

## 급경사 사면 도수로의 배수능력 개선을 위한 실험적 연구

김정수\* · 김주형\*\* · 윤세의\*\*\*

Kim, Jung Soo\* · Kim, Ju Hyung\*\* · Yoon, Sei Eui\*\*\*

### An Experimental Study for Drainage Capacity Improvement of Waterway with Steep Slope

#### ABSTRACT

In general, the waterway was installed for drain water from steep slope and waterway cover was set up to prevent overflow and water separation at berm of waterway. In this study, hydraulic experiment was conducted to analyze the flow characteristics and enact standard design criteria of the waterway. Hydraulic experimental apparatus which can change the slope of waterway and the length of berm were installed to analyze of flow characteristics at the waterway. The slopes of waterway were 40°, 50°, 60°, and 70° and the range of discharge were 1.0 ~ 5.6  $\ell$  /s. The flow in berm was distinguished two types such as hydraulic jump and splash flow. These kinds of flows depended on the rates of discharge in waterway. When inlet discharge was below 1.1 ~ 2.0  $\ell$  /s, the separation phenomenon of water was generated at upper and lower portion in berm by the splash flow. The scattering range of water particles and length of water separation was measured depending on the slope of waterway. The start point of scattering was about 20 cm(1.3B) from the place connected upper waterway with berm and the length of water separation was till 210 cm(3.5B) from the place connected lower waterway with berm. Therefore, the waterway cover needed to install from starting of berm to 1B and from the lower part of berm to 3.5B.

**Key words :** Waterway cover, Waterway, Berm, Water separation

#### 초 록

일반적으로 도수로는 급경사 사면에서 발생하는 유출량의 배수를 위하여 설치되는 구조물이며, 이러한 도수로에서의 월류 및 유수 이탈을 방지하기 위하여 소단부에 도수로 덮개를 설치하고 있다. 본 연구에서는 비탈면의 배수에 중요한 구조물이 도수로에서의 흐름특성 및 구체적인 설계 기준을 제시하기 위하여 수리실험 연구를 수행하였다. 도수로에서의 흐름특성을 분석하기 위하여 도수로의 경사와 소단 길이의 변화가 가능한 수리실험 수로를 제작하고, 유입 유량을 변화시켜가면서 수리실험을 실시하였다. 도수로의 경사는 40°, 50°, 60°, 70°로 변경하였으며, 실험유량의 범위는 1.0 ~ 5.6  $\ell$  /s로 선정하였다. 수리실험 결과 도수로 내로 유하되는 유량에 따라 소단 내 흐름은 도수 흐름과 튀므로 구분되었으며, 도수로 경사에 따라 1.1 ~ 2.0  $\ell$  /s 이하의 유량이 유하될 경우의 튀 흐름은 소단의 상부와 하부에서 각각 유수이탈을 발생시키는 원인으로 판단된다. 또한 도수로 내의 물입자 비산거리는 도수로 경사 변화를 고려하여 실측한 결과 소단 시작점으로부터 약 20 cm(1.3B)지점부터 시작되었으며, 하부 도수로의 경사변화에 따라 실측된 유수이탈 거리는 소단하부로부터 3.5B지점까지 나타났다. 따라서 소단시작지점으로부터 1B지점에서 소단하부로부터 3.5B 지점까지 도수로 덮개를 설치하여야 유수이탈 없이 유수를 유하시킬 수 있는 것으로 판단된다.

**검색어 :** 도수로 덮개, 도수로, 소단, 유수이탈

\* 교신저자 · 부천대학교 토목과 조교수(강의전담) (Corresponding Author · Bucheon University · hydroguy@naver.com)

\*\* 정회원 · 경기대학교 대학원 토목공학과 석사 (novajhjh@nate.com)

\*\*\* 정회원 · 경기대학교 공과대학 토목공학과 교수 (syyoon@kyonggi.ac.kr)

Received July 23, 2013/ revised October 6, 2013/ accepted October 22, 2013

## 1. 서론

최근 도시화와 이상기후에 따른 도시 내 집중호우의 영향으로 도심지 침수피해가 증가함에 따라 인구와 재산이 집중된 도심지 배수시설의 중요성이 매우 커지고 있다. 도심지에서 강우에 의한 표면 유출의 상당 부분은 도로를 통해 배제되고 있다. 따라서 도심지 도로배수시설 설계기준은 그 중요도가 특히 크다고 할 수 있다. 특히, 우리나라와 같이 국토 대부분을 산지가 차지하고 있는 경우 도로를 개설하거나 주택건설 부지 등을 확보하기 위해 산지를 절개하는 경우가 많다. 이러한 절개지에서는 사면의 안정을 기하는 것이 무엇보다 중요하므로 지표수유출에 의한 사면붕괴를 방지하기 위하여 비탈면 배수시설을 설치하고 있다. 그러나 최근 도로 침수피해의 많은 경우가 도로 절개지 배수시설의 미설치 및 설계기준의 모호함에 따른 부실사공의 원인으로 사면붕괴 및 도로 침수피해를 유발하는 경향을 보이고 있으며, 심한 경우 도심의 산사태 피해로 이어지고 있는 실정이다. 따라서 비탈을 따라 흐르는 우수를 배제하는 비탈면 배수시설의 역할이 매우 중요하다. 이와 같이 비탈면 배수시설의 중요성에도 불구하고 비탈면에 설치되는 배수 구조물에서의 수리특성 분석 및 설치기준에 관한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 급경사 비탈면에 설치되는 배수구조물의 우수 배제 능력을 증가시켜 비탈 사면의 안정 및 비탈면 붕괴를 예방할 수 있는 비탈면 배수구조물의 적정 설계 기준이 필요하다. 더욱이 절개지 급경사 비탈면의 주요 배수시설로 설치되는 도수로에서의 우수 이탈 및 월류 현상은 비탈면 붕괴의 주요 원인이므로 도수로에서의 우수 배제 능력 증대 및 우수 이탈의 차단에 관한 합리적인 설계 방법과 설치 기준을 제시하기 위하여 도수로 및 소단부에서의 흐름 특성의 분석은 필요하다.

홍콩의 Drainage Services Department(2000)에서는 사면의 배수에 관한 일반적인 설계 방법을 제시하고 급경사 사면에서 계단식 수로(steped channel)의 설치 및 설계 기준을 제시하였으며, Hui et al.(2006)은 홍콩 내 주요 비탈사면의 유실사고를 조사하여 비탈사면의 표면 배수 및 대책의 부족한 부분을 제시하고 기존 비탈면의 유실과 급경사 붕괴를 유발하는 배수로 내의 방해물에 대한 설계, 수로 측벽 침식을 유발하는 지반에 인접한 배수로의 불충분한 설계, splashing을 유발하는 소형 배수로의 설계 등의 개선되어야 할 조항에 대한 검토를 진행하였다. Halcrow Group(2007)에서는 수평배수공법의 적용에 따른 비탈면 개선 사례를 조사하여 수평배수공법의 설계 방법을 분석하고 수평배수공 설치를 위한 수평 방향 시추 기술들과 유지보수 기술들을 설명하고 관련 문헌을 제시하였다. 또한 Yu et al.(2008)은 도심지 급경사 사면에 설치되는 계단식 수로의 수리실험을 실시하여 계단식 수로에서의 흐름 해석을 실시하고 폭우시에도 계단식 수로의 배수가

