JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS MAR. 2002. pp. 81-98

한국농공학회지
제44권 제2호

# 호안용 돌망태 매트리스의 수리학적 특성 연구

## A Study on the Hydraulic Characteristics for River Bank Protection using Gabion Mattress

배 상 수* · 이 경 욱** · 허 창 환*** · 지 홍 기****

Bae, Sang Soo · Lee, Kyung Wook · Heo, Chang Hwan · Jee, Hong Kee

**Abstract**

The condition of initial movement for the river bank protection using rip rap is a limit condition beyond which the lining is progressively destroyed as the separate elements are removed by the flow. In the case of the river bank protection using gabion mattress, however, after the initial movement the containment offered by the mesh remains. A new situation of equilibrium with a deformed river bank protection using gabion mattress is obtained, allowing it to withstand more severe conditions without compromising the resistance and without further deformation.

Shield's coefficient for the river bank protection using gabion mattress is twice the value of that for river bank protection using rip rap. This means that with the same hydraulic behavior conditions, the average dimension of the rocks to be used in the river bank protection using gabion mattress is half that of river bank protection using rip rap rock. When the same size rocks are used the allowable velocity for the river bank protection using gabion mattress is more than twice, even as much as 3 or 4 times that for river bank protection using rip rap.

*Keywords : River bank protection rip rap · gabion mattress, Shield's coefficient, Velocity-rip rap · gabion mattress relationship.*

## I. 서 론

돌망태 매트리스는 철망 내에 자갈 또는 돌을 채운 구조물로서 수로바닥 및 사면의 침식을 억제하고 수로의 안정화에 사용되고 있다. 돌망태 매트리스 철망은 세굴이 발생되는 수로에서 변형에 유연하게 적응하는 유연성을 가지고 있으며, 철망으로 조직된 구조물이기 때문에 변형 또는 유수력에 저항력을 발휘할 수 있는 특수성을 지니고 있다. 한편 돌망태 매트리스는 다공체이기 때문에 침투성이 높아서 부력으로 인한 양력에 유효하게 대응할 수 있으며, 식물의 생장을 촉진시켜 식생수로를 쉽게

* 영남대학교 대학원 토목공학과 박사과정
** 영남대학교 대학원 토목공학과 박사과정
*** 충주대학교 토목공학과 강사
****영남대학교 토목공학과 교수 · 공학박사
* Corresponding author. Tel.: +82-53-810-3791
fax: +82-53-812-5048
E-mail address: m0056012@chunma.yu.ac.kr

형성시키는 친생태성 구조물이다. 그러므로 수로바닥 및 사면의 안정을 위한 공법으로 돌망태 매트리스가 가장 널리 적용되고 있으며, 수로바닥 및 사면의 자연경관을 고려하고 수로를 안정화시키는 적절한 방법이라 할 수 있다. 그러나 아직까지 돌망태 매트리스의 수리학적 거동해석이나 수리학적 특성에 관한 연구가 미흡하여 이를 실용화하는데는 많은 제약을 받고 있는 실정이다.

국내에서는 농업기반공사가 새만금간척사업에서 방조제 물막이 수리모형시험을 통하여 돌망태 매트리스의 안정성과 자갈 또는 돌과 돌망태 매트리스의 적정 혼합비율에 관한 수리모형시험을 시행한 바 있다. 당시의 실험을 통해서 박상현(1997)은 방조제 제방구간의 투하자갈 또는 돌과 돌망태의 안정성에 관한 수리실험을 수행한 결과를 발표하였다. 그리고 정철호 등(1994)은 돌망태 옹벽의 변형거동 및 전단특성에 관한 연구와 기술동향을 발표한 바 있으며, 윤태훈 등(2000)에 의해서 돌망태에 의한 교각주변의 세굴방지에 관한 연구가 발표된 바 있다. 또한 최근에는 지홍기, 배상수 등(2000, 2001)에 의해서 돌망태를 이용한 제방법면의 보호공법, 돌망태를 이용한 호안구조물의 수리학적 특성, 돌망태를 이용한 방재 및 친환경구조물 개발 등의 연구가 활발히 진행되고 있다.

국외에서는 호안용 돌망태 매트리스의 수리학적 안정성을 검토하기 위한 실험이 미국 포트 콜린스 콜로라도대학 공학연구소 수리실험실에서 1982~1983년에 실험을 실시한 바 있으며, D. B. Simons 등(1983)은 호안용 돌망태 매트리스의 설계기준을 개발하기 위한 실험으로 설계에 필요한 기준을 제시한 바 있다. 미국 공병단의 Stephen T. Maynord 등(1995)이 유수에 의한 돌망태 매트리스의 안정성에 관한 수리모형시험 연구를 수행한 바 있으며, 호안용 개비온-돌망태 매트리스의 설계기법에 관한 연구가 있었다. 영국 윌링포드연구소의 Motykq J. M. & Welsby가 돌망태 매트리스를 이용한 해안방파 구조물 연구 등이 있으며, 독일 뒷셀도르프에서 「Gabin 2000 박람회」를 개최하여 유럽뿐만 아니라 전세계에 돌망태의 친생태, 친환경성을 홍보하고 수리학적으로 그 안정성을 홍보하고 있다. 한편 이태리 Maccaferri사의 R. Agostini 등(1988)은 유연성이 큰 개비온(Gabion)과 르노 돌망태 매트리스(Reno Mattress)구조의 해석과 설계기법에 대하여 연구한 결과를 발표하여 세계 각국에 널리 보급되고 있다.

따라서 본 연구에서는 수로의 흐름조건에 따라 호안용 돌망태 매트리스를 수리실험장에서 수리실험을 실시하여 수리학적 특성을 규명하고 수로의 흐름방정식 유도와 돌망태 매트리스의 조도계수 추정 및 수로바닥 및 사면의 수리특성에 따른 수리해석 및 계산방법을 제시하였다. 여기에서 돌망태 매트리스를 사용한 호안공의 차원 및 수리실험은 콜로라도 주립대학(Fort Collins - U.S.A.)에서 수행한 수리실험의 조건과 동일한 실험 방법을 실시하여 그 실험결과를 비교검토 하였다. 즉, 돌망태 매트리스에 작용하는 소류력 및 유속에 대한 안정성, 변형 및 수리학적 저항특성 등은 수리실험을 통해서 비교 분석하여 돌망태 매트리스가 호안공으로서의 우수함을 확인코자 하였다.

## Ⅱ. 실험수로의 수리이론

### 1. 흐름에 대한 호안용 돌망태 매트리스의 저항

개수로의 고정된 단면에서 발생하는 흐름의 형태 중에서 등류는 수로단면이 일정하고 배수(back water)는 단면 또는 상·하류 수로경사의 변화에 의해서 영향을 주지 않는다. Fig. 1에서는 수로의 종단면과 횡단면을 도해적으로 나타냈으며, 등류인 경우 각각의 경사는 $i_h \fallingdotseq i_w \fallingdotseq i_f$로 주어진다. 수로의 경사 $\alpha$가 매우 작으면 $l \fallingdotseq L'$ 가 되면서 $\sin\alpha \fallingdotseq \tan\alpha$로 가정할 수 있다.

