육안점검표 및 스마트폰을 이용한 하천제방 배수통문 육안점검시스템 개발

Development of Visual Inspection System for Culvert in Levee Using Checklists and Smart Phone

김진만¹⁾
Kim, Jin Man

조진우^{2)*}
Cho, Jin Woo

최봉혁³⁾
Choi, Bong Hyuck

조원범⁴⁾
Cho, Won Beom

Abstract

Culverts are structures constructed across river levees. Since river levees are to be constructed continuously, constructions of culvert are known to reduce the stability of river levees. In order to establish an effective inspection system of culverts, a visual inspection system using checklists and smart phone was recommended in this paper. It was determined that the recommended visual inspection checklist is applicable in establishing the investment priority based on the culvert's repair plan establishment, repair and precision safety inspection.

Keywords : Levee, Box-culvert, Visual inspection, Checklist, Smart phone

1. 서론

배수통문은 하천제방을 횡단하는 암거형식의 하천시설로, 연속적으로 시공되어야 하는 제방의 특성에 반하여 불연속적인 단면을 제공함으로써 하천제방의 취약부를 형성하게 된다 (Kim, 2009; Cho et al., 2012). 또한, 지반침하가 큰 지반에 말뚝기초로 지지된 배수통문의 경우 주변 제체의 공동 및 부등침하에 의한 단차, 제방 폭의 감소 등을 초래하기 때문에 하천제방 안전성을 저하시키는 구조물로 알려져 있다 (KICT, 2010).

배수통문과 관련된 대표적인 피해사례는 2002년 태풍 루사로 인해 발생한 가현제, 백산제 등의 제방붕괴 피해사례가 있다 (Fig. 1). 이때 배수통문 관련 피해의 주요원인은 1) 말뚝기초에 의한 배수통문 하부 공동 및 유로 발생, 2) 보축에 따른 배수암거의 파괴, 3) 신축이음부에 의한 암거의 파괴 등으로 보고되고 있다 (KICT, 2004).

배수통문 관련 국내 연구사례는 제방붕괴 피해 발생 후 원인분석 및 복구를 위한 안전진단이나, 제방과 관련된 수치해

석 (Jeong and Koo, 2010) 및 제방의 안전도 향상을 위한 분석 (Kim et al., 2009)에서 부분적으로 언급되고 있으며 배수통문의 안전도 관리에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서, 최근 하천제방 붕괴에 따른 인명 및 재산피해에서 큰 비중을 차지하고 있는 배수통문의 안정성 향상을 위하여 효율적인 배수통문 유지관리기법의 개발이 시급하다.

특히, 배수통문의 육안점검은 정밀조사·정밀안전진단의 투자우선 순위 결정, 보수·보강계획의 수립을 위한 기초자료로 사용될 수 있는 중요한 점검이나 현재 구체적인 조사항목 및 방법이 제시되고 있지 못한 실정이다.

(a) Ga-hyun levee

(b) Beak-san levee

Fig. 1 Photos of collapsed levee due to culvert (KICT, 2004)

1) 정회원, 한국건설기술연구원 GEO-인프라연구실 선임연구위원
2) 정회원, 한국건설기술연구원 GEO-인프라연구실 전임연구위원, 교신저자
3) 정회원, 한국건설기술연구원 GEO-인프라연구실 수석연구위원
4) 정회원, 한국건설기술연구원 GEO-인프라연구실 박사후연구원

* Corresponding author : jinucho@kict.re.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2013년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2013년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Fig. 2 Typical damages of culvert surroundings (JICE, 2002)

국외의 경우, 일본은 우리나라와 마찬가지로 반복되는 배수통문 관련 문제점을 해결하고자 국가하천 13,000 여 개의 배수통문을 조사 분석 후, 그 중 10%에 해당하는 노후 배수통문을 대상으로 연통실험과 같은 정밀안전진단기술을 적용하여 치수안전도를 극대화하고 있다.

일본의 하천제방 구조검토 지침서 (JICE, 2002)에 따르면 배수통문에 발생할 수 있는 다양한 손상 사례를 제시하고 있으며, 육안점검을 위한 대표적인 변형으로 1) 콘크리트 열화, 2) 제체의 상대적 융기, 3) 호안의 부등침하, 4) 흙벽/날개벽 접합부 틈새, 5) 호안의 균열·틈새, 6) 호안의 단차 등을 제시하고 있다 (Fig. 2).

배수통문 등의 하천시설물은 그 수가 증대함에 따라 장래에 유지관리비용이 증가될 것으로 예상되고 있다. 따라서 하천시설의 점검 및 보수·보강 등 관련 시설의 유지관리비용을 최소화할 수 있는 유비쿼터스 시스템을 이용한 하천시설물 점검시스템 구축기술이 요구되는 실정이다. 최근 연구에 따르면 교량 등의 국가 SOC 시설물에 유비쿼터스 기법을 활용한 모니터링 시스템이 구축되어 사용되고 있지만 (Heo et al., 2007, 2011), 하천 배수통문의 경우 이러한 모니터링 시스템이 전무한 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 하천제방의 안정성을 저하시키는 주요시설인 배수통문의 합리적이고 효율적인 점검 위하여 육안점검기준 및 스마트폰을 이용한 점검시스템을 제시하고자 한다.