가능한 개선안을 제시하였다. 국내에서는 Hwang(2004)이 지반 조건별로 건기시와 우기시에 국내 지방기준에서 제안하고 있는 토사비탈면의 표준경사의 안정성을 검토하여 비탈면의 표준경사가 건기시에는 전체 검토대상 조건에 대하여 약 50% 이상, 우기시에는 약 65% 이상이 기준 안전율에 미달하는 현 설계기준의 문제점을 지적하고 대책수립을 위한 방안으로 산마루 측구와 상부 배면지반 인접부에 대한 별도의 보호설계 및 유지관리 대책의 필요성을 제안하였다. Lee and Kim(2008)은 비탈면에서의 지표수가 측구 등의 배수로 내로 잘 유하하고 도수로에서의 우수이탈을 저감하기 위하여 자료수집과 분석 및 모형실험을 실시하였으며, 비탈면 경사 소단부에서의 우수이탈을 방지하기 위해서 소단부류 경사구간에서 우수방향 변환구조가 달린 덮개가 효과적임을 검토하였다. 이와 같이 비탈면 배수 시설물 내 흐름 특성에 관한 연구와 우수 이탈방지 설계기준에 관한 연구는 진행되고 있으나 도수로 내의 흐름 특성 및 우수 이탈을 방지할 수 있는 실증적이고 구체적인 연구는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 일반적으로 설치 및 시공되는 비탈면 배수시설 중 도수로에서의 배수효율 검토 및 개선을 위하여 Ministry of Construction & Transportation(2001)에 제시되어 있는 도수로의 구조 표준도 및 일반적인 설계방법을 조사하였다. 또한 현장 조사를 실시하여 현장에서 실제 시공되는 비탈면 배수시설의 구조를 파악하고 도수로의 형상 및 크기를 조사하여 현장적용에 합리적인 수리실험 장치 제작과 실험조건을 선정하였다. 선정된 실험조건에서 수리실험을 실시하여 도수로에서의 흐름 상태를 파악하고 도수로 소단에서의 흐름을 튀 흐름과 도수흐름으로 구분하여 분석하였다. 또한 소단부에서 유수가 이탈하는 현상은 주로 튀흐름에서 발생하였고 튀 흐름일 때의 상하부 도수로의 경사변화를 고려한 도수로와 소단부에서 우수이탈의 발생 지점을 측정하였으며, 이러한 우수이탈현상을 방지하기 위한 도수로 소단 덮개의 설치위치와 크기를 제시하였다. 제시된 도수로 덮개 기준은 도시 지역의 도로 배수 시설의 설계에서 비탈면의 붕괴 방지 및 유지관리에 직접 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 2. 문헌조사 및 현장조사

### 2.1 문헌조사

급경사 비탈면 배수의 중요 구조물인 도수로의 설계 및 시공에 관한 일반사항을 파악하고 실증적인 실험조건을 선정하기 위하여 국내 도수로 설계에 관한 문헌 조사를 실시하였다. Ministry of Construction & Transportation(2001)에서 도수로를 노면배수시설로 집수된 물을 수로 또는 도로 외부로 유출시키며, 현장타설 콘크리트로 깎기부 또는 쌓기부 비탈면에 설치하는 구조물로 정의

하고 있다. 도수로의 주변은 콘크리트로 보호하고 침식된 토사나 식생 등의 유입에 의한 통수기능 저하를 방지하도록 제안하고 있으며, 소단배수는 비탈면에 흐르는 빗물이나 용출수에 의한 비탈면의 침식을 방지하기 위해 설치하며 소단배수구는 소단길이가 3 m 이상 긴 소단에 설치하는 것이 바람직한 것으로 조사되었다. Ministry of Construction & Transportation(2003)과 Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs(2012)에서 도수로는 원칙적으로 현장타설 콘크리트로 설치하도록 명시되어 있으며, 경사가 1:1보다 급한 곳과 비탈면에서 1~2 m의 구간이나 경사면 화점 등의 도수로는 물이 튀어오를 우려가 있으므로 덮개의 설치를 요구하고 있다. 그러나 실제 노면수를 배수하기 위해 성토부에 설치되는 도수로에서는 비탈면의 파괴가 잘 발생하지 않는다. 그 이유는 도수로가 설치되는 위치가 설계빈도에 의해 발생하는 노면수를 충분히 소통시킬 수 있도록 적절한 간격이 유지되기 때문이다. 하지만 절토부에서는 집중호우에 의한 사면 붕괴로 도로가 차단되거나 하는 피해 사례가 자주 발생한다. 따라서 비탈면의 오목한 부분을 횡단하여 흠막기 하는 경우에는 집중호우에 의해 토석을 포함한 우수가 직접 도로에 흘러들어갈 우려가 있으므로 집수구역 내의 지형과 지질 및 지표상태 등을 잘 조사하여 유하수의 유세를 떨어뜨리고 유하수를 적당한 수로까지 이끌어야 하는 것으로 명시되어 있다.

또한 Jun(1995)과 Housing Corporation(2006) 및 Korea Land Corporation(2006) 등의 비탈면 배수시설에서 도수로는 시공성과 경제성 및 유지관리가 용이한 철근콘크리트 U형을 가장 많이 사용하고 있으나 유속이 빨라 배수구 내 약간의 장애물에 의해서도 튼 흐름이 발생하는 것으로 평가된다. 이로 인해 배수구와 비탈사면의 접합면을 세굴시켜 비탈어깨 붕괴의 원인이 되는 경우도 있는 것으로 판단하고 있다. 이와 같이 조사된 국내의 각 시설기준들은 도수로, 소단배수시설 및 도수로 덮개의 필요성과 기본적인 유지관리상 주의점 등에 대한 개략적인 내용을 명시하고 있을 뿐 구체적인

설계기준(설계유량, 도수로 덮개의 설치위치 및 크기)에 대해서는 기술되어 있지 않은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 급경사 사면의 배수능력을 증대하기 위하여 설치되는 배수구조물의 실제적인 문제점과 개선 방향을 도출하기 위하여 현장조사를 실시하였다.

## 2.2 현장조사

일반적으로 급경사 사면에 설치되는 도수로의 흐름특성을 분석하기 위하여 경기도 수원시 영통구 광교동 일대 10개 지점과 장안구 파장동 일대 10개 지점 및 안산시 단원구 원곡동 일대 5개 지점에 대하여 현장조사를 실시하였다. 현장조사 결과 도수로 내 장애물 또는 점합 불량으로 인하여 유수가 도수로를 이탈하는 경우가 Fig. 1(a)와 같이 발생하는 것으로 나타났다. 이탈된 유수는 도수로의 주변부를 세굴시켜 비탈면 붕괴의 원인이 될 수 있다. 이에 도로배수시설 설계 및 유지관리 지침에서는 도수로의 경사가 급격히 변화하는 경우에는 덮개(뚜껑)를 설치하도록 규정하고 있으나 상당수 도수로 구간에서 덮개의 설치가 필요함에도 불구하고 도수로 덮개가 설치되어 있지 않은 것으로 나타났다. 이는 우수이탈 방지를 위한 소단덮개의 구체적인 설치위치 및 규모가 제시되지 않아서 설계자나 시공자의 주관적인 판단 하에 설치되기 때문이라 판단된다.

측구는 지표수가 비탈면으로 유하되는 것을 방지하기 위해 산마루 또는 소단에 설치하는 배수구조물이며, 유하되는 표면수를 집수하여 도수로와 같은 수로로 유도하는 시설물이라고 할 수 있다. 측구는 20.0 m 이상의 땅각기 비탈면, 소단 3.0 m 이상에서 소단의 끝부분 50.0 cm 지점에 U형 측구(일반적으로 300 × 300)를 설치하여 우수 등에 의하여 비탈면이 침식되거나 활동하는 것을 방지한다. 종단경사에 따라 배수처리 하는 것을 원칙으로 하고 20.0 m 이상 땅각기 구간이 끝나는 곳에서는 산마루측구와 연결 또는 방류하여 비탈면이 유실되지 않도록 설치한다. 그러나 Fig. 1(b)와 같은 측구의 경우 역경사 및 퇴적된 유사에 의해 측구의 기능을



(a) Water Separation from Waterway



(b) Loss of Gutter Ability by Debris

Fig. 1. Field Investigation of Waterways

상실하여 유수가 월류하여 비탈면을 침식시키는 경우가 발생하는 것으로 조사되었다. 그리고 측구에서는 유수의 방향이 급격히 바뀌는 구간이 존재하지만 덮개가 설치되어 있지 않아 유수가 측구를 월류하는 모습을 확인하였다. 또한 도수로와 연결되는 산마루 측구의 경우 도수로와 연결되는 부분에 많은 양의 유사 또는 부유잡물들이 집적되어 흐름을 방해하는 것으로 나타났다.