여기서, $y$ : 수역에서 최대깊이(m), $C$ : 윤변(m), $A$ : 통수단면적($m^2$), $B$ : 수면폭(m), $R = A/C$ :

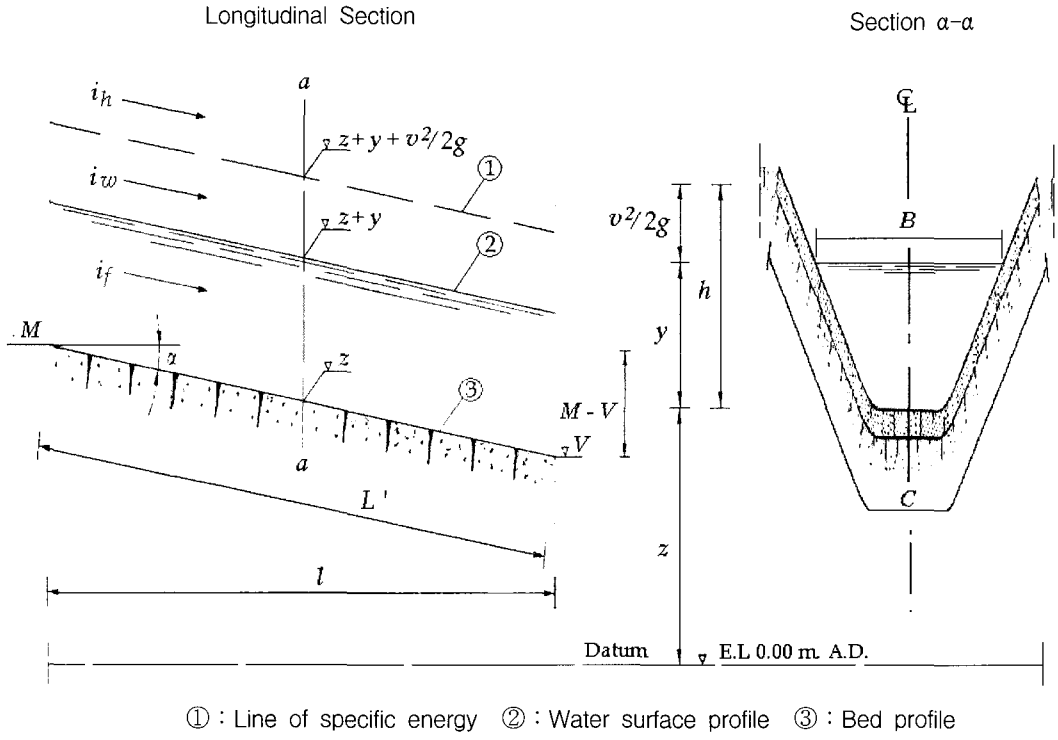



Fig. 1 Geometric and energy elements

동수반경(m), $L'$ : 수로길이(m), $l = L'\cos\alpha$ : 수로의 수평방향 길이(m), $M$ : 상류 바닥의 표고(EL.m), $z$ : 단면 $a-a$ 바닥의 표고(EL.m), $V$ : 하류 바닥의 표고(EL.m), $\alpha$ : 수로경사각, $i_f = \sin\alpha = (M-V)/l$ : 바닥경사, $i_w$ : 수면경사, $i_h$ : 에너지 경사선, $v$ : 평균유속(m/s), $g$ : 중력가속도(m/s), $v^2/2g$ : 속도에너지(m), $h = y + v^2/2g$ : 비에너지(m), $Q$ : 유량($m^3/s$)이다.

따라서 등류에서 수로의 경사 $i$는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$i = \frac{\lambda}{4R}\frac{v^2}{2g} \quad \cdots\cdots(1)$$

여기서, $\lambda$는 동수반경과 조도에 영향을 미치는 요철의 평균크기와 Reynolds 수에 관계되는 조도함수이다. 식 (1)을 Chezy 공식으로 전환하면 유속 $v$는 식 (2)와 같다.

$$v = \chi\sqrt{Ri} \quad \cdots\cdots(2)$$

여기서, $\chi$는 Chezy의 조도계수이며, $\chi$와 조도함수 $\lambda$의 관계는 식 (3)과 같이 상호작용을 하게 된다.

$$\chi = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \quad \cdots\cdots(3)$$

거친 수로에서 난류인 경우에 저항계수는 표면마찰과 동수반경에 관계되지만 Reynolds 수의 크기는 무시된다. 이 계수는 경험식으로 얻을 수 있으며, Bazin 및 Manning-Strickler 식이 사용되고 있다. 이들 두 가지 경험식은 자연수로에 관계되는 동수반경 $R$과 조도계수( $\gamma$ , $c$, $n$)의 함수가 되기 위하여 Chezy의 조도계수 $\chi$는 식 (4) 및 식 (5)와 같이 가정하였다.

$$\chi = \frac{87}{1+\frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \quad \cdots\cdots(4)$$

$$\chi = c\,R^{1/6} = \frac{1}{n}\,R^{1/6} \quad \cdots\cdots(5)$$

여기서, $c=1/n$이며, $n$은 Manning 조도계수이다.

## 2. 호안용 돌망태 매트리스의 조도계수 추정

수로바닥 및 사면에 작용하는 Chezy의 조도계수 $\chi$는 Basin과 Manning-Strickler 식을 이용하여 구할 수 있으며, Meyer-Peter와 Muller 식에 의하면 모래와 자갈 등의 혼합사로 구성된 수로바닥 및 사면의 Manning 조도계수 $n$은 식 (6)에서 구할 수 있다.

$$n = \frac{d_{90}^{1/6}}{26} \quad \cdots\cdots(6)$$

여기서, $d_{90}$은 수로바닥 및 사면의 재료의 90% 통과를 허용하는 체의 직경이다. 식 (6)은 이론적인 공식이며, 수로바닥 및 사면의 재료가 모래와 자갈 등의 혼합사로 구성된 수로에 적합하다. 유속이 증가함에 따라 돌망태 매트리스 내의 자갈은 수로바닥 및 사면의 파랑운동에 의하여 하류쪽으로 이동하게 된다. 이 때 돌망태 매트리스 구간 내에서 가장 높은 지점과 가장 낮은 지점 사이에서 수로바닥 및 사면의 표고차이가 채움재의 중간크기와 동일하다면 Manning 조도계수 $n$은 5% 정도 증가하는 것으로 알려져 왔다. 이러한 현상은 Manning 조도계수 $n$을 약간 증가시킬 것이다.

# Ⅲ. 수리실험 조건 및 방법

## 1. 실험수로 형태 및 실험재료

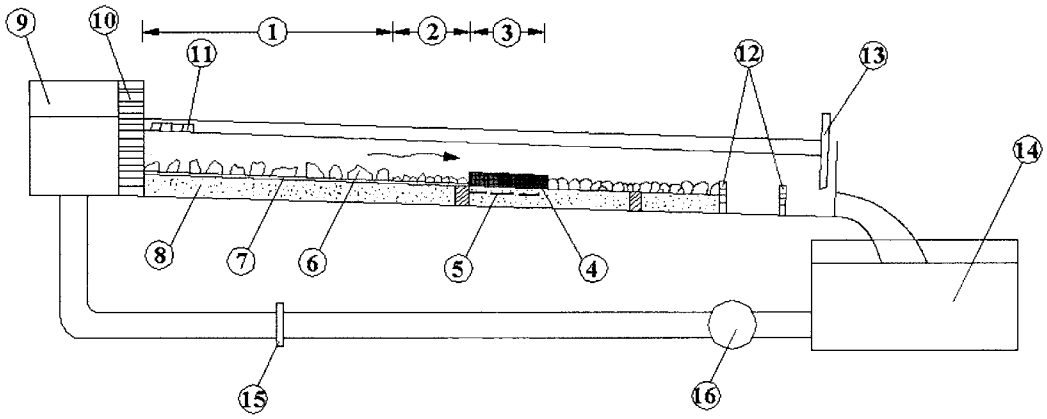
실험은 (주)선비공영에 임시로 설치된 수리실험장에서 수행되었으며, 돌망태 매트리스 호안공의 수리특성을 파악하기 위하여 실물크기의 제형단면 실험수로를 사용하였다. Fig. 2는 실물크기의 제형단면에서 돌망태 매트리스를 실험하는데 사용되는 실험장치를 나타냈으며, 실험수로는 가변경사로서 0~3% 경사가 가능하고 수로의 크기는 폭 2.0 m, 높이 1.2 m, 길이 25.0 m, 사면경사 1:2인 수로로 구성되어 있다. 세 개의 펌프를 설치하여 단독 또는 복합적으로 사용할 수 있고 물은 저수조에서 0.60 m 관경을 통해 실험수로에 공급하며, 세 개의 펌프를 동시에 작동할 경우 최대로 공급할 수 있는 유량은 약 2.50 $m^3/s$이다. 본 실험장치는 실험수로 내에서 6 m/s 이상의 유속을 발생시킬 수 있으며, 유량의 조절은 수로 위에 설치된 밸브의 작동으로 이루어진다.

