침식을 방지하는 피복재의 역할이 매우 중요한 것으로 판단된다.

본 연구는 원심모형실험을 이용하여 저수지 월류시 여수토 접속부의 거동 특성을 분석하기 전 단계에서 1G 조건하에서의 여수토 접속부의 거동 특성을 분석하고 이를 토대로 원심력장에 필요한 제반 물성 및 실험 수행 조건 등을 결정하도록 하기 위한 예비적 시험 연구로서, 향후 후속 연구를 통해 원심력장에서의 저수지 월류시 여수토 접속부의 거동 특성 등을 분석하여 저수지 월류 시 제체보호기법을 개발하고자 한다.

이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2010-0015476) 및 한국과학창의재단 학부생 연구프로그램의 지원(2010-2-038)과 강원대학교 농업생명과학연구원의 기자재 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Ahn, S. R., M. J. Park, G. A. Park, and S. J. Kim, 2007. The effect of meteorological factors on the temporal variation of agricultural reservoir storage.

- Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 49(4): 3-12 (in Korean).
2. Chinnarasri, C., T. Tingsanchali, and S. Wongwises, 2004. A laboratory study of peak discharge and erosion profile during embankment overtopping. *Dam Engineering* 14(4): 233-256.
3. Chung, H. W., T. S. Park, and J. Y. Choi, 1998. Development of the optimal reservoir storage determination model for supplying rural water. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 40(2): 69-80 (in Korean).
4. Dunn, R. J., E. Simantob, and H. Y. Ko, 1984. Centrifuge modeling of earth dam overtopping. *Proc. of 5th Engineering Mechanics Division Specialty Conference*, 1320-1323. Laramie, Wyoming: ASCE.
5. Hanson, G. J., and D. M. Temple, 2001. Evaluating mechanics of embankment erosion during overtopping. *Proc. of 7th Federal Interagency Sedimentation Conference*, 24-30. Reno, Nevada St.
6. Im, E. S., M. W. Seo, I. S. Ha, and W. G. Kim, 2005. Simulation of earth-fill dam behavior subjected to water level variation using geotechnical centrifuge. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 25(2C): 95-102 (in Korean).
7. Jang, J. S., J. H. Chung, and S. S. Bae, 2005. Application of PMF on reinforcement design of agricultural reservoirs against disaster. *Proc. of the 2005 KSAE Annual Conference*, 324-329, KSAE (in Korean).
8. Jeong, W. S., and Y. S. Kim, 2006. Characterization of cemented sand for building of levee. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 6(4): 29-36 (in Korean).
9. Kim, Y. I., I. S. Lee, D. H. Choi, E. S. Im, and Y. S. Kim, 2010. Characteristics of reservoir behavior according to establishment range of waterproof mat during overflow. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(2): 59-66 (in Korean).
10. Lee, J. T., and S. T. Lee, 2001. An experimental study on the collapse phase of a river levees(II). *Journal of Korea Water Resources Association* 34(2): 155-167 (in Korean).
11. Lemperiere, F., J. R. Courivaud, and J. J. Fry, 2006. A new analysis of embankment dam failures by overtopping. *Transactions of the International Congress on Large Dams*, 1053-1066. Barcelona: International Commission on Large Dams.
12. Powledge, G. R., and R. A. Dodge, 1985. Overtopping of small dams - an alternative for dam safety. *Proc. of the Special Conference, Hydraulics and Hydrology in the Small Computer Age*, 1071-1076.: ASCE.
13. Toledo, M. A., 1997. Embankment dams slip failure due to overtopping. *Transactions of the International Congress on Large Dams*, 317-330, Florence: International Commission on Large Dams.
14. Toledo, M. A., M. B. Pisfil, and A. Die Moran, 2006. Initiation phase of rockfill dams breaching by overtopping. *Transactions of the International Congress on Large Dams*, 507-518, Barcelona: International Commission on Large Dams.