현장조사 결과에서 알 수 있듯이 비탈면 배수시설의 배수능력을 저감시키거나 수로부에서의 유수이탈 및 월류로 인해 비탈면 붕괴를 유발시키는 요소는 다양하지만 비탈면 도수로의 영향이 가장 클 것으로 판단되어 급경사 비탈면의 도수로 경사 및 소단길이의 변화에 따른 배수흐름 특성 분석에 초점을 맞추어 수리실험 장치를 제작하고 실험조건을 선정하였다.

### 3. 수리실험 장치 및 조건

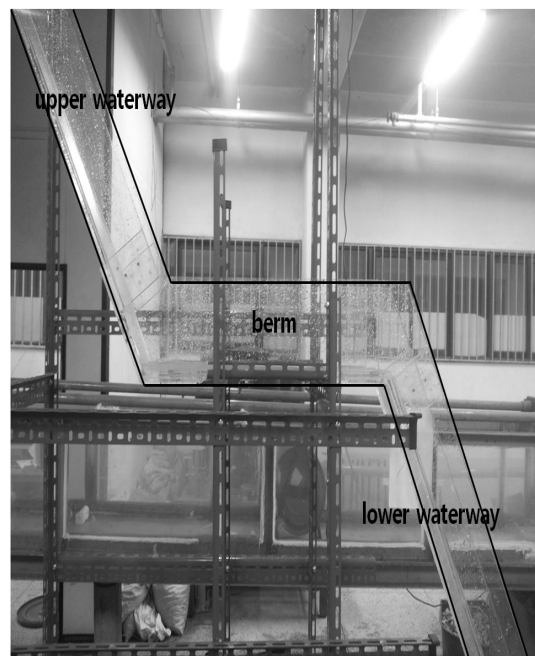
본 연구에서는 도수로 및 소단에서의 흐름특성 분석을 위하여 수리실험을 실시하였다. 실험에 사용된 도수로는 Ministry of Construction & Transportation(2001)에 제시된 도수로 표준단면 600 mm × 500 mm (B×H)을 선택하여 1/4로 축소하고 이크릴을 이용하여 폭 150 mm, 높이 125 mm의 도수로 수리모형을 제작하였다. 덮개가 설치되는 소단은 비탈면의 높이가 6 m증가할 때 마다 설치를 하도록 하고 있으므로 도수로의 최대길이는 일반적으로 6 m이다. 따라서 본 연구에서는 도수로 길이를 1.6 m로 2개 제작하

여 상부 도수로와 하부 도수로로 구분하여 설치하고 상부와 하부의 도수로 접합구간에는 소단을 설치하였다(Fig. 2).

Ministry of Construction & Transportation(2001)에서 소단은 폭 3 m 이상이 되도록 설치하는 것을 규정하고 있으나 현장조사 결과 대부분의 소단이 3 m 이하인 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 소단길이가 매우 다양한 범위에서 존재하는 것을 반영하여 수리실험 모형에서의 소단길이를 도수로 폭(B)에 2, 3, 4, 5배로 제작하였다. 모형의 소단 폭 5B는 실제 비탈면에서의 소단 폭 3 m를 의미한다. 또한 도수로 덮개 기준 제시를 위한 실험 조건은 유입 유량, 도수로 경사 및 소단의 길이 변화이다. 유입 유량은 설계 강우와 집수면적 등에 의해 결정되며, 일반적으로 도로 배수시설의 경우 강우의 설계빈도는 5~10년이다. 그러나 도수로의 유역 면적은 매우 다양하기 때문에 실험유량을 결정하는 것은 한계가 있다. 또한 유수가 도수로로 이탈하여 피해가 발생하게 되는 경우는 대부분 설계기준에서 제시된 설계빈도의 강우보다 큰 강우에서 발생하는 것이 일반적이다. 따라서 유입 유량은 저유량에서 고유량으로 실험유량을 증가시키면서 실험을 수행하였다. 도수로의 경사는 각 설계기준에서의 쌓기비탈면, 각기비탈면에 대한 표준경사를 조사한 결과 40°~70° 범위 내에 모두 존재하고 있음을 확인하였다. 따라서 본 수리실험에서 선택한 도수로의 경사는 40°, 50°, 60°, 70°의 4가지를 선정하였다. 소단 길이는 앞서 기술한 바와 같이 설계 기준에서 제시한 것과는 상이하게 다양한 소단길이가 조사되었으므로 도수로 폭에 대한 소단 길이의 변화를



(a) Front View



(b) Side View

Fig. 2. Hydraulic Apparatus of Waterways

Table 1. Experimental Conditions

| Type                           | Conditions                                 |
|--------------------------------|--|
| Inflow rate                    | 1.0 l/s ~ 5.6 l/s                          |
| Upper and lower waterway slope | 40°, 50°, 60°, 70°                         |
| Length of berm                 | 30 cm(2B), 45 cm(3B), 60 cm(4B), 75 cm(5B) |

고려하여 30 cm(2B), 45 cm(3B), 60 cm(4B), 75 cm(5B)로 변화시켰다(Table 1).

#### 4. 실험결과

##### 4.1 소단 내 흐름변화

일반적으로 도수로에 소단이 존재하는 경우 상부 도수로와 소단의 연결부분은 수로경사가 급격히 바뀌게 되어 소단에서 도수흐름이 발생할 것으로 생각되지만, 이와 같은 도수로 및 소단부분의 흐름 현상에 대한 연구가 이루어지지 않아 명확한 도수로와 소단부에서의 흐름 특성이 파악되지 않는 실정이다. 본 연구에서는 도수로 내 소단에서의 흐름 특성을 면밀하게 분석하기 위하여 본 연구의 실험조건 중에서 가장 급경사 조건인 상부 도수로의 경사 70°를 선정하여 수리실험을 실시하였다. 소단에서의 흐름은 Fig. 3(a)와 같이 도수로 내로 유입되는 유입유량이 적을 경우에는 소단 내 짧은 구간에서도 하단 도수로의 영향에 의하여 도수흐름이 발생하였다. 그러나 유입유량이 증가할수록 하단 도수로에서 유수이탈이 발생하였으며, 그에 따른 영향으로 소단 내에서는 순간적으로 유수가 튀어 오르는 튀 흐름이 발생하였다(Fig. 3(b)).

튀 흐름은 상부 도수로에서 빠르게 형성된 유속이 소단부에서 튀어 오르면서 더 이상 연속체로써의 특성을 보이지 않는 흐름이다.

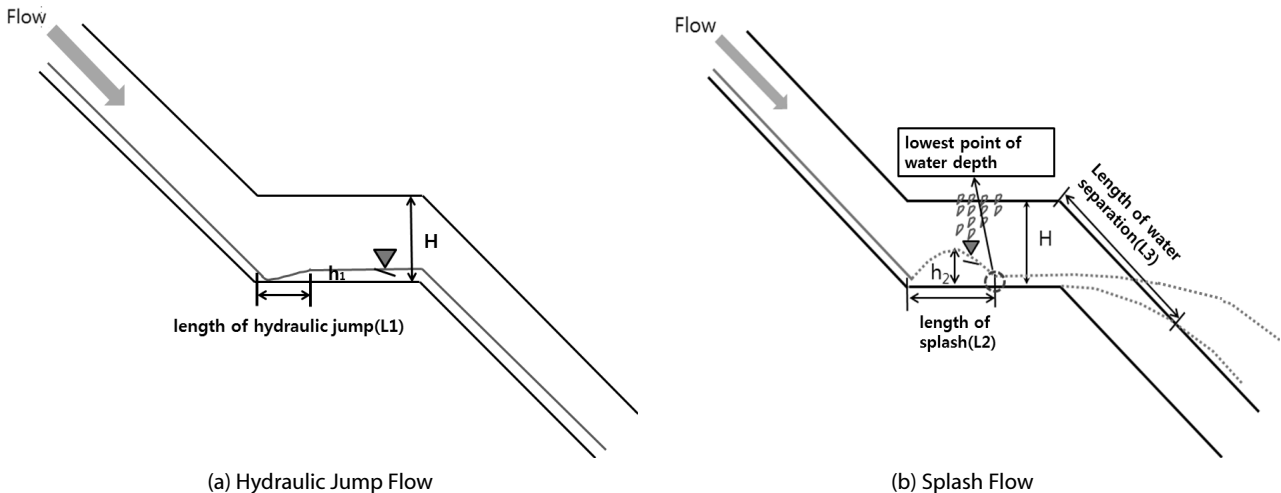


Fig. 3. Flow Draft at Berm of Waterway

따라서 소단과 하부 도수로의 연결지점에서 정수압이 발생되지 않으므로 기존의 도수흐름과 관련된 이론을 도수로에 직접적으로 적용하는 데에는 한계가 있다. 이에 튀 흐름과 관련된 이론들에 대하여 문헌조사를 실시하였지만 명확하게 정립된 이론을 발견할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 흐름의 이론적 해석을 통한 설계기준을 제시하기 보다는 도수로에서 발생하는 흐름의 형태적 현상(도수거리( $L_1$ ), 도수높이( $h_1$ ), 튀 거리( $L_2$ ), 튀 높이( $h_1$ ), 유수이탈거리( $L_3$ ))으로부터 도수로 덮개 기준을 제시하고자 하였다. 여기서 도수거리, 도수 높이, 튀 거리, 튀 높이 및 유수이탈거리는 각 형태가 나타는 지점의 아크릴 벽면에 줄자를 부착하여 각각의 거리 및 높이를 측정하였다.