또한 Table 1은 (주)선비공영에 임시로 설치된 실험수로에서 실험한 실물크기의 제형단면수로에 설치된 호안용 돌망태 매트리스의 치수를 나타냈다. 돌망태 매트리스는 실제크기의 철망으로 제작된 것을 사용하였다. 채움재는 하천 주변에서 쉽게 구할 수 있는 직경 0.075~0.19 m의 자갈 또는 돌을 사용하였다. 채움재를 채운 후, 뚜껑은 안전하게 묶었으며, 돌망태 매트리스는 모래/필터 섬유 바닥층 위에 설치하였다.

돌망태 매트리스는 모래/필터섬유 바닥층 위에 놓여졌으며, 모래바닥의 0.14 m 층위에 폴리프로필렌 필터섬유를 깔았다. 바닥모래는 젖어있고 섬유필터설치 전보다 치밀하며, 섬유필터는 제형단면수로 경사면에 못으로 고정하였다.

**Table 1 Dimensions of full-scale gabion mattress tested**

| No. | Thickness (m) | Mesh (mm) | Wire dia. ($\Phi$, mm) | Stone size (mm) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.15 | 6×8 | 2.0-2.2 | 75-150 |
| 2 | 0.23 | 8×10 | 2.4-2.7 | 115-150 |
| 3 | 0.23 | 6×8 | 2.0-2.2 | 75-150 |
| 4 | 0.30 | 6×8 | 2.0-2.2 | 115-150 |
| 5 | 0.45 | 8×10 | 2.4-2.7 | 115-190 |




① Flow development section
② Transition section
③ Test section
④ Gabion Mattress · Rip rap
⑤ Geotextile
⑥ Stones
⑦ Concrete
⑧ Sandy bottom
⑨ Header tank
⑩ Diffuser
⑪ Wave suppressor
⑫ Traps
⑬ Gate
⑭ Sump
⑮ Pump □ Oriffice

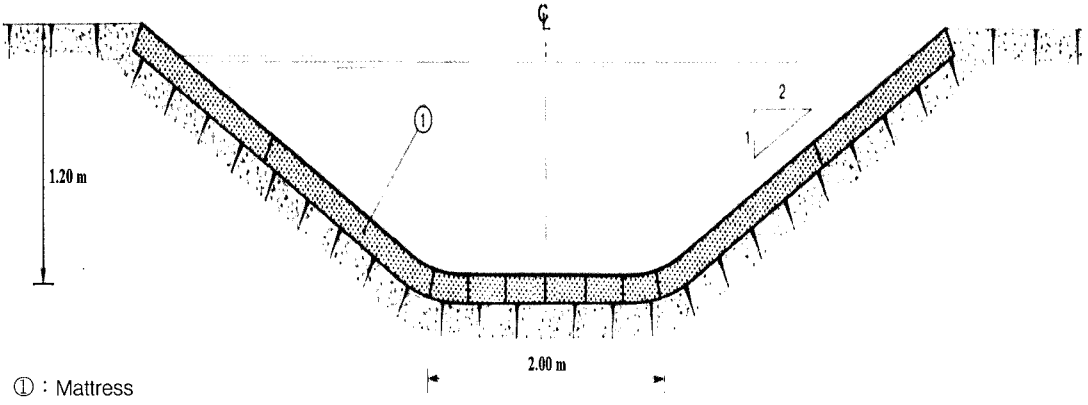



Fig. 2 Outdoor flume used for the full-scale experiments

## 2. 실험에 대한 수리조건 및 실험방법

본 실험에서는 흐름단면과 호안용 돌망태 매트리스가 설치된 수로바닥 및 사면에서 유속, 조도계수의 결정, 저항운동의 분석, 수리특성에 대한 안정성 연구 그리고 돌망태 매트리스의 변형분석 등을 연구하고자 하였다.

돌망태 매트리스 호안공에서는 Shield의 무차원 실험계수인 Shleld 계수 $C^*$를 결정하는 것이 매우 중요하다. 이 값은 동일한 이론적인 기준을 따르는

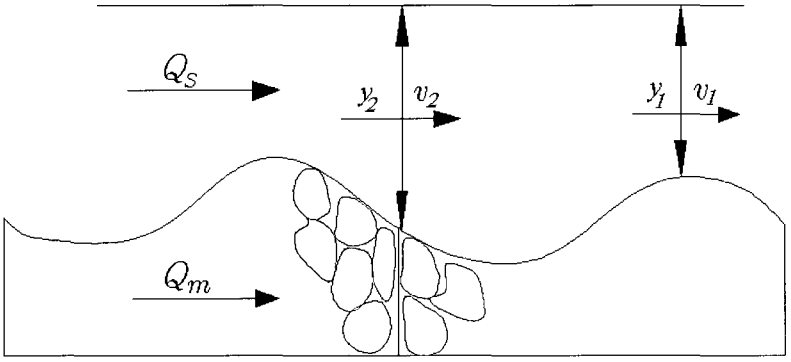



Fig. 3 Each test the flow through the flumes

다른 호안공들과 비교하면서 안정성을 분석할 수 있으며, 특히 느슨한 사석 호안공과 비교하여 돌망태 매트리스 호안공의 장점을 제시하고자 하였다.

Fig. 3은 실험수로에서 호안용 돌망태 매트리스가 설치된 구간을 통과하는 지점에서의 유량(돌망태 매트리스 상·하부의 유량 : $Q_s$ 및 $Q_m$), 돌망태 매트리스 변형 전·후의 수심(돌망태 매트리스 변형부의 수심 : $y_1$ 및 $y_2$) 및 이 때의 유속($v_1$ 및 $v_2$)를 나타냈으며, 다음과 같은 방법을 이용하였다.

먼저, 유량의 조절과 측정은 설치된 세 개의 펌프를 이용하여 각각의 실험환경에 요구되는 유량을 공급하기 위하여 단독 또는 복합적으로 사용된다. 각 펌프에서 공급된 유량은 모든 펌프의 공급라인에 설치된 오리피스에 흐르는 유량의 수두차이로 유량을 측정할 수 있다.

다음으로, 수심과 유속의 측정은 상류조건($Fr \leq 1$)에서는 수심은 수로의 하류부에 위치한 수문에 의해서 조절된다. 그리고 사류조건($Fr>1$)에 대해서는 수심은 유량, 수로경사, 수로바닥의 조도에 의해 결정되며, 하류부의 수문은 흐름을 조절하는데 사용된다. 그밖에 포인트 게이지는 물과 수로바닥의 높이를 측정하는데 이용되었다. 유속은 프로펠러 타입의 유속계를 이용하여 측정하였다.