2. 기존의 배수통문 점검 기법

배수통문은 하천제방을 관통하여 내수배제를 목적으로 설치된 사각형 단면의 문짝을 가진 구조물로서, 전술한 바와 같이 하천제방의 안정성을 저하시키는 주요 하천시설 중 하

나이다.

국내의 경우 국가하천 배수통문은 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」 (이하 시특법)에 지정되어 관리되고 있는 주요 하천시설로서, 2010년 개정된 시특법 시행령에 의하면 특별시 및 광역시의 국가하천에 설치된 배수통문의 경우 1종 시설물로, 시의 국가하천 및 특별시·광역시·시의 지방하천에 설치된 경우 2종 시설물로 지정하여 관리하도록 되어 있다 (MLTM, 2010). 이때, 시특법은 배수통문의 점검을 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 (KISTEC, 2010)” (이하 세부지침)에 따라 시행하도록 하고 있으며, 정기점검, 정밀점검, 정밀안전진단으로 구분하여 점검을 실시하고 있다.

정기점검은 외관조사 수준으로 점검을 실시하며, 시설물의 기능적 상태를 판단하고 시설물이 현재의 사용요건을 계속 만족시키고 있는지 확인하기 위한 관찰로 이루어지며, 준공일로부터 반기에 1회 이상 실시하여야 한다.

정밀점검은 시설물의 현 상태를 정확히 판단하고 최초 또는 이전에 기록된 상태로부터의 변화를 확인하며, 구조물이 현재의 사용요건을 계속 만족시키고 있는지 확인하기 위하여 면밀한 외관조사와 간단한 측정·시험장비로 필요한 측정 및 시험을 실시하며 안전등급에 따라 1~3년에 1회 이상 실시한다.

정밀안전진단은 정밀한 외관조사와 시험·측정장비 및 기기를 사용하여 시설물의 물리적·기능적 결함을 발견하고 그에 대한 신속하고 적절한 조치를 하기 위하여 구조적 안정성 및 결함의 원인 등을 검토·분석·평가함과 더불어 보수·보강방법을 제시하는 행위로 이루어지며 안전등급에 따라 4~6년에 1회 이상 실시한다.

이러한 세부지침에 의한 배수통문 점검기법 중 정기점검은 외관조사 수준의 육안점검으로 정밀조사·정밀안전진단의 투자우선순위 결정 및 배수통문의 보수·보강계획 수립을 위한 기초자료로 사용될 수 있는 중요한 점검이나 현재 세부지침 상에서는 구체적인 조사 항목 및 방법이 누락되어 있어 조사자의 기술적 능력에 따라 조사결과에 차이가 발생할 수 있는 문제점을 가지고 있다. 또한, 정밀조사 및 정밀안전진단에서 수행되고 있는 조사항목은 콘크리트의 균열, 기초세굴, 철근노출, 탄산화, 염화물함유량, 누수, 백태 등의 결함을 면적율에 따라 평가하는 것으로서 육안점검 위주의 정기점검에 적용하기에는 무리가 있다. Table 1은 세부지침에서 제시하고 있는 수문구조물 콘크리트 균열의 상태 평가 기준을 나타낸 것으로 균열폭을 0.1mm 단위로 측정 하여야 하며, 면적율에 따른 평가 기준을 주어 1방향·2방향일 경우

Table 1 Evaluation criteria of concrete cracks (KISTEC, 2010)

Rating	Score	Maximum Crack Width	Area Ratio 6% less	Area Ratio 20% less	Area Ratio 20% more
a	5	0.1mm less	a	a	b
b	4	0.1mm ~ 0.2mm	a	b	c
c	3	0.2mm ~ 0.3mm	b	c	d
d	2	0.3mm ~ 0.5mm	c	d	e
e	1	0.5mm more	d	e	e
Crack Area Calculation Method		■ 1 way Crack $\frac{\text{crack area}}{\text{inspection unit area}} \times 100 =$ $\frac{\text{crack length (L)} \times 0.25}{A(m) \times B(m)} \times 100 = (\%)$			
		■ 2 way Crack $\frac{\text{crack area}}{\text{inspection unit area}} \times 100 =$ $\frac{\text{crack area (m}^2\text{)}}{A(m) \times B(m)} \times 100 = (\%)$			

서로 다른 균열 발생 면적을 계산해야 하는 등 많은 어려움을 나타내고 있다.

따라서, 육안점검 위주의 정기점검 시 사용 가능한 조사 항목 및 방법의 제시가 필요한 실정이다.

3. 배수통문 육안점검 기준 제안

3.1 배수통문 육안점검 항목

Table 2는 2010년 국내 한강, 낙동강, 금강, 섬진/영산강 등 수계별 국가하천 배수통문 1,180개소에 대한 육안점검 결과를 나타내고 있다. 각 수계별 손상유형은 암거의 경우 균열 74.8%, 접합부 틈새 17.4%, 내부파손 23.6%로 암거 균열에 의한 손상이 큰 것으로 평가되었다. 수문구조물의 경우 균열 52.3%, 접합부 틈새 20.9%로 수문구조물 균열에 의한 손상이 큰 것으로 평가되었다. 그 밖에 호안 변형 8.6%, 비

탈면 변형 12.3%, 수목식생, 동물서식구멍 등 특이사항 73.6%로 평가되었다.