##### 4.2 소단 내 도수만 발생했을 경우 흐름 특성

튀 현상 발생 전의 소단 내 흐름 변화를 분석하기 위하여 상부와 하부의 도수로 경사를 40°, 50°, 60°, 70°로 각각 동일하게 변화시켰으며, 소단길이는 도수로 폭에 대한 소단 길이의 변화를 고려하여 소단길이를 30 cm(2B), 45 cm(3B), 60 cm(4B), 75 cm(5B)로 변화시켰다. 또한 각 조건에서의 소단 내에서 튀 흐름이 발생하기 직전까지의 유입유량을 변경하면서 수리실험을 실시하였다. 여기서 튀 흐름 발생 직전유입 유량의 조건은 도수로 경사에 따라 각각 2.0 l/sec(40°), 1.8 l/sec(50°), 1.2 l/sec(60°), 1.1 l/sec(70°)이다. 이와 같은 유량 조건에서의 도수로 경사별 소단 길이와 소단 측벽 높이(H)에 따른 도수높이( $h_1$ )의 비( $h_1/H$ )를 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4에서 도수흐름이 발생하는 경우 도수로 경사와 유량이 증가하더라도 소단 측벽높이에 대한 도수 높이의 비는 5%이하인 것으로 나타났다. 이를 실제 도수로 조건으로 환산하면 실제 유입유량이 0.064 m<sup>3</sup>/sec일 때, 약 2.5 cm 상승하며, 실제 소단 측벽의 높이가 약 50 cm 이므로 소단 내 도수 흐름 상태에서는 유수이탈

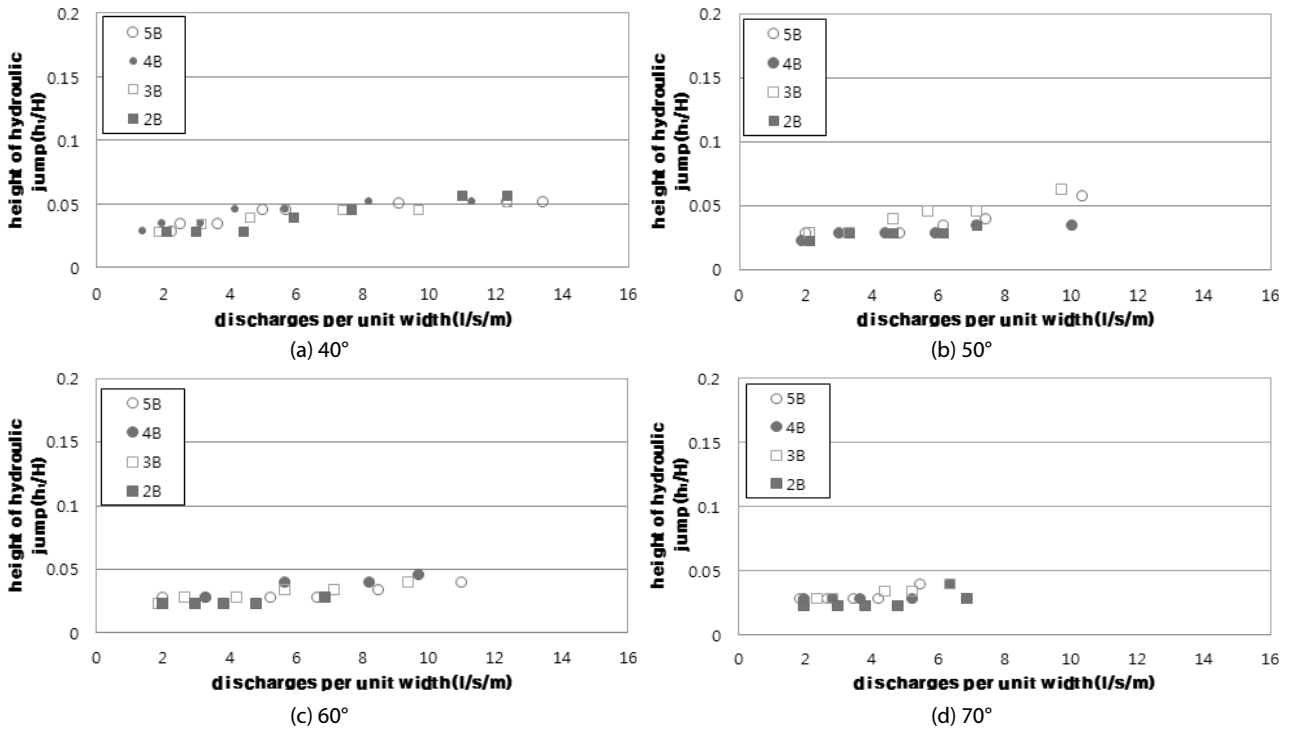


Fig. 4. The Ratio of Discharge and Height of Hydraulic Jump by Varying of Waterway Slope

없이 유수를 배제시킬 수 있는 것으로 나타났다. 또한 도수 흐름 상태에서는 소단 하부에서 유수이탈 현상은 발생하지 않았다. 따라서 도수흐름이 발생하는 조건에서는 현재 도로설계편람 설계기준의 도수로 크기로도 도수흐름의 발생유량을 원활히 배수시킬 수 있을 것으로 판단된다.

### 4.3 립 흐름 상태에서의 소단 내 흐름 변화

도수로에 유입되는 유량 증가에 따라 유속이 상승하게 되면 소단 내 흐름은 도수흐름에서 립 흐름으로 변화하게 된다. Table 2는 도수로 경사변화에 따른 립 흐름의 발생 유량과 이를 단위 폭 당 유량으로 환산한 결과이다. 도수로 경사가 40°인 경우 실험유량 2.0 l/s에서 립 흐름이 발생하기 시작하였고, 경사가 70°인 경우에는 1.1 l/s였다. Table 2에서 알 수 있듯이 도수로 경사가 증가할수록 립 흐름이 발생하기 시작하는 유량은 감소하였다.

Table 2. Splash Flow Rate and Waterway Slopes

| Slope(°) | Splash flow rate(ℓ/s) | Discharge per unit width(ℓ/s/m) |
|----------|-----------------------|---------------------------------|
| 40       | 2.0                   | 13.3                            |
| 50       | 1.8                   | 12.0                            |
| 60       | 1.2                   | 8.0                             |
| 70       | 1.1                   | 7.3                             |

립 흐름이 발생할 경우 소단 측벽 위쪽으로 바로 월류하거나 도수로의 소단부를 따라 흐르지 않고 하부 도수로로 바로 튀어나가는 현상의 두가지 경우에 대한 도수로 이탈 현상을 분석하고자 도수로 경사 및 유입 유량변화에 따른 립 거리와 립 높이를 측정하였다. Fig. 5는 유입유량 증가에 따른 단위 폭 당 유량과 립 거리의 상관관계를 도시하였다. 립 거리는 Fig. 5와 같이 유입 유량이 증가할수록 길어지는 것으로 나타났다. 특히 도수로 경사가 70°인 경우 소단 내 립 거리는 도수로 폭(B)에 대하여 최대 2.7배로 나타났고, 60°, 50°, 40°에서는 최대 약 2.2 배로 나타났다. 따라서 소단길이가 2B와 같이 짧은 경우 튀어 오른 유수가 소단 내로 낙하하지 않고 하부 도수로로 바로 이탈하는 현상이 발생할 것으로 판단된다. 또한 Fig. 5에서 소단 길이 변화는 립 거리 자체에는 큰 영향을 주지는 않는 것으로 나타났다.