마지막으로, 실험전·중·후에 발생하는 연속적인 단계에서 실험전에는 수로경사의 조절 및 육안과 사진으로 실험전 환경을 확인하며, 기록계를 조절한다. 실험중에는 펌프의 조절로 원하는 흐름조건, 유량 그리고 수심을 구한다. 펌프 유량의 관계를 이용한 액주계 값을 통하여 전체유량을 결정한다. 수면경사, 수심, 흐름조건을 결정하기 위하여 포인트 게이지를 사용하여 돌망태 매트리스의 실험단면 위의 수면 높이를 측정한다. 수로의 중심선에서 유속계를 사용하여 상류와 하류로부터 1.5 m 지점에 위치한 세 개의 단면과 돌망태 매트리스의 실험단면 중간에서 측정한 유속을 평균한다. 실험후에는 펌프를 정지하고, 수로의 물을 제거하고 돌망태 매트리스에서 자갈이동, 철망의 변형 또는 실험으로 인한 어떤 변화에 대해서도 세밀히 조사한다. 돌망태 매트리스에서 관찰된 중요한 변화를 기록하기 위해 사진을 찍는다.

Table 2는 실험수로에서 돌망태 매트리스의 상부와 내부의 수리특성인 돌망태 매트리스 상부와 내부 채움재의 공극을 통해서 흐르는 각각의 유량($Q_s$ 및 $Q_m$)을 나타냈다. 여기서 채움재의 공극을 통해서 흐르는 유속은 돌망태 매트리스 아랫부분에 인접한 유속의 약 2/3와 채움재의 공극률은 약 0.45라고 가정하고 계산된 유량이다. Table 3은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 돌망태 매트리스 상부에서 변형 전·후의 유속($v_1$ 및 $v_2$) 및 수심($y_1$

Table 2 Discharge from the test of gabion mattress 0.23m thick

| Total discharge ( $Q$, $m^3/s$) | Discharge above mattress ( $Q_s$, $m^3/s$) | Discharge with mattress ( $Q_m$, $m^3/s$) |
|---|---|---|
| 0.51 | 0.38 | 0.13 |
| 0.85 | 0.74 | 0.11 |
| 1.13 | 1.01 | 0.12 |
| 1.70 | 1.57 | 0.13 |
| 2.27 | 2.14 | 0.13 |
| 2.55 | 2.43 | 0.12 |

Table 3 Velocity and depths before and after deformation

| Velocity ( $v_1$, m/s) | Depth ( $y_1$, m) | Velocity ( $v_2$, m/s) | Depth ( $y_2$, m) |
|---|---|---|---|
| 2.07 | 0.10 | 2.07 | 0.10 |
| 3.29 | 0.12 | 3.08 | 0.13 |
| 3.78 | 0.13 | 3.23 | 0.17 |
| 5.00 | 0.15 | 4.32 | 0.20 |
| 5.30 | 0.17 | 4.08 | 0.27 |
| 5.91 | 0.17 | 4.45 | 0.30 |

및 $y_2$)를 나타낸 값이다. 실험결과에 의하면 흐름조건과 매트리스의 두께에 관계없이 크게 변하지 않는다는 것을 알수 있었다.

실험수로에서 유량의 크기에 따른 예비실험 결과를 나타냈으며, 각 유량의 크기와 수로경사에 따라 측정된 수심( $y$), 유속( $v$)과 전 절에서 계산된 Froude 수( $Fr$), 조도계수( $n$) 등 수리특성치를 이용하여 수로바닥 및 사면에서 호안공의 전단응력( $\tau$), Shield 계수( $C^*$)는 Ⅳ.1.가의 식(7), 식(8) 및 식(9)에서 구할 수 있으며, Table 4와 같았다.

## Ⅳ. 수리실험 결과

### 1. 소류력에 의한 안정성 실험

#### 가. 소류력에 의한 안정성 검토사항

일반적으로 사석이나 돌망태 매트리스 호안공은 자갈 또는 돌이 각각의 움직임이 없을 때에 안정하다고 할 수 있다. 따라서 사석 호안공과는 달리 돌망태 매트리스 호안공은 철망 내에 자갈 또는 돌로 채워지며, 이들 구조물에서 안정성의 한계는 전단응력이 채움재를 막 이동시키려는 초기 거동응력 지점과 같다. 제형단면 수로바닥 및 사면에서 돌망태 매트리스 호안공의 전단응력 $\tau_m$은 식 (7)에서 구할 수 있다.

$$\tau_m = 0.75\ \gamma_w y i \quad \cdots\cdots (7)$$

여기서, $\gamma_w$ : 물의 비중, $y$ : 수심, $i$ : 수로바닥의 경사이다.

또한 곡선수로로 뻗어있는 수로바닥 및 사면에서 전단응력은 바깥제방을 따라 증가하며, 식 (8)

Table 4 Measurements taken from test mattress 0.15m thick

| Total discharge ( $Q$, $m^3/s$) | Flume slope (m/m) | Water depth ($y$, m) | Flow velocity ($v$, m/s) | Shear stress ($\tau$, $kgf/m^2$) | Shields parameter ( $C^*$) | Froude number ( $F_r$) | Bed roughness ($n$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.50 | 0.004 | 0.66 | 2.16 | 1.98 | 0.044 | 0.86 | - |
| 1.98 | 0.004 | 0.79 | 2.25 | 2.37 | 0.053 | 0.81 | - |
| 1.56 | 0.010 | 0.55 | 2.64 | 4.13 | 0.094 | 1.13 | 0.0199 |
| 2.04 | 0.010 | 0.64 | 2.75 | 4.80 | 0.108 | 1.10 | 0.0208 |
| 2.41 | 0.010 | 0.74 | 2.96 | 5.55 | 0.125 | 1.10 | 0.0205 |
| 2.01 | 0.020 | 0.57 | 3.30 | 8.55 | 0.192 | 1.40 | 0.0243 |
| 2.58 | 0.020 | 0.65 | 3.50 | 9.75 | 0.221 | 1.38 | 0.0247 |

에서 구할 수 있다.

$$\tau_m = K\,\gamma_w R i \quad \cdots\cdots (8)$$

여기서, $R$은 동수반경, $K$는 곡률반경에 따라 수표면 폭의 비율함수로서 Fig. 4에서 구할 수 있다.

동일한 직경을 가지는 자갈 또는 돌은 Shield의 무차원 실험계수인 Shield 계수로서 정의된 식 (9)에서 주어진 채움재(호안공에서 자갈 또는 돌의 50%를 통과하는 체크기)의 크기는 평균직경 $d_m$과 동일하다.

$$C^* = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma_w)\, d_m} \quad \cdots\cdots (9)$$

여기서, $\tau_c$ : 초기거동의 한계상태일 때의 전단응력, $\gamma_s$ : 자갈 또는 돌의 비중이다.

식 (9)에서 $(\gamma_s - \gamma_w)\, d_m$은 채움재의 수중단위중량 때문에 수로바닥에서 수직응력에 비례한다. 따라서 Shield 계수는 그 결과 마찰계수와 유사하다. 수로바닥에서 전단응력은 채움재의 거동 없이 도달될 수 있으며, 그 결과 한계전단응력 $\tau_c$는 식 (10)과 같다.

$$\tau_c = C^*(\gamma_s - \gamma_w)\, d_m \quad \cdots\cdots (10)$$

또한 제형단면 수로바닥 및 사면에서 돌망태 매트리스 호안공의 한계전단응력 $\tau_s$는 식 (11)에서 구할 수 있다.

$$\tau_s = \tau_c \sqrt{1 - \frac{\sin^2\theta}{\sin^2\varphi}} \quad \cdots\cdots (11)$$

여기서, $\theta$ : 수로사면경사, $\varphi$ : 채움재의 내부마찰각 $\varphi \fallingdotseq 41^\circ$ 이다.