따라서, 본 논문에서 제안하고자 하는 육안점검 항목은 현장조사 결과 분석을 통하여 배수통문 주변 대표적 손상유형인 1)암거 내부 최대 균열 폭, 2)암거 내부 접합부 틈새, 3)암거 내부 파손 깊이, 4)수문구조물 최대 균열 폭, 5)수문 구조물 접합부 틈새, 6)호안의 변형, 7)비탈면 변형, 8)특이사항을 점검하도록 제시되었다. Fig. 3은 현장조사 시 발견된 배수통문 주변 손상사진을 보여주고 있다.

3.2 육안점검 항목별 가중치 및 배점

육안점검에 의한 배수통문 평가는 각 평가항목 별 배점 및 가중치를 고려한 평가점수를 합산하여 평가점수를 결정하는 방법으로 수행된다. 이때, 평가항목의 배점 및 가중치는 일본 사례 및 세부지침 분석결과를 참고로 한 후, 2010년 국가하천 배수통문 1,180개소에 대한 육안점검 결과를 반영하여 제시하였다. 평가항목별 배점은 배수통문 본체인 암거 관련 항목을 전체의 50%로 부여하였으며, 암거의 손상유형별로 콘크리트 구조물의 구조적 안정성에 큰 영향을 미치는 주요 손상인 균열 25%, 접합부 틈새 15%, 내부파손 10%로 조정하였다. 암거 외의 수문구조물의 경우 전체의 20%로 부여하였으며, 수문구조물의 손상유형별로 균열 10%, 접합부 틈새 10%로 조정하였다. 그 밖에 호안 변형 5%, 비탈면 변형 15%, 특이사항 10%로 부여하였다. 가중치의 경우 손상이 없는 경우의 가중치를 1.0으로 하고 손상이 커질수록 작은 값을 갖고 있어, 평가점수가 낮을수록 손상이 큰 것으로 평가되도록 하였다.

3.2.1 암거 내부 최대 균열 폭

콘크리트 구조물에 있어서 균열은 구조물의 구조적 안정

Table 2 Field inspection results on typical damages of culvert surroundings (KICT, 2010)

River	Number of Investigation	Damage type							
		Culvert			Hydraulic structures		Revetment	Slope	Significant details
		Crack	Joint gap	Internal damage	Crack	Joint gap	Deformation	Deformation	
Hangang	182	132	30	58	105	43	20	23	123
Nakdonggang	510	372	87	112	263	83	32	48	385
Geumgang	266	200	55	57	118	66	35	31	186
Seomjin/Yeongsangang	222	179	33	52	131	55	15	43	174
Total	1,180	883	205	279	617	247	102	145	868
Occurrence rate (%)		74.8	17.4	23.6	52.3	20.9	8.6	12.3	73.6

Fig. 3 Photos of damages found in culvert surroundings (KICT, 2010)

성에 큰 영향을 미치는 주요 손상이다. 암거 내부 균열은 육안점검 평가항목 중 가장 중요도가 높은 항목으로 전체 평가점수 100점 중 25점이 배정된 항목이다.

세부지침의 경우 0.5mm 이상의 균열이 발생할 경우 구조적으로 문제가 큰 것으로 평가되어 안전측으로 0.5mm 이상 균열에 대해 균열폭 변화에 무관하게 동일한 것으로 평가하고 있다. 그러나, 현장조사 결과에 따르면, 국가하천 배수통문 암거 내부 균열은 균열 발생 후 변형 진전에 따라 0.5mm 이상이 다수인 것으로 평가되었다. Table 3은 현장조사 결과 발생한 균열의 크기를 나타내고 있다. 균열이 발생하지 않은 현장이 297개소로 25.2%, 0.5mm 미만의 균열 발생현장이 681개소로 57.7%, 0.5~2mm가 130개소로 11.0%, 2~5mm가 39개소로 3.3%, 5~10mm가 19개소로 1.6%, 10mm 이상 균열 발생현장이 14개소로 1.2%인 것으로 평가되었다.

따라서, 본 육안점검 기준에서는 균열크기를 최대치수 기

준으로 Table 4와 같이 세분화하여 제시하였다.

3.2.2 암거 내부 접합부 틈새

암거 내부 접합부 틈새는 시공이음, 신축이음 및 보축 등에 의해 발생하며, 균열과 마찬가지로 암거 본체의 구조적 안정성 저하를 포함하여 내수 및 외수에 의한 토사 유실 경로가 되어 배수통문과 제방의 안정성을 저하시키는 주요 손상이다. 암거 내부 접합부 틈새는 육안점검 평가항목 중 두 번째로 중요도가 높은 항목으로 전체 평가점수 100점 중 15점이 배정된 항목이다.

Table 5는 현장조사 결과 발생한 접합부 틈새의 크기를 나타내고 있다. 접합부 틈새가 발생하지 않은 현장이 975개소로 82.6%, 0.5mm 미만의 접합부 틈새 발생현장이 69개소로 5.8%, 0.5~2mm가 62개소로 5.3%, 2~5mm가 28개소로 2.4%, 5~10mm가 9개소로 0.8%, 10mm 이상 접합부 틈새 발생현

Table 3 Field inspection results on maximum crack width of culvert (KICT, 2010)

Maximum crack width	Number of occurrence	Occurrence rate (%)
Non	297	25.2
0mm ~ 0.5mm	681	57.7
0.5mm ~ 2mm	130	11.0
2mm ~ 5mm	39	3.3
5mm ~ 10mm	19	1.6
10mm ~	14	1.2
Total	1,180	100.0