Fig. 6은 소단 내에서 발생한 립 흐름의 최대 높이( $h_2$ )를 측정 후 이를 소단 측벽 높이(H)에 대한 비( $h_2/H$ )로 나타낸 것이다. 립 높이 비는 도수로 경사와 유량이 증가할수록 증가하였다. 립거리와 동일하게 립높이 역시 소단 길이 변화에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. Fig. 6에서 40°, 50°, 60°, 70°의 도수로 경사에서 립 높이 최대 비는 약 0.5이므로 립 흐름이 발생하더라도 도수로에서 소단으로 유입되는 유수의 흐름이 월류하지 않을 것으로 판단된다.

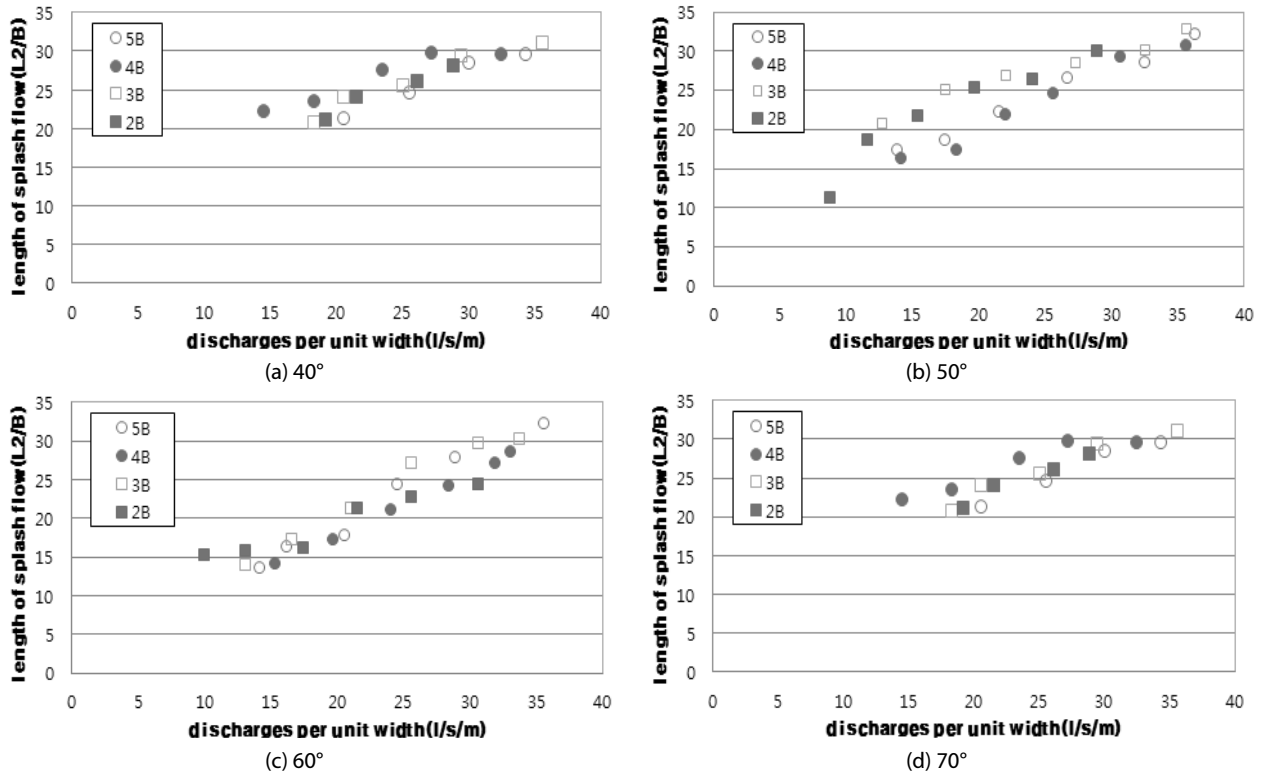


Fig. 5. The Length of Splash Flow by Varying of Waterway Slope and Discharge

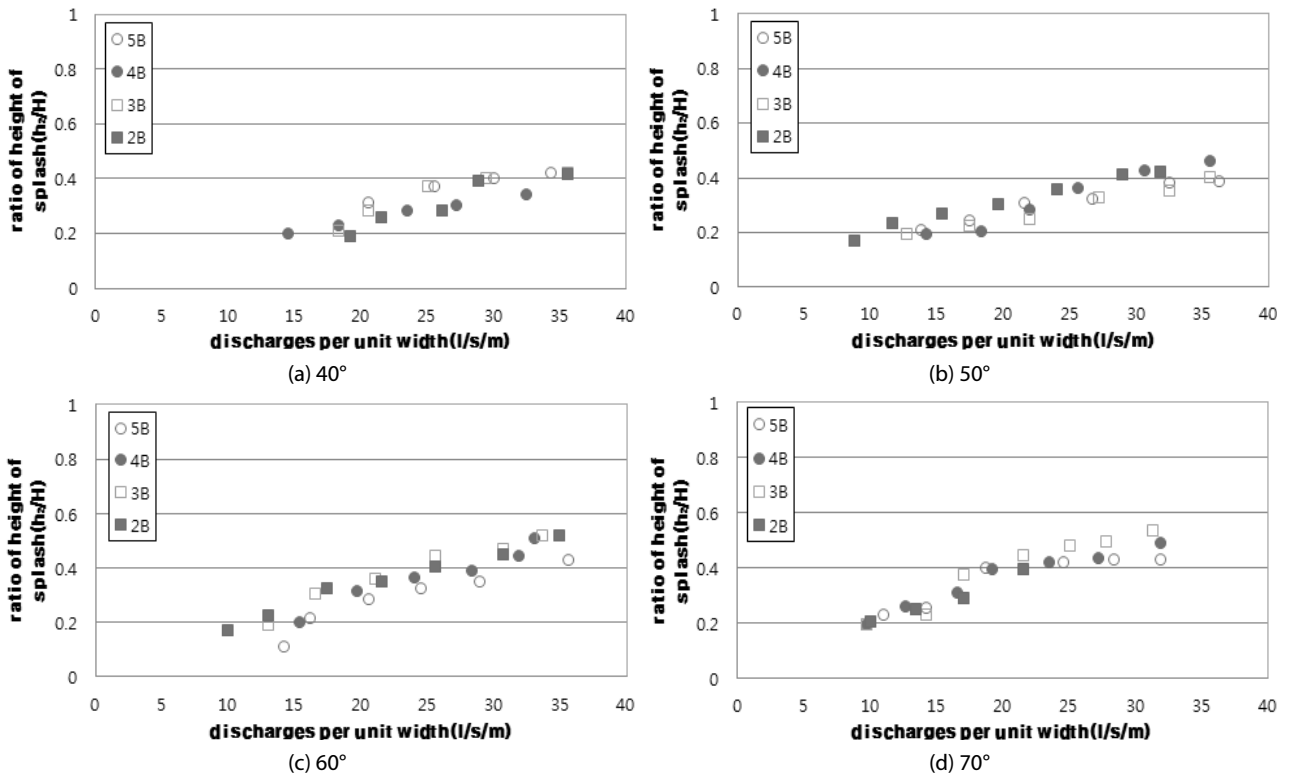


Fig. 6. The Height of Splash Flow by Varying of Waterway Slope and Discharge

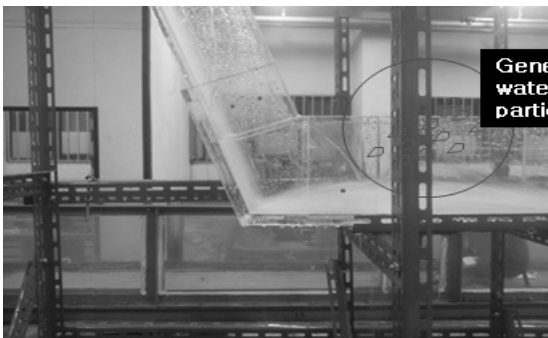
#### 4.4 도수로에서의 유수이탈

도수로 소단 내 튼 흐름이 발생하는 경우 도수로에서의 유수이탈 현상은 Fig. 7과 같이 소단 내에서의 유수 이탈과 소단에서 하부 도수로로 연결되는 연결부에서 발생하는 유수이탈의 두 가지 형태로 발생한다. 소단 상부 유수이탈은 상부 도수로에서 빠르게 유입되는 유수가 소단 내 접합 부분에서 튼 흐름을 형성함에 따라 물 입자가 소단 측벽 높이 위로 비산되어 소단 측벽 외부로 이탈되는 현상이고, 소단 하부 유수이탈은 상부 도수로와 소단으로 유입되는 유수의 양과 속도가 증가하면서 소단 하부와 하부 도수로의 접합 부분에서 빠른 유수의 속도에 의하여 하부 도수로 바닥면을 따라 흐르지 못하고 유수가 수로를 이탈하는 형태를 나타낸다. 이와 같은 이유로 도로배수시설 설계 및 유지관리 지침에서는 도수로 덮개의 설치를 권장하고 있으나, 그 기준이 명확하지 않은 관계로 미설치되거나 과대 혹은 과소 크기로 설치되고 있는 상황이다. 따라서 본 연구에서는 이 두 가지 유수이탈현상을 모두 방지할 수 있는 적절한 도수로 덮개 설치위치와 길이를 제시하고자 하였다.

소단에서의 유수이탈 방지를 위한 소단덮개의 위치 및 길이를 결정하기 위하여 Fig. 3(b)에 나타낸 바와 같이 소단 내 유수이탈 위치와 소단 하부의 하부도수로에서 유수이탈 거리를 측정하였다. 소단 상부 유수이탈은 상부 도수로와 소단이 접합되는 지점에서는

비산되는 물 입자에 의해 유수가 도수로로 이탈하게 된다. 이에 비산이 시작되는 위치를 확인하기 위하여 Fig. 8과 같이 도수로 소단에 종이 덮개를 설치하였다. 물 입자의 비산 위치는 유량에 따라 2~3 cm의 차이는 있었으나 도수로 경사가 70°, 60°, 50°인 경우에는 소단 시작지점으로부터 약 20 cm(1.3B)에서 시작되었고, 도수로 경사 40°의 경우에는 약 30 cm(2B)지점에서부터 물 입자가 비산되기 시작하는 것으로 나타났다.