따라서 돌망태 매트리스 호안공은 식 (7)과 식 (11)을 비교해서 얻은 부등식인 식 (12)를 증명할 수 있으면 안정하다고 할 수 있다.

$$\tau_m \leq \tau_s \quad \cdots\cdots (12)$$

위의 부등식 (12)는 식 (13)과 같이 돌망태 매트리스 호안공의 변형을 제한할 수 있다.

$$\tau_m \leq 1.2\,\tau_s \quad \cdots\cdots (13)$$

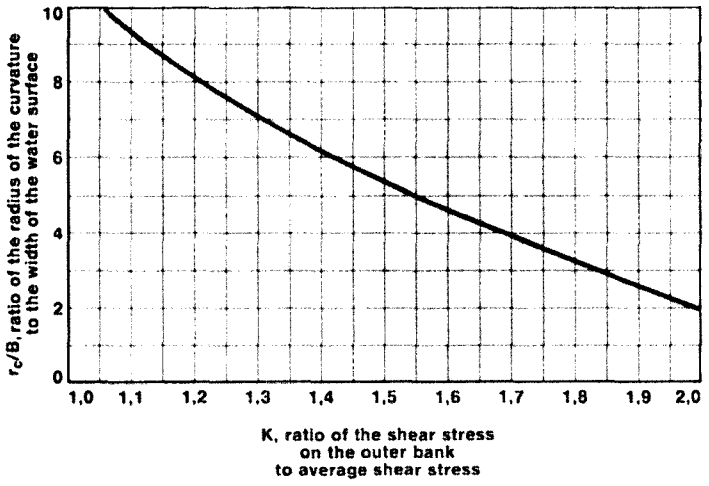



Fig. 4 Effect of a curve in the channel upon the shear stress acting on the outer bank

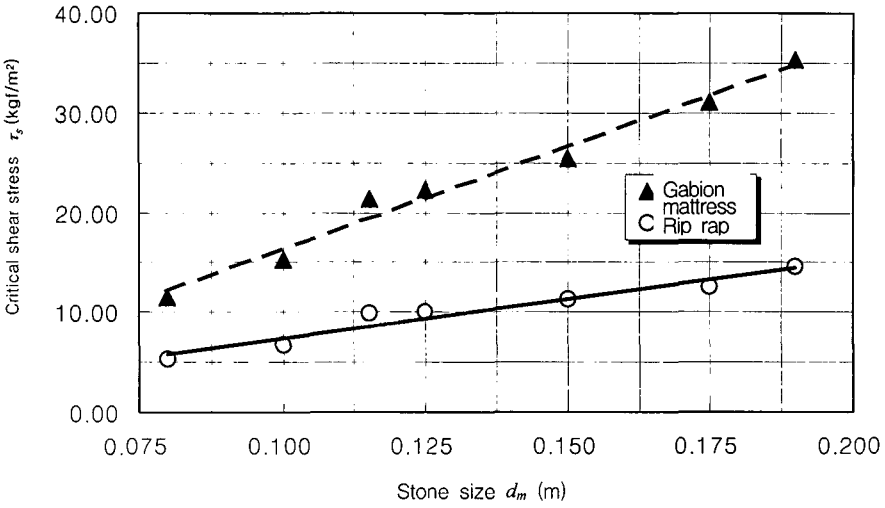



Fig. 5 Critical shear stress as a function of stone size

한편 Agostini, R. 등 (1988)에 의하면 철망에 채워지지 않는 느슨한 사석 호안공에 대한 Shield 계수는 $C^* \fallingdotseq 0.047$이며, 철망에 채워진 자갈 또는 돌로 구성된 돌망태 매트리스 호안공에 대한 Shield 계수는 $C^* \fallingdotseq 0.10$이다.

### 나. 소류력에 의한 안정성 실험

호안공에서 사석이나 돌망태 매트리스 채움재가 동일한 평균입경 $d_m$(0.075, 0.100, 0.115, 0.125, 0.150, 0.175, 0.190 m)으로 나누어 실험을 실시하였다. 자갈의 크기에 따른 한계전단응력은 돌망태 매트리스 호안공의 채움재인 자갈이나 사석의 크기를 나타냈으며, 그 결과는 Table 5 및 Fig. 5와 같았다. 여기서, 한계전단응력은 돌망태 매트리스를 사용할 경우보다 사석을 사용할 경우에 거의 2배 이상이 됨을 알 수 있었다. 이러한 현상은 철망에 의해서 채움재인 자갈 또는 돌의 움직임이 제약을 받기 때문인 것을 알 수 있었으며, 돌망태 매트리스의 철망은 사석과 비교하여 한계전단응력에 대한 채움재의 안정성을 강화시키고 있음을 알 수 있었다.

Table 5 Critical shear stress as a function of stone size

| Stone size ( $d_m$, m) | Critical shear stress( $\tau_s$, kgf/m$^2$) | |
|---|---|---|
| | Rip rap | Mattress |
| 0.080 | 5.36 | 11.46 |
| 0.100 | 6.73 | 15.14 |
| 0.115 | 9.83 | 21.33 |
| 0.125 | 10.03 | 22.33 |
| 0.150 | 11.25 | 25.37 |
| 0.175 | 12.56 | 31.13 |
| 0.190 | 14.61 | 35.34 |

돌망태 매트리스 호안공의 채움재가 초기거동을 일으키는 유속과 전단응력은 사석보다 2배정도 소요되며, 이에 대응하는 Shield 계수는 전 절에서 언급되었듯이 사석은 약 $C^* = 0.047$이고 돌망태 매트리스는 약 $C^* = 0.10$이다. 돌망태 매트리스 철망은 채움재의 안정성을 크게 증가시키며, 실험에서 돌망태 매트리스 구조물의 안정성은 같은 두께에서 사석의 안정성보다 크다는 것을 가리킨다. 이와 같은 안정성을 얻기 위해서는 사석의 자갈 또

는 돌의 크기는 돌망태 매트리스의 채움재의 크기보다 약 2배 정도 커야하고, 돌망태 매트리스보다 두꺼워져야 한다. 이것은 돌망태 매트리스 구조물이 사석보다 경제적이라는 것을 알 수 있었으며, 유속이 6 m/s 이하에서는 제시된 사석의 두께가 대개 50~200%의 줄어드는 효과를 보여준다.

Table 5 및 Fig. 5는 Ⅳ.1.가에서 식 (10)에서 구한 사석과 돌망태 매트리스 호안공의 초기거동을 일으키는 한계전단응력( $\tau_s$)은 채움재의 크기에 대하여 도식화하였으며, 측정 한계전단응력과 사석 및 돌망태 매트리스 호안공의 자갈크기를 보여준다. 매트리스 호안공은 사석 호안공과 비교하여 한계전단응력에 대한 채움재의 안정성을 강화한다는 것을 알 수 있다.

## 2. 유속에 의한 안정성 평가

### 가. 유속에 의한 안정성 검토

호안공의 안정성을 추정하는데 있어서 유속(단면에서 흐름의 평균유속 $v$)은 매우 중요하며, 한계유속은 수심 y와 관계가 있다. 실제로 유속과 수심은 서로 연관성이 있으며, 수로바닥 및 사면에서 전단응력, 유속, 동수반경 그리고 조도계수와 관련된 식 (14)와 같이 Manning 공식으로 나타낼 수 있다.

$$\tau_m = \gamma_w n^2 \frac{v^2}{R^{1/3}} \quad \cdots\cdots (14)$$

식 (14)는 $\tau_m = 0.75\,\gamma_w Ri$ 처럼 평균 $\tau$를 표현하면서 얻을 수 있으며, 경사 $i$는 Manning 공식의 마찰경사와 같다.