Table 4 Evaluation criteria on maximum crack width of culvert

Value	Item	Criteria	Weighting	Score
25	Maximum crack width	Non	1.0	25
		0mm ~ 0.5mm	0.8	20
		0.5mm ~ 2mm	0.6	15
		2mm ~ 5mm	0.4	10
		5mm ~ 10mm	0.2	5
		10mm ~	0.0	0

Table 5 Field inspection results on joint gap of culvert (KICT, 2010)

Joint gap	Number of occurrence	Occurrence rate (%)
Non	975	82.6
0mm ~ 0.5mm	69	5.8
0.5mm ~ 2mm	62	5.3
2mm ~ 5mm	28	2.4
5mm ~ 10mm	9	0.8
10mm ~	37	3.1
Total	1,180	100.0

Table 6 Evaluation criteria on joints gab of culvert

Value	Item	Criteria	Weighting	Score
15	Joint gap	Non	1.0	15
		0mm ~ 0.5mm	0.8	12
		0.5mm ~ 2mm	0.6	9
		2mm ~ 5mm	0.4	6
		5mm ~ 10mm	0.2	3
		10mm ~	0.0	0

장이 37개소로 3.1%인 것으로 평가되었다.

따라서, 암거 내부 접합부 틈새에 대한 평가기준 및 가중치는 Table 6에서 보듯이 균열 폭 기준과 동일한 평가 기준을 적용하였다.

3.2.3 암거 내부 파손 깊이

암거 내부 파손은 유송잡물 등 외부충격에 의한 파손과 균열이나 철근 부식 등 내부적인 요인에 의한 손상이 시간 경과에 따라 파손으로 발전할 수 있으며, 파손에 의해 철근이 노출될 경우 암거의 구조적 안정성을 저하시키는 손상으로 전체 평가점수 100점 중 10점이 배정된 항목이다.

Table 7은 현장조사 결과 발생한 파손 크기를 나타내고 있다. 파손이 발생하지 않은 현장이 901개소로 76.4%, 5mm 미만의 파손 발생현장이 68개소로 5.7%, 5~10mm가 76개소로 6.4%, 10~20mm가 45개소로 3.8%, 20mm 이상이 35개소로 3.0%, 10mm 이상이 다수 있는 경우가 55개소로 4.7%인 것으로 평가되었다.

따라서, 암거 내부 파손에 대한 평가기준 및 가중치는 Table 8에서 보듯이 파손 깊이에 따라 가중치를 변화하여 적용하였다. 이때, 철근 노출 및 부식이 예상되는 파손깊이는 콘크리트 피복두께를 고려하여 약 10mm 정도이며, 파손깊이 10mm 이상이 다수 있는 경우에는 철근노출에 따른 전체 파손의 위험성이 크기 때문에 안정성이 가장 작게 평가되도

Table 7 Field inspection results on damage depth of culvert (KICT, 2010)

Internal damage	Number of occurrence	Occurrence rate (%)
Non	901	76.4
0mm ~ 5mm less	68	5.7
5mm ~ 10mm	76	6.4
10mm ~ 20mm	45	3.8
20mm ~	35	3.0
Large number of more than 10mm	55	4.7
Total	1,180	100.0

Table 8 Evaluation criteria on damage depth of culvert

Value	Item	Criteria	Weighting	Score
10	Internal damage	Non	1.0	10
		0mm ~ 5mm less	0.8	8
		5mm ~ 10mm	0.6	6
		10mm ~ 20mm	0.4	4
		20mm ~	0.2	2
		Large number of more than 10mm	0.0	0

록 가중치를 적용하였다.

3.2.4 수문 구조물 최대 균열 폭

수문 구조물은 배수통문 중 암거 본체를 제외한 관리교, 조작대, 문기둥, 보기둥, 날개벽 등을 포함하는 구조물로서 균열 발생 시 배수통문 전체 구조물의 안정성에 미치는 영향이 큰 것으로 평가되고 있으며, 전체 평가점수 100점 중 10점이 배정된 항목이다. 수문 구조물에 발생하는 균열은 주로 날개벽, 문기둥 및 보기둥에서 발생하는 것으로 알려져 있다.

특히, 날개벽은 암거 본체 완성 후 배수기능 확보를 위하여 암거 단부 양쪽에 횡단 방향으로 설치하여 체체의 붕괴를 방지하기 위해 설치하는 구조물로서 균열이 다수 발생하는 것으로 알려져 있다.

세부지침에 의하면 수문 구조물의 균열은 앞서 언급된 암거 내부 균열과 마찬가지로 0.5mm 이상의 균열이 발생할 경우 구조적으로 문제가 큰 것으로 평가되어 안전측으로 0.5mm 이상 균열에 대해 균열폭 변화에 무관하게 동일한 것으로 평가하고 있으나, 현장조사 결과 균열 발생 후 변형이 진전됨에 따라 0.5mm 이상의 균열이 다수인 것으로 평가되었다.