또한 소단 하부에서의 유수 이탈은 소단과 하부 도수로가 만나는 지점에서 빠른 유속에 의해 유수가 도수로 바닥을 따라 흐르지 않고 바닥과 분리되어 이탈하는 현상이 발생하므로 이를 소단 하부에서의 유수 이탈로 정의하고 수리실험에서 실측한 소단과 하부도수로에서 유수 이탈 현상에 따른 소단 하부 유수 이탈지점의 거리를 측정하였다(Fig. 9). 측정 결과 유수 이탈거리는 도수로의 경사가 급하거나 유입 유량이 증가할수록 소단 내로 유하하는 유수의 유속이 빨라지므로 유수 이탈현상이 발생되고, 그 유수 이탈 지점 거리는 짧아지는 경향을 보였다. 그러나 유수 이탈을 발생시키는 동일한 유량 조건을 기준(1.1 l/s~2.0 l/s)으로 유수 이탈거리를 비교하면 유수 이탈거리는 도수로 경사가 완만할수록 증가하였으며, 도수로 경사가 동일한 조건에서는 유량이 작을수록 증가하였다. 이는 유수 이탈거리를 Fig. 3(b)에서 소단과 하부도수



(a) Upper Part of Berm



(b) Lower Part of Berm

Fig. 7. Water Separation by Splash Flow

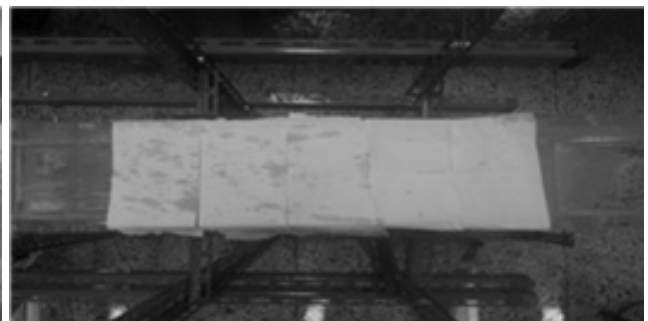
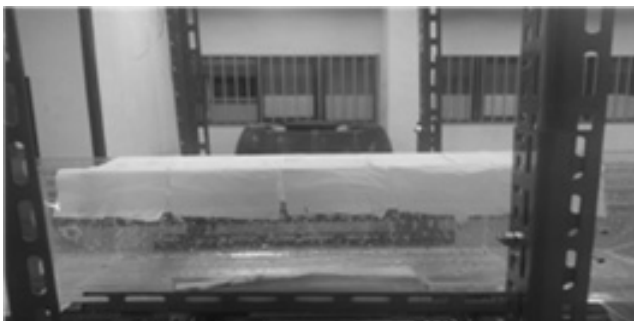


Fig. 8. Measurement of Water Particle Position by Paper Cover





(a) 40°



(b) 50°

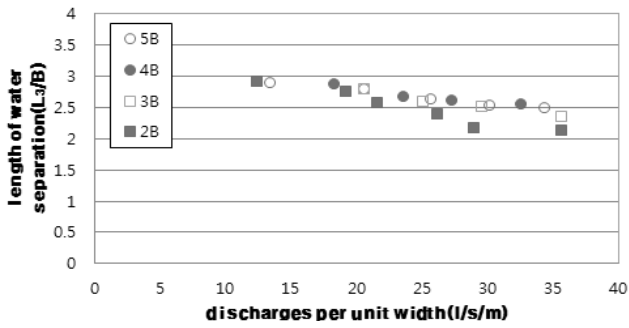


(c) 60°

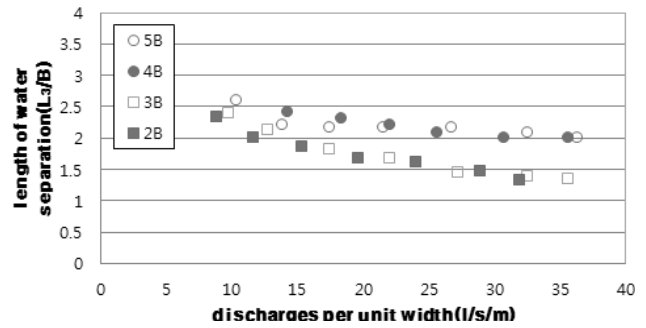


(d) 70°

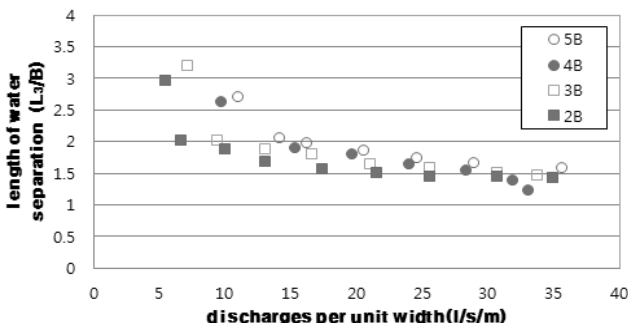
Fig. 9. Phenomenon of Water Separation by Varying Waterway Slope



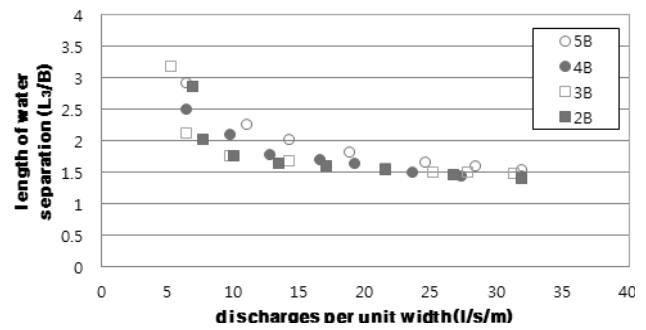
(a) 40°



(b) 50°



(c) 60°



(d) 70°

Fig. 10. Length of Water Separation by Varying Waterway and Discharge Rate

로가 접합되는 지점의 측벽 상부로부터 도수로로 따라 흐르는 유수가 하부 도수로의 측벽을 넘어서는 최장 길이로 정의하였으므로 상부 도수로로 따라 흐르는 유수의 유속이 빠를 경우 하부 도수로에서 유수 이탈 현상이 빠르게 나타나면서 하부 도수로의 측벽을 넘는 지점이 짧아지지만, 유속이 느릴 경우 하부 도수로에서 유수 이탈 현상이 느리게 나타나면서 하부 도수로의 측벽을 넘는 지점이 길어지기 때문이라 판단된다.