### 나. 유속에 의한 안정성 실험

1) 유속과 전단응력

Table 6과 Fig. 6은 식 (14)의 관계들을 나타냈으며, Fig. 6에서 직선은 조도계수 $n$=0.025라는 가정 하에 결정되었다. 실험에서 얻은 결과는 식 (14)의 이론적인 값과 매우 일치하고 있음을 보여주고 있다. 식(14)는 유속과 전단응력은 동수반경과 반비례하는 것을 알 수 있다. 또한 주어진 동일 유량조건하에서는 전단응력은 유속과 깊은 관계가 있고 수심과는 별로 관계가 없음을 알 수 있다. 전단응력이 주어진 유속에 대해서 돌망태 매트리스나 사석 호안공을 안정화시키는데 제어하는 요소가 됨으로, 수심이 커질 때 전단응력의 감소로 인하여

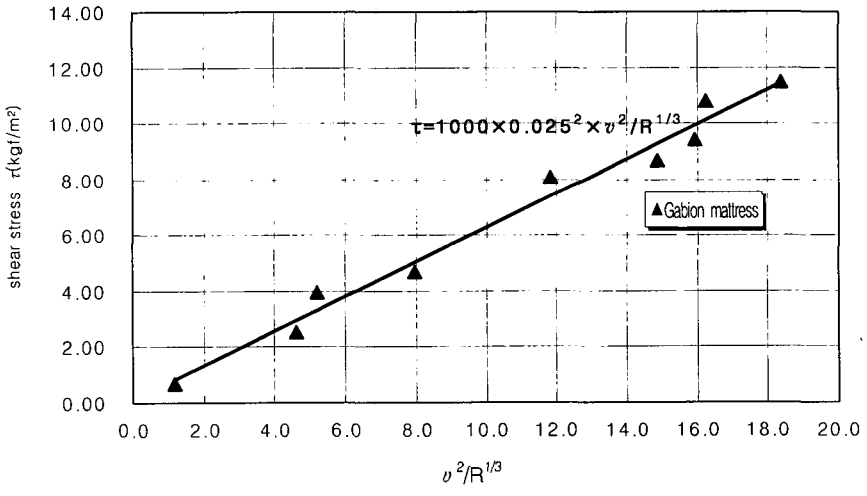



**Fig. 6 Relationship between shear stress, velocity and hydraulic radius**

Table 6 Relationship between shear stress, velocity and hydraulic radius

| $v^2 / R^{1/3}$ | Shear stress( $\tau$, kgf/m$^2$) |
|---|---|
| 1.18 | 0.68 |
| 4.61 | 2.52 |
| 5.19 | 3.94 |
| 7.96 | 4.67 |
| 11.83 | 8.08 |
| 14.89 | 8.70 |
| 15.94 | 9.42 |
| 16.26 | 10.78 |
| 18.38 | 11.47 |

안정성은 증가하게 될 것이다. 동일 유량조건에서는 돌망태 매트리스 호안공의 안정성은 일반적인 패턴을 따른다고 가정하고 빠른 유속과 상대적으로 얕은 수심의 환경하에서, 깊은 수심에서 보다 더 큰 한계상황을 만든다. 돌망태 매트리스와 사석 구조물의 안정성은 주로 유속에 영향을 많이 받고 수심의 영향을 적게 받으며, 이들 구조물에서 주어진 동일 유량조건하에서는 유속과 수심의 상대적 효과는 약 6:1이다.

따라서 호안용 매트리스는 유속조건과 관계없이 변화하지 않고 돌망태 매트리스 하류부의 유속은 돌망태 매트리스 두께에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 흐름이 돌망태 매트리스 표면과 평행이 될 때만 적용이 된다. 돌망태 매트리스와 필터의 경계면에서 유속은 동수반경이 대략 자갈 또는 돌 중앙의 1/2이고 Manning의 조도계수 $n$은 0.025을 가진다고 추정한 Manning 공식을 이용하여 개략적으로 결정할 수 있다.

2) 자갈크기와 한계유속

Table 7과 Fig. 7은 중간 채움재의 크기에 대한 사석과 매트리스 호안공의 한계유속 $v_c$를 나타냈다. 동일한 유속에 대해서 전 절에서 설명한 바와 같이 사석과 돌망태 매트리스 호안공의 두께는 동일 유량조건하에서 얕은 수심조건에서도 깊은 수심조건과 동일한 안정성을 얻기 위해서는 사석과 돌망태 매트리스 호안공의 두께가 커져야 한다. 전 절에서 언급된 사석과 매트리스 호안공의 Shield 계수를 근거로 결정된 사석과 돌망태 매트리스 호안공의 초기거동에 대한 한계유속은 Fig. 7에서 도식화되었다. 이 그림은 돌망태 매트리스의 철망이 자갈 및 돌을 묶어줌으로써 채움재의 안정성을 증

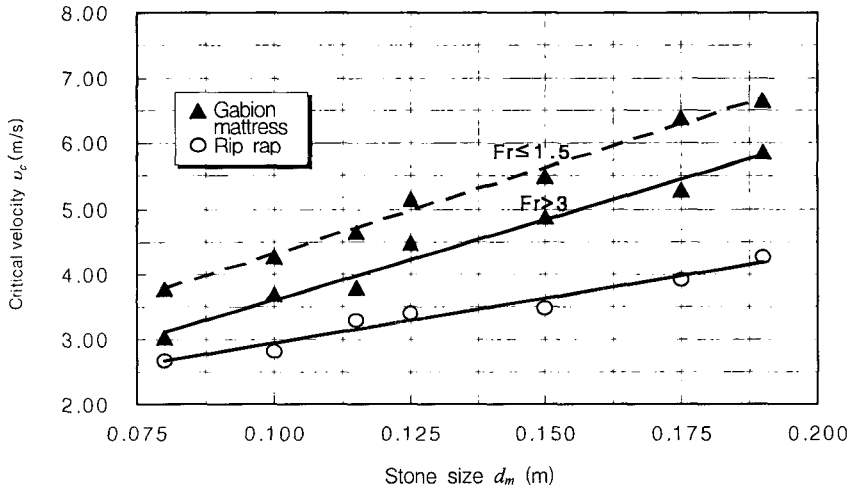



Fig. 7 Critical velocity $v_c$ that initiates stone movement as a function of their size

Table 7 Critical velocity $v_c$ that initiates stone movement as a function of their size

| Stone size ( $d_m$ m) | Critical velocity( $v_c$, m/s) | | |
|---|---|---|---|
| | Mattress | | Rip rap |
| | Fr≤1.5 | Fr>3 | |
| 0.080 | 3.76 | 3.00 | 2.60 |
| 0.100 | 4.26 | 3.67 | 2.81 |
| 0.115 | 4.64 | 3.78 | 3.23 |
| 0.125 | 5.13 | 4.48 | 3.40 |
| 0.150 | 5.48 | 4.87 | 3.48 |
| 0.175 | 6.38 | 5.27 | 3.91 |
| 0.190 | 6.60 | 5.87 | 4.20 |

가시킨다는 것을 알 수 있다. Fig. 7은 0.075~0.19 m 크기의 자갈 또는 돌을 움직이게 하는 유속은 사석 호안공의 경우 대략 2.60~4.20 m/s, 돌망태 매트리스 호안공인 경우 3.00~6.60 m/s까지 견딜 수 있음을 보여주고 있다.