Table 9는 현장조사 결과 수문구조물에 발생한 균열의 크기를 나타내고 있다. 균열이 발생하지 않은 현장이 563개소

Table 9 Field inspection results on maximum crack width of hydraulic structures (KICT, 2010)

Maximum crack width	Number of occurrence	Occurrence rate (%)
Non	563	47.7
0mm ~ 0.5mm	404	34.2
0.5mm ~ 2mm	134	11.3
2mm ~ 5mm	35	3.0
5mm ~ 10mm	16	1.4
10mm ~	28	2.4
Total	1,180	100.0

Table 10 Evaluation criteria on maximum crack width of hydraulic structures

Value	Item	Criteria	Weighting	Score
10	Maximum crack width	Non	1.0	10
		0mm ~ 0.5mm	0.8	8
		0.5mm ~ 2mm	0.6	6
		2mm ~ 5mm	0.4	4
		5mm ~ 10mm	0.2	2
		10mm ~	0.0	0

로 47.7%, 0.5mm 미만의 균열 발생현장이 404개소로 34.2%, 0.5~2mm가 134개소로 11.3%, 2~5mm가 35개소로 3.0%, 5~10mm가 16개소로 1.4%, 10mm 이상 균열 발생현장이 28개소로 2.4%인 것으로 평가되었다.

따라서, 수문 구조물 최대 균열 폭에 대한 평가기준 및 가중치는 Table 10과 같이 세분화하여 제시하였다.

3.2.5 수문 구조물 접합부 틈새

수문 구조물 접합부 틈새는 주로 날개벽/통문 본체, 날개벽/문기둥 등 날개벽과 연결된 구조물과의 접합부에서 발생하는 변형으로 틈새 발생 시 수문 구조물의 안정성 저하 및 토사 유실 경로 등의 원인으로 작용하며, 변형이 진전될 경우 날개벽 및 체체 붕괴를 발생시켜 배수통문이 설치된 하천 제방의 안정성을 저하시키는 손상으로 전체 평가점수 100점 중 10점이 배정된 항목이다.

Table 11은 현장조사 결과 발생한 수문구조물 접합부 틈새의 크기를 나타내고 있다. 접합부 틈새가 발생하지 않은 현장이 933개소로 79.1%, 0.5mm 미만의 접합부 틈새 발생 현장이 112개소로 9.5%, 0.5~2mm가 78개소로 6.6%, 2~5mm가 17개소로 1.4%, 5~10mm가 9개소로 0.7%, 10mm 이상 접합부 틈새 발생현장이 31개소로 2.7%인 것으로 평가되었다.

따라서, 수문구조물 접합부 틈새에 대한 평가기준 및 가중치는 Table 12와 같이 세분화하여 제시하였다.

Table 11 Field inspection results on joint gap of hydraulic structures (KICT, 2010)

Joint gap	Number of occurrence	Occurrence rate (%)
Non	933	79.1
0mm ~ 0.5mm	112	9.5
0.5mm ~ 2mm	78	6.6
2mm ~ 5mm	17	1.4
5mm ~ 10mm	9	0.7
10mm ~	31	2.7
Total	1,180	100

Table 12 Evaluation criteria on joint gap of hydraulic structures

Value	Item	Criteria	Weighting	Score
10	Joint gap	Non	1.0	10
		0mm ~ 0.5mm	0.8	8
		0.5mm ~ 2mm	0.6	6
		2mm ~ 5mm	0.4	4
		5mm ~ 10mm	0.2	2
		10mm ~	0.0	0

Table 13 Evaluation criteria on revetment deformation

Value	Item	Criteria	Weighting	Score
5	Revetment deformation	Non	1.0	5
		Seen	0.0	0

3.2.6 호안 변형

호안은 제방 또는 하안을 유수에 의한 파괴와 침식으로부터 보호하기 위해 제방 비탈면에 설치하는 구조물로서 체체의 세굴, 침하 등 하천제방의 안정성 평가를 위한 항목으로 전체 평가점수 100점 중 5점이 배정된 항목이다.

호안의 변형은 앞서 언급된 균열, 접합부 틈새, 파손 등 배수통문에 발생하는 직접적인 손상과 달리 배수통문에 의한 주변 체체의 변형정도를 판단하는 간접적인 평가항목으로 정량적인 평가기준이 아닌 Table 13과 같이 손상의 발생 유무에 따른 평가기준과 가중치를 이용하여 점점을 수행하도록 제시하였다.

3.2.7 비탈면 변형

체체 비탈면의 불안정은 호안공이 설치되었을 경우 호안의 변형으로 평가할 수 있으나, 호안공이 설치되지 않은 경우 명확한 평가가 어렵다.

비탈면의 변형은 배수통문 주변 체체의 안정성 평가를 위한 조사항목으로 침하, 활동, 훼손 등에 의해 발생된다. 비탈면 변형이 발생되면 배수통문과 체체 연결부에 공동이 발생

Table 14 Evaluation criteria on slope deformation

Value	Item	Criteria	Weighting	Score
15	Slope deformation	Non	1.0	15
		Trails of failure	0.8	12
		Serious	0.6	9
		Very serious	0.4	6
		Slope failure prediction	0.2	3
		Slope failure	0.0	0

Table 15 Evaluation criteria on significant details

Value	Item	Criteria	weighting	score
10	Significant details	Non	1.0	10
		Seen	0.0	0

하여 배수통문이 설치된 하천제방의 안정성을 저하시킨다. 비탈면 변형은 제방의 중요결함으로 전체 평가점수 100점 중 15점이 배정된 항목이다.

본 육안점검 기준에서는 호안공이 설치되지 않은 비탈면의 손상 평가를 위하여 Table 14와 같은 비탈면 변형에 대한 정성적인 평가기준 및 가중치를 적용하였다. 이때, 비탈면 변형에 대한 평가기준은 세부지침의 제방편을 참조하여 제시하였다.