도수로 덮개의 설치 길이를 제시하기 위하여 도수로 폭과 소단길이 변화에 따른 유수이탈거리의 변화를 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 10에서 알 수 있듯이 하부 도수로 경사가 40°와 50°에서는 최대 약 3.0B로 측정되었으며, 도수로 경사가 60°와 70°일 경우에는 40°와 50°의 경사를 가지는 도수로에 비해 저유량에서도 유수이탈이 발생하여 최대 약 3.2B로 측정되었다. 소단 길이가 증가하는 경우에는 소단부의 바닥 마찰저항이 증가하기 때문에 소단길이가 감소할수록 유수이탈 거리 또한 짧아지는 경향을 보였으나, 소단 길이에 따른 유수 이탈 거리의 변화는 미미한 것으로 나타났다.

## 5. 도수로 덮개 설치 기준 제시 및 검토

### 5.1 도수로 덮개 설치 기준 제시

도수로 덮개가 설치된 일부 도수로의 경우 덮개가 상부 도수로와 소단 상부의 연결부부터 소단 하부와 하부 도수로의 연결부까지만 대부분 시공되는 것으로 조사되었다. 이와 같이 상부 도수로와 소단 연결부가 덮개로 덮여 있는 경우 유입된 유송잡물의 처리가 어려울 뿐만 아니라 퇴적된 유송잡물에 의해 도수로부에서 유량 배제가 어려워져 월류하는 현상이 종종 발생된다. 또한 소단 하부와 하부 도수로 연결 지점인 유수 유출부에서는 도수로 덮개 길이가 유수 이탈 길이보다 짧아서 실제로 소단 하부에서 발생하는 유수의 이탈을 차단하지 못하고 있는 실정이다. 이는 도수로와 소단부에 설치되는 도수로 덮개의 실증적인 기준이 없이 시공

여건에 따라서 도수로 덮개를 설치하였기 때문으로 판단된다.

본 연구에서는 도수로와 소단부에서 튀 흐름의 발생에 따른 유수이탈 현상이 소단부를 기준으로 상부 도수로와 연결되는 소단 상부와 하부 도수로와 연결되는 소단 하부의 두 부분에서 일어나는 것을 수리 실험을 통하여 확인하였다. 수리실험결과 도수로 경사가 50°, 60°, 70°인 경우에는 유수이탈 현상이 소단 시작지점으로부터 약 20 cm(1.3B)에서 시작되었고, 도수로 경사 40°의 경우에는 약 30 cm(2B)지점에서부터 물 입자가 비산되기 시작하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 수리실험결과를 바탕으로 도수로에 덮개를 설치하게 되는 경우 소단 시작지점으로부터 1B지점부터 설치하는 것이 소단 상부에서 발생하는 유수 이탈의 차단 및 유지관리가 용이할 것으로 판단한다. 또한 소단 하부의 유수이탈을 방지하기 위하여 도수로에 0.08 l/s~5.61 l/s의 유량이 유하될 경우 하부도수로를 이탈하는 유수의 유수이탈거리를 측정하였다. 수리 실험 결과 도수로 폭에 대한 유수이탈거리 비가 40°, 50°의 도수로 경사에서는 하부 도수로 시작지점으로부터 최대 약 3.0B 지점까지 측정되었으며 60°, 70°의 도수로 경사에서는 40°, 50°의 경사를 가지는 도수로에 비해 저유량에서도 유수이탈이 발생하여 하부 도수로 시작지점으로부터 최대 약 3.2B 지점까지 측정 되었다. 따라서 수리모형 실험 결과를 토대로 소단 시작지점으로부터 1.0B에서 하부 도수로 3.5B 지점까지 덮개를 설치하는 경우 유수이탈 없이 도수로로 차집 된 유량이 배수 될 수 있을 것으로 판단된다 (Fig. 11).

### 5.2 도수로 덮개 설치 기준 검토

본 연구의 실험결과 소단에서 유수이탈의 특성은 도수로의 경사에 매우 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 제시된 도수로 덮개 설치 기준을 검토하기 위하여 상·하부 도수로의 경사가 상이한 경우에 대하여 수리실험을 수행하였다. 상·하부 도수로 경사가 동일한 경우에는 도수로 경사가 70°일 때 유수이탈

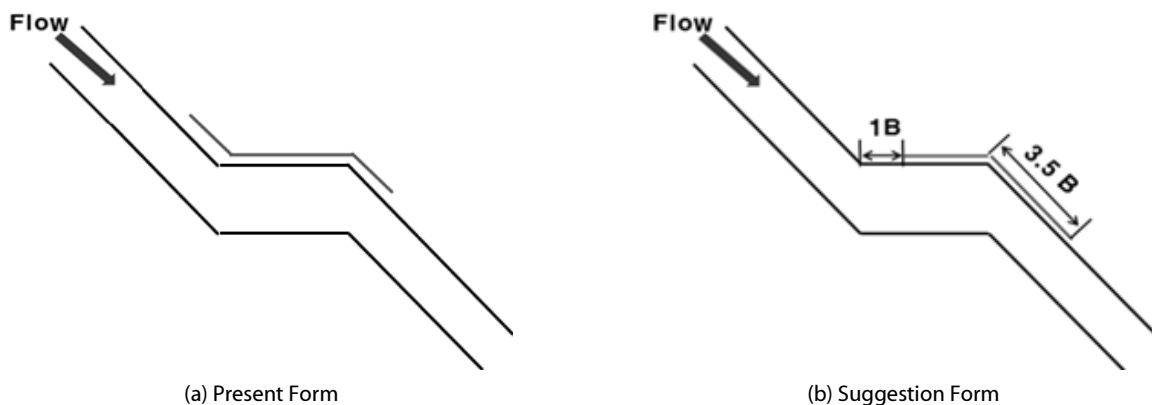


Fig. 11. Location and Length of Waterway Cover Plate

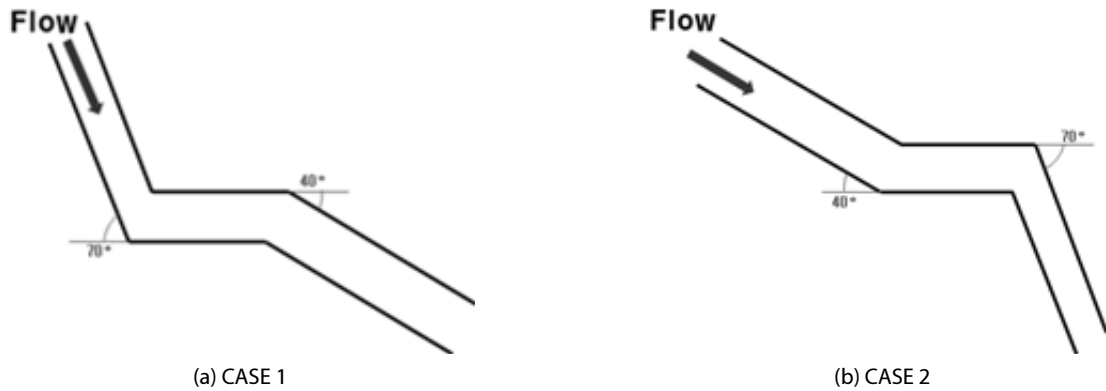


Fig. 12. Condition of Varying Upper and Lower Waterway Slope

Table 3. Length of Water Separation by Varying Upper and Lower Waterway Slope

| Type  | Slope |       | Discharge at starting water separation (L/s) | Maximum length of water separation (cm) | The ratio of water way width to length of water separation |
|-------|-------|-------|--|---|--|
|       | Upper | Lower |  |   |  |
| CASE1 | 70°   | 40°   | 1.0  | 42.3                                    | 2.8B   |
| CASE2 | 40°   | 70°   | 1.9  | 44.0                                    | 3.0B   |