동일한 크기의 자갈 또는 돌이 주어진다면 돌망태 매트리스 호안공은 사석 호안공보다 더 큰 유속에서도 저항할 수 있으며, 동일한 유속이 주어진다면 돌망태 매트리스 호안공은 사석 호안공보다 요구되는 두께가 더 적어질 수 있다. Table 7과 Fig. 7은 돌망태 매트리스 호안공 두께에 따른 한계유속 $v_c$을 나타냈으며, 수로의 흐름이 Fr≤1.5 및 Fr>3.0일 때, 실험에서 사용되는 매트리스에 의해서 저항하는 자갈크기 ( $d_m$)에 따른 한계유속을 나타냈다.

Table 8 Critical velocity that initiates stone movement as a function of gabion mattress thickness

| Mattress thickness ( $t$, m) | Critical velocity( $v_c$, m/s) | |
|---|---|---|
| | Fr≤1.5 | Fr>3 |
| 0.15 | 4.02 | 3.38 |
| 0.23 | 4.22 | 3.85 |
| 0.30 | 4.77 | 3.95 |
| 0.45 | 5.01 | 4.29 |

3) 돌망태 매트리스 두께와 한계유속

Table 8 및 Fig. 8은 돌망태 매트리스 호안공의 초기거동을 일으키는 한계유속과 돌망태 매트리스 두께에 대해서 도식화하였으며, 호안용 돌망태 매트리스 두께는 한계류 또는 상류(Fr≤1.5)에 대한

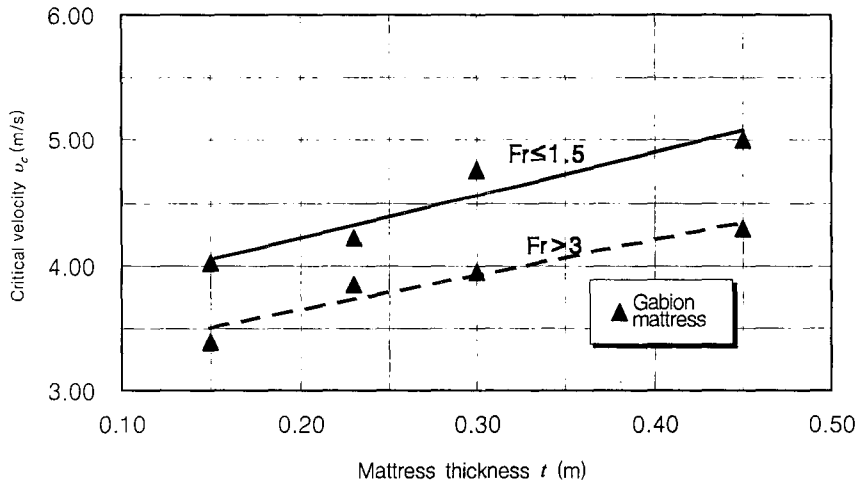



Fig. 8 Critical velocity that initiates stone movement as a function of gabion mattress thickness

돌망태 매트리스 두께와 동일한 안정성을 얻기 위해서는 아주 큰 사류(Fr>3)에서는 한계유속이 작아져야 됨을 알 수 있었다. 본 연구에서 결정된 다양한 돌망태 매트리스 호안공 두께는 동일한 한계유속에 대하여 상류(Fr≤1.5)보다 사류(Fr>3)에서 더 큰 돌망태 매트리스 호안공 두께가 요구되고 수로의 흐름이 Fr≤1.5 및 Fr>3.0일 때, 돌망태 매트리스 호안공 두께에 따른 새로운 한계유속을 이용함으로써 돌망태 매트리스 호안공의 두께를 크게 줄일 수 있음을 알 수 있었다.

Fig. 8에서 돌망태 매트리스 호안공이 한계류 또는 상류(Fr≤1.5)와 사류(Fr>3)에 대해서 Shield 계수 돌망태 매트리스 $C^*$=0.10, 사석 $C^*$=0,047 값을 이용하여 결정된 사석과 돌망태 매트리스 호안공의 초기거동에 대한 한계유속을 나타냈으며, 돌망태 매트리스 철망이 채움재를 묶어줌으로서 안정성을 증가시킴을 알 수 있다.

4) 호안공의 두께와 한계유속

Table 9과 Fig. 9는 사석과 돌망태 매트리스 호안공에서 주요 재료인 자갈 또는 돌의 크기를 다르게 하여 사용될 때 허용유속에 대해서 실험한 결과를 나타냈다. 돌망태 매트리스 호안공의 경우 사석 호안공보다 거의 2배 이상 심지어 3~4배까지 견딜 수 있음을 알 수 있다. 사석과 돌망태 매트리스 호안공 사용에서 돌망태 매트리스를 사용하면 25~30%의 절약효과가 있다는 것을 알 수 있으며, 더욱이 사석 호안공과 비교하여 돌망태 매트리스 호안공의 수중설치는 적어도 50%의 절약효과가 있다는 것을 알 수 있다.

**Table 9 Thickness of gabion mattress revetment and rip rap revetment as a function of current velocity**

| Revetment thickness ($t$, m) | Critical velocity( $v_c$, m/s) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Rip rap | | Gabion mattress | |
| | $t=1.5\,d_m$ | $t=2.0\,d_m$ | Large stone | Small stone |
| 0.15 | 1.88 | 1.57 | 4.01 | 3.15 |
| 0.23 | 2.28 | 2.14 | 4.34 | 3.77 |
| 0.30 | 2.79 | 2.21 | 4.94 | 3.95 |
| 0.45 | 3.17 | 2.74 | 5.44 | 4.64 |

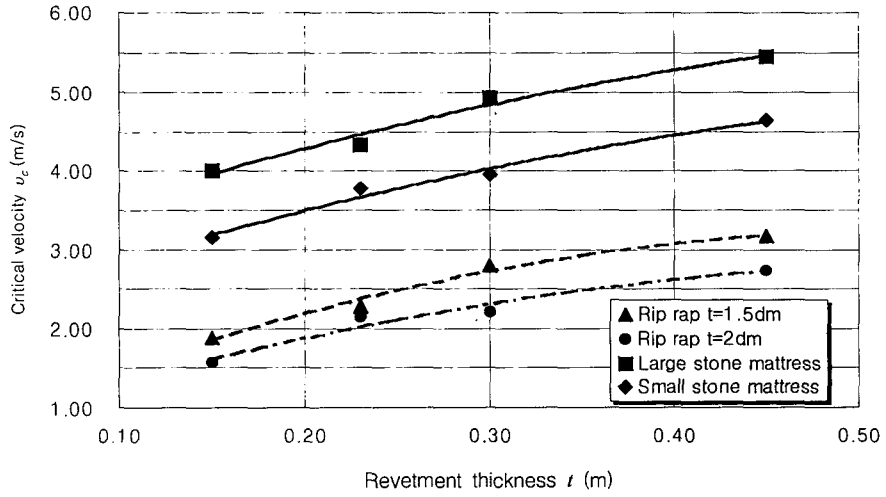



**Fig. 9 Thickness of gabion mattress revetment and rip rap revetment as a function of current velocity**

## 3. 변형효과의 평가 실험

### 가. 변형효과의 검토

전단응력이 초기거동조건의 한계치에 도달할 때, 철망 내의 자갈 또는 돌은 Fig. 10과 같이 돌망태 매트리스 호안공의 채움재 일부가 하류측으로 이동한다. 만약 전단응력이 더욱더 증가하면 다음 두 가지 중의 한 가지 현상이 발생될 것이다. 먼저, 돌망태 매트리스 아래의 바닥 흙이 드러나게 되면 호안공이 그 효력을 상실하게 된다. 다음으로, 철망이 구속력을 발휘할 수 있는 강도의 범위 내에서 새로운 평형상태에 도달하게 될 것이다. 돌망태 매트리스에 의한 보호의 정도는 돌망태 매트리스 아래에서 유속이 그다지 크게 변화지 않기 때문에 바닥 흙이 드러나지 않는 한 변형 후에도 변화는 발생되지 않는다.