3.2.8 특이사항

특이사항은 배수통문 육안점검 평가 항목 외에 배수통문 및 제방의 안정성과 관련된 항목을 평가하기 위한 것으로 조사자 판단에 의해 작성한다. 이때, 일반적으로 특이사항에 포함될 수 있는 항목은 누수, 백태, 식생, 독마루 변형 등이 포함된다.

본 육안점검 기준에서는 Table 15 같은 특이사항에 대한 정성적인 평가기준 및 가중치를 적용하였다.

3.3 배수통문 육안점검표

Table 16은 본 논문을 통하여 제안된 육안점검표를 나타내고 있다. 제안된 육안점검표는 특별한 전문지식이 없는 점검자도 쉽게 점검을 수행할 수 있도록 손상에 대한 평가를 최대 손상을 기준으로 하여 작성되었으며, 기존의 배수통문 정기점검에 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 기존 정기점검의 정성적인 판단을 보완하면서, 배수통문의 일상 유지관리를 위한 간단한 보수 계획 수립과 정밀점검 및 정밀안전진단에 대한 투자우선순위 선정을 위한 정량적인 평가 결

과를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 배수통문 육안점검 기준의 적용성 평가

4.1 분석 데이터

본 논문에서 제안한 배수통문 육안점검 기준은 3년간 (2006년~2008년)에 걸쳐 수행된 국가하천 배수통문의 정밀점검 및 연통시험 결과와의 비교를 통하여 적용성을 평가하였다. 이때, 적용성 평가에 사용된 정밀점검 결과는 수문구조물과 제방을 모두 포함하는 2010년 개정된 세부지침의 정밀안전진단 수준의 상태평가기법이며, 연통시험의 경우 배수통문 하부 공동 탐사를 위하여 수행되는 특수시험법이다.

Table 17은 적용성 평가에 사용된 현장조사 결과를 보여주고 있다. 적용성 평가에 사용된 데이터는 세부지침에 의한 정밀점검 결과 주요부재의 기능향상을 위해 간단한 보강을 요하는 C등급 6개소와 긴급한 보수·보강을 요하는 D등급 55개소 등 총 61개소를 선정하여 육안점검, 정밀점검, 연통시험 결과의 상호관계를 분석하였다. 하부 공동이 예상되는 61개소에 대하여 연통시험을 수행한 결과 22개소에서 공동이 확인되었다.

4.2 적용성 평가

Fig. 4(a)는 연통시험 결과와 육안점검 평가결과의 상관관계를 보여주고 있다. 연통시험을 통하여 공동이 확인된 22개소 중 육안점검 평가점수 51점으로 확인된 1개소를 제외하고 21개소가 50점 미만인 것으로 평가되었다. 또한, 전체 22개소 중 1개소를 제외한 21개소가 제안된 육안점검 기준 중 압거 내부 최대균열폭이 2.0mm 이상으로 균열 평가점수가 10점 이하인 현장으로 평가되었다.

이와 같은 분석결과는 배수통문 하부공동에 의한 지지력 상실로 인하여 구조물 균열 및 집합부 틈새, 제체 용기, 호안의 틈새 및 단차 등 제체 및 구조물의 변형을 촉진하기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 4(b)는 정밀점검 결과와 육안점검 평가결과의 상관관계를 보여주고 있다. 제안된 육안점검표에 의하여 50점 이하로 평가된 50개 지점의 경우 6개소를 제외하고 세부지침에 의한 정밀점검 점수 2.5점 미만으로 상태평가 등급 D등급에 해당하는 것으로 평가되었다.

따라서, 제안된 육안점검표에 의한 점검결과는 연통시험결

Table 16 Visual inspection check list (KICT, 2010)

River / Stream				Culvert name				Evaluation			
Location						Installation year					
GPS						Structural type				H×B×L	
Revetment type											
Evaluate Contents	value	evaluate item		evaluate criteria		weighting		score			
	25	Maximum crack width of culvert		Non		1.0					
				0mm ~ 0.5mm		0.8					
				0.5mm ~ 2mm		0.6					
				2mm ~ 5mm		0.4					
				5mm ~ 10mm		0.2					
				10mm ~		0.0					
	15	Joint gap of culvert		Non		1.0					
				0mm ~ 0.5mm		0.8					
				0.5mm ~ 2mm		0.6					
				2mm ~ 5mm		0.4					
				5mm ~ 10mm		0.2					
				10mm ~		0.0					
	10	Damage depth of culvert		Non		1.0					
				0mm ~ 5mm less		0.8					
				5mm ~ 10mm		0.6					
				10mm ~ 20mm		0.4					
				20mm ~		0.2					
				Large number of more than 10mm		0.0					
	10	Maximum crack width of hydraulic structure		Non		1.0					
				0mm ~ 0.5mm		0.8					
				0.5mm ~ 2mm		0.6					
				2mm ~ 5mm		0.4					
				5mm ~ 10mm		0.2					
				10mm ~		0.0					
	10	Joint gap of hydraulic structure		Non		1.0					
				0mm ~ 0.5mm		0.8					
				0.5mm ~ 2mm		0.6					
				2mm ~ 5mm		0.4					
				5mm ~ 10mm		0.2					
				10mm ~		0.0					
	5	Revetment deformation		Non		1.0					
				Seen		0.0					
	15	Slope deformation		Non		1.0					
				Trails of failure		0.8					
				Serious		0.6					
				Very serious		0.4					
				Slope failure prediction		0.2					
				Slope failure		0.0					
	10	Significant details		Non		1.0					
				Seen		0.0					