Fig. 13. Phenomenon of Water Separation with Different Waterway Slope Between Upper and Lower

이 크게 발생하였으며, 40° 경사에서 유수이탈거리가 최대였던 점을 고려하여 Fig. 12와 같이 상부 도수로 70°, 하부 도수로 40°의 경우(CASE 1)와 상부 도수로 40°, 하부 도수로 70°의 경우(CASE 2)에 대하여 유수이탈 거리를 측정하였다(Table 3).

소단의 길이는 유수이탈이 가장 길게 나타나는 5B를 대상으로 하였다. 실험유량은 동일 경사를 갖는 도수로 실험에서 상부 도수로의 경사를 각각 40°, 70°일 때 유수이탈이 발생하기 시작한 유량(1.9 l/s, 1.0 l/s)에서 유량을 증가시켜가며 수리실험을 수행하였다. 실험결과 CASE 1에서 최대 유수이탈 거리는 약 2.8B, CASE 2에서의 최대 유수이탈 거리는 3.0B로 나타났다(Fig. 13). 따라서

5.1절에서 제시한 덮개 기준 내에서 유수이탈 현상이 발생하였으므로 상·하부의 도수로 경사가 상이하더라도 본 연구에서 제시한 도수로 덮개 설치 기준을 적용하여 도수로 덮개를 설치한다면 도수로 내로 유입된 유수가 도수로를 이탈하지 않고 배수 될 수 있을 것으로 판단된다.

또한 본 연구에서 제시한 도수로 덮개의 위치 및 길이에 대한 통수능력을 확인하기 위하여 실제 도수로 덮개를 설치하고 실험을 수행하여 도수로 덮개가 설치되지 않은 실험결과와 비교하였다(Table 4). 실험조건은 각 도수로 경사별로 유수이탈이 발생하기 시작한 유량부터 실험실 조건에서 유하 가능한 최대 유량까지

Table 4. Comparison with Lower Part of Waterway Flow by Installed Cover Plate

| Waterway slope | Without cover plate   | with cover plate   |
|----------------|---|--|
| 40°            |    |    |
| 50°            |    |    |
| 60°            |   |   |
| 70°            |  |  |

유하시켜 유수이탈 현상 발생 유무에 대하여 관찰하였다. Table 4와 같이 덮개를 설치하는 경우 하부 도수로에서의 유수 이탈은 본 연구의 실험 조건상의 모든 유량에 대하여 유수 이탈이 발생하지 않는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구를 통해 제시된 도수로 덮개 위치 및 길이는 본 연구조건에서 고려한 도수로 경사 및 소단길이의 조건에서 발생하는 모든 유수의 이탈을 방지함으로써 비탈면 안정성을 향상시킬 수 있으므로 비탈면 배수시설의 설계기준으로 사용 가능할 것으로 판단된다.

## 6. 결론

본 연구에서는 급경사 비탈면의 주요 배수시설인 도수로에서의 흐름특성을 분석하고 도수로의 배수능력 및 비탈사면의 안정을 위한 도수로 덮개의 설치 위치 및 길이를 제시하기 위하여 문헌조사 및 현장조사를 실시하였으며, 조사 결과를 활용하여 수리실험 수로의 제작 및 실험조건을 선정하였다. 도수로에서의 흐름 상태를 파악하고 도수로와 소단부에서 발생하는 유수 이탈 현상 및 방지 대책을

마련하기 위하여 Ministry of Construction & Transportation (2001)에 제시된 도수로의 크기를 선정하여 1/4 축소모형으로 도수로를 제작하였다. 선정된 실험조건에 따라 도수로 상·하부 경사, 소단 길이 및 유입유량 변화에 따른 도수로 내 흐름 특성 분석 및 도수로와 소단부에서 발생하는 유수 이탈 현상과 유수 이탈 방지를 위한 수리실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 수리실험 결과 도수로 내로 유하되는 유량에 따라 소단 내 흐름은 도수 흐름과 틈 흐름으로 구분되었다.
- (2) 도수흐름이 발생하는 경우 도수로 경사와 유량이 증가하더라도 소단 측면높이에 대한 도수 높이 비는 5%이하인 것으로 나타났으므로 소단 내 도수 흐름 상태에서는 유수이탈 없이 유수를 배제 시킬 수 있는 것을 의미한다. 또한 도수 흐름 상태에서는 소단 하부에서 유수이탈 현상이 발생하지 않았다. 따라서 도수 흐름이 발생하는 조건에서는 현재 도로설계편람 설계기준의 도수로 크기라도 도수 흐름의 발생 유량을 원활히 배수 시킬 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 도수로 경사에 따라 1.1~2.0 l/s 이하의 유량이 유하될 경우에 발생하는 틈 흐름 상태에서는 도수로에서 소단으로 유입되는 유수의 흐름이 월류하지 않을 것으로 나타났으며, 1.1~2.0 l/s 이상의 유량이 유하될 경우의 틈 흐름은 소단의 상부와 하부에서 각각 유수이탈을 발생시키는 원인으로 나타났다.
- (4) 도수로 내의 물입자 비산거리는 도수로 경사 변화를 고려하여 실측한 결과 소단 시작점으로부터 약 20 cm(1.3B)지점부터 시작되었으며, 하부 도수로의 경사변화에 따라 실측된 유수이탈 거리는 소단하부로부터 3.5B지점까지 나타났으므로 소단시작점으로부터 1B지점에서 소단하부로부터 3.5B 지점까지 덮개를 설치하여야 유수이탈 없이 유수를 유하 시킬 수 있는 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원에서 위탁시행 한 건설기술혁신사업(08 기술혁신 F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- Drainage Services Department (2003). *Design of stormwater inlets-practice note No.1/2003*, Drainage Services Department, Hong Kong.
- Halcrow Group Limited (2007). *Review of the use of horizontal drainage systems*, Hong Kong.
- Hui, T. H. H., Sun, H. W. and Ho, K. K. S. (2006). *Review of slope surface drainage with reference to landslide studies and current practice*, Landslide Study Report No. LSR 1/2006, Geotechnical Engineering Office, Hong Kong.
- Housing Corporation (2006). *Guideline for civil engineering design* (in Korean).
- Hwang, Y. C. (2004). "Evaluation for installed and drain performance of mountain side ditch in road cut slopes." *Journal of Korean Geo-Environmental Society*, Korean Geo-Environmental Society, Vol. 5, No. 4, pp. 73-79 (in Korean).
- Jun, J. Y. (1995). *Guideline for drainage method of road earthwork*, Publication of Construction Book (in Korean).
- Korea Expressway Corporation (2010). *Road construction standards* (in Korean).
- Korea Land Corporation (2006). *Special specification of land public corporation* (in Korean).
- Lee, Y. D. and Kim, J. S. (2008). "Improve for gutter design method in sloping area." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 8, No. 1, pp. 109-115 (in Korean).
- Ministry of Construction & Transportation (2001). *Design manual of road* (in Korean).
- Ministry of Construction & Transportation (2003). *Drainage facilities design & maintenance management guideline of road* (in Korean).
- Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs. (2012). *Provisionality guideline for design of road drainage facilities in Urban Area* (in Korean).
- Yu, D., Lee, J. H. W. and Wong, C. K. C. (2008). "Stormwater overflow in stepped channel." *Journal of Hydro-environment Research*, Korea Water Resources Association, Vol. 2, Issue 2, pp. 119-128 (in Korean).