과 및 세부지침에 의한 정밀점검 결과와 매우 높은 상관관계를 나타내고 있음을 확인할 수 있으며 제안된 육안점검 기준

은 연통시험 대상현장 선정 및 배수통문의 보수 계획 수립과 투자우선순위 선정 등 일상 유지관리에 적용할 수 있을 것으

Table 17 Field test results used in the evaluation of the applicability of recommended visual inspection check list (KICT, 2010)

year \ test	Visual inspection results		Precision inspection grade		Hydraulic response Test	
	> 50	≤ 50	C	D	cavity ×	cavity ○
2006	4	16	3	17	14	6
2007	1	19	3	17	13	7
2008	6	15	0	21	12	9
Total	11	50	6	55	39	22

(a) Comparison of visual inspection and hydraulic response test results

(b) Comparison of visual inspection and precision inspection results

Fig. 4 Evaluation of the applicability of recommended visual inspection check list

로 판단된다.

5. 스마트폰을 이용한 배수통문 현장점검시스템

5.1 정보인식기 활용 방안

기존 하천시설점검은 대부분의 경우 점검자가 현장점검대

Fig. 5 Diagram of information recognizer using smart phone (KICT, 2011)

장에 수기로 점검항목을 기재하며, 카메라를 이용하여 촬영을 한 뒤 사무실에서 정리하는 과정을 거치게 된다. 이 때, 하천시설물의 상세한 위치를 파악하지 못해 시간을 낭비하는 경우가 발생하며, 하천시설의 잘못된 정보를 입력하여 시설물의 관리가 비효율적으로 이루어질 수 있다.

이에 본 논문에서는 하천시설물의 현장 점검시에 최근 다양한 용도로 활용되는 스마트폰을 이용한 현장 점검 시스템을 제안하였다. 개발된 현장점검 시스템은 스마트폰을 이용하여 휴대 및 이동이 간편하며, 정보인식기 및 스마트폰에 내장된 GPS를 이용하여 배수통문의 정확한 위치 파악과 시설물의 정보를 확인할 수 있으며 점검 결과를 스마트폰에 직접 입력할 수 있다.

사용자는 스마트폰을 이용하여 조사대상 시설물에 부착되어 있는 정보인식기를 촬영함으로써 DB 내에 해당 정보를 조회하거나 점검정보를 입력하게 된다. 정보인식 기능을 활용한 현장조사 시스템은 입력오류 및 데이터 통신을 최소화하여 보다 빠르고 정확하게 유지관리 업무를 수행할 수 있다 (Fig. 5).

5.2 시스템 구성도

배수통문 현장점검시스템은 현장에서 입력된 데이터의 처리를 위한 동기화 및 통신 서버와 데이터의 관리를 위한 데이터 베이스 서버, 무선 통신망을 이용한 스마트폰 용 현장 점검 어플리케이션으로 구성되어 있으며 인터넷을 이용한 PC용 관리 프로그램을 이용하여 데이터 수정 및 입·출력이

Fig. 6 Diagram of Information system

가능하도록 설계되었다 (Fig. 6).

또한 본 시스템은 추후 WAMIS 및 RIMGIS 등과의 연계를 통하여 종합적이며 체계적인 하천시설물의 정보화 및 활용성 등을 개선시켜 효율을 극대화 시킬 수 있다.

5.3 스마트폰을 이용한 배수통문 현장조사 시스템

스마트폰을 이용한 배수통문 현장조사 시스템은 스마트폰용 어플리케이션으로 개발되었다. 스마트폰을 이용하여 배수통문 현장에서 조사자가 직접 육안조사 결과를 입력할 수 있으며 서버와의 연동을 통해 기존에 입력된 정보를 실시간으로 조회할 수 있는 시스템이다.

Fig. 7은 육안조사 결과 입출력 시스템의 화면 구성을 나타낸 것으로 (a)는 각 시스템의 초기 조사자 정보를 입력하는 로그인화면으로 조사자의 아이디 및 비밀번호를 입력한 뒤 접속하여 조사 정보를 입력하게 된다. (b)는 수계 및 하천과 배수통문을 선택하는 화면으로 필터를 통하여 수계 및 하천과 배수통문을 선택하는 화면으로 수계를 선택하면 해당 수계에 존재하는 배수통문이 리스트로 나타난다. (c)는 일반 현황으로 사용자가 선택한 배수통문에 대한 정보를 테이블 형태로 보여주고, 육안조사 입력을 위해 점검연도와 차수를 선택할 수 있다. (d)는 배수통문의 육안조사 결과 입력화면으로 각각의 육안조사 평가기준을 선택하면 배점이 자동으로 합산되어 표시된다.

스마트폰을 이용한 배수통문 현장조사 시스템은 향후 배수통문을 포함한 주요 하천시설인 제방, 보 등으로 확대할 계획이다.

(a) Log in screen

(b) Selecting of box-culvert

(c) Look up general Information (d) Input of visual inspection result

Fig. 7 Field inspection system using smart phone (KICT, 2011)

6. 결론 및 제언

본 논문에서는 효율적인 하천시설 유지관리체계 구축의 일환으로 배수통문의 합리적이고 효율적인 육안점검을 위한 점검기준 및 스마트폰을 이용한 육안조사 시스템을 제시하고 그 적용성을 평가하였으며, 연구 결과 및 제언사항을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 제안된 육안점검 기준은 국내 국가하천 배수통문 1,180 개소를 대상으로 수행된 현장조사 결과를 분석하여 배수통문의 대표적 손상유형인 1)암거 내부 최대 균열 폭, 2)암거 내부 접합부 틈새, 3)암거 내부 파손 깊이, 4)수문 구조물 최대 균열 폭, 5)수문 구조물 접합부 틈새, 6)호안 변형, 7)비탈면 변형, 8)특이사항을 점검하도록 제시되었다.

- (2) 제안된 육안점검기준의 적용성 평가 결과, 육안점검표에 의한 점검결과는 연통시험결과 및 세부지침에 의한 정밀점검 결과와 매우 높은 상관관계를 나타내고 있음을 확인할 수 있으며 제안된 육안점검 기준은 연통시험 대상현장 선정 및 배수통문의 보수 계획 수립과 투자우선순위 선정 등 일상 유지관리에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 휴대용 육안점검 시스템은 최신 ICT기반 기술을 이용하여 현장에서 인터넷 연결이 가능한 스마트 폰 또는 태블릿 PC를 이용하여 직접 DB 시스템에 연결할 수 있도록 개발되었으며, 향후, 시설물의 범위를 확장하여 주요 하천시설 (제방, 보 등)에 대한 점검시스템으로 확대할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업 (유비쿼터스 기법을 활용한 하천시설물 재해종합관리시스템 개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

1. Cho, J. W., Cho, W. B., Kim, J. M., Choi, B. H., "A Study on Dielectrical Constant under Ground Conditions", Journal of the Korean Geo-Environmental Society, vol. 13, No. 12, 2012, pp.17-25. (in Korean)
2. Heo, G. H., Lee, W. S., Lee, C. O., Jeon, J. R., Sohn, D. J., "Development of Smart Wireless Measurement System for Monitoring of Bridges", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, vol. 15, No. 2, 2011, pp.170-178. (in Korean)
3. Heo, G. H., Lee, W. S., Kim, M. G., "Structural Health Monitoring System Employing Smart Sensor Technology Part 1", Development and Performance Test of Smart Sensor, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, vol. 11, No. 2, 2007, pp.134-144. (in Korean)
4. Jeong, S. G., Koo, J. K., "Laboratory Tests and Numerical Simulations for Prediction of Stress-Strain Behavior Using Construction Materials for Embankment", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, vol. 14, No. 6, 2010, pp.215-219. (in Korean)
5. JICE : Japanese Institute of Construction Engineering, Guidelines for Structural Investigation of the River Levee, 2002, pp.126-132.
6. KICT : Korea Institute of Construction Technology, Development and Operation of Sluice Gate Management System-V, Ministry of Land, Transport and Marine Affairs, 2010, pp.3-6, pp.147-159, pp.251-272. (in Korean)
7. KICT : Korea Institute of Construction Technology, Development of Advanced Technologies for Levee, Ministry of Construction & Transportation, 2004, pp.57-67. (in Korean)
8. KICT : Korea Institute of Construction Technology, Development of Integrated System of Damage Management for River Facility Using Ubiquitous Technology (II), Strategic Research Project Annual-report, KICT 2011-115, Korea Institute of Construction Technology, 2011, pp.57-70. (in Korean)
9. Kim, H. S., Yoo, B. S., Song, G. S., Lee, K. S., "A Development of Levee Failure Forecasting System for Safety Management of Levee Facilities", Proc. 2009 KSCE, pp.2746-2749. (in Korean)
10. Kim, K. H., "Performance Advance and Maintenance Alternatives of River Facilities for Flood Damage Protection focused on Drainage Pumping and Gate Systems", Magazine of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, vol. 13, No. 4, 2009, pp.9-17. (in Korean)
11. KISTEC : Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, Safety Inspection & Precision Safety Diagnosis, Detailed Guidelines (Sluice Gate), Ministry of Land, Transport and Marine Affairs, 2010, pp.149-181. (in Korean)
12. MLTM : Ministry of Land, Transport and Marine Affairs, The Special Act on the Safety Management of the Facility, 2010. (in Korean)

Received : 09/26/2012
Revised : 01/31/2013
Accepted : 02/18/2013

요 지

배수통문은 하천제방을 횡단하여 설치된 하천시설로, 연속적으로 시공되어야 하는 제방의 특성에 반하여 불연속적인 단면을 제공함으로써 하천제방 안전성을 저하시키는 구조물로 알려져 있다. 본 논문에서는 배수통문의 효율적인 점검 체계 구축을 위하여 육안점검표 및 휴대용 단말기를 이용한 육안조사 시스템을 제시하고 향후 개선방향을 제시하였다. 제안된 육안점검표는 적용성 평가결과 간단한 육안점검에 의한 손상 파악을 통해 배수통문의 보수 계획 수립과 보수 및 정밀안전진단에 대한 투자우선순위 선정에 적용성이 높은 것으로 평가되었다.

핵심 용어 : 제방, 배수통문, 육안조사, 점검표, 스마트폰