변형의 정도를 추정하기 위해서 매개변수 $\Delta z/d_m$가 사용되었다. 여기서, $\Delta z$는 Fig. 10에서 돌망태 매트리스 호안공 구간 내에 가장 높은 채움 자갈 또는 돌 표면과 가장 낮은 채움 자갈 또는 돌 표면과의 차이이며, 유효 Shield 계수로서 정의될 수 있으며, 식 (15)와 같다.

$$C_*' = \frac{\tau_m - \tau_s}{(\gamma_s - \gamma_w) d_m} \quad \cdots\cdots(15)$$

돌망태 매트리스 호안공 구간의 상류측 채움 자갈 또는 돌의 두께 감소는 $\Delta z/2$이다. 그러므로 바닥 흙이 흐름에 직접적으로 드러나지 않고 보호되기 위한 기본적인 조건은 식 (16)을 만족해야 한다.

$$\frac{\Delta z}{d_m} \le 2\left(\frac{t}{d_m} - 1\right) \quad \cdots\cdots(16)$$

여기서, $t$는 돌망태 매트리스 호안공의 두께이다.

### 나. 변형효과의 실험

$\Delta z/d_m$와 $C_*'$의 관계는 Table 9와 Fig. 11에서 곡선으로 나타냈으며, $C_*'$값이 어떤 일정한 값

**Table 10 Relationship between the deformation factor and the effective shields parameter**

| Effective Shields parameter( $C_*'$ ) | Deformation parameter( $\Delta z/d_m$ ) |
|---|---|
| 0.002 | 0.209 |
| 0.010 | 0.931 |
| 0.030 | 1.245 |
| 0.040 | 1.273 |
| 0.050 | 1.330 |
| 0.060 | 1.368 |
| 0.080 | 1.406 |
| 0.090 | 1.435 |
| 0.110 | 1.549 |

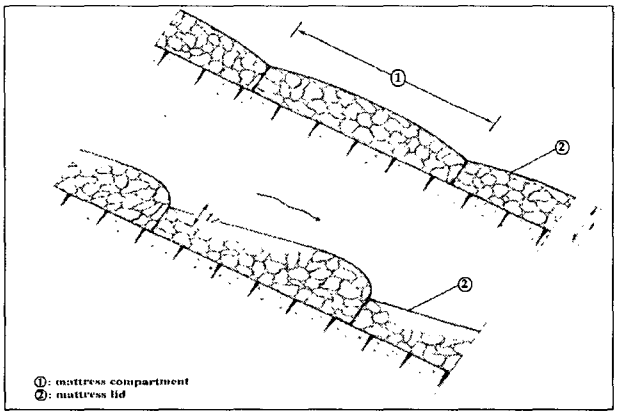


Fig. 10 General pattern of stone movement within the gabion mattress compartment

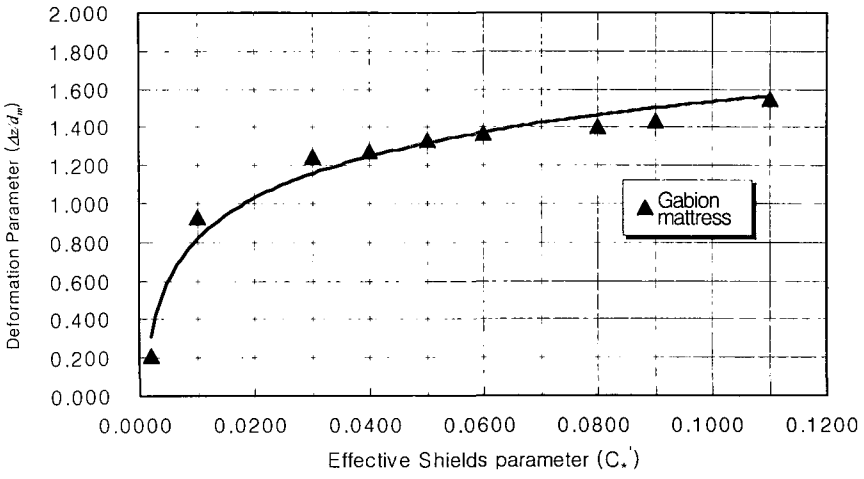



Fig. 11 Relationship between the deformation factor and the effective shields parameter

을 넘어서면 매개변수 $\Delta z/d_m$는 더 이상 증가하지 않음을 알 수 있다. 이러한 이유 때문에 돌망태 매트리스 호안공의 두께는 유효성을 잃지 않는 초기설계 조건보다 더욱 많은 불리한 조건에 저항할 수 있는 자갈 또는 돌의 크기는 약 1.8~2배이다. 전 절에서 보는 바와 같이 $\tau_m$은 $\tau_s$의 범위를 넘는 것은 허용되지만 20% 이상은 안 되며, 이것은 아무리 주어진 설계유량에서 변형을 조절하기 위해서라도 필요하다. 또한 초기설계 유량보다 더 많은 유량에서도 변형은 추정될 수 있으며, 변형은 호안공의 두께, 구간의 크기, 철망의 강도 그리고 자갈 또는 돌의 밀도에 의존하는 경향이 있다.

Fig. 11에 의하면 돌망태 매트리스 호안공에 의해 보호된 흙은 한계유속까지는 노출되지 않았으며, 심지어는 초기거동 조건보다 큰 흐름의 지배하에서도 바닥재를 보호하는 효과를 가지고 있다. 돌망태 매트리스가 매우 빠른 흐름에 지배될 때 돌망태 매트리스 구획내의 자갈 또는 돌은 하류부로 전달되고 파동에 의한 변형표면을 유발시킨다. 만일 감소된 자갈 또는 돌의 두께가 중간 채움재 크기보다 크면 돌망태 매트리스는 수로보호에 유효하다.

유속과 전단응력의 증가는 많은 양의 자갈 또는 석재를 돌망태 매트리스 상류부에서 하류부로 이동시킬 것이다. 이것은 돌망태 매트리스 위의 부분에 있는 자갈 또는 돌의 두께 감소와 하류측 부분에 있는 자갈 또는 돌 두께 증가를 가져올 것이다. 변형요소는 돌망태 매트리스 위의 크고 작은 자갈 또는 돌 표면의 아주 다른 비에 의해 정의된다. 이 비는 유효 Shield 계수에 관련되어 있다. 이 관계는 수리학적 조건과 돌망태 매트리스 강도의 기능에 대한 돌망태 매트리스의 변형을 결정하기 위하여 사용한다.

돌망태 매트리스 호안공 실험에 근거하면 돌망태 매트리스 움직임의 범위가 크지 않다면 돌망태 매트리스 변형은 특별한 돌망태 매트리스 내부의 수두변화에 큰 영향을 끼치지 않는다. 이것은 변형후의 돌망태 매트리스는 변형전 돌망태 매트리스와 비슷하게 구조물을 보호한다는 것을 보여준다. 돌망태 매트리스/필터의 경계면의 유속이 바닥흙의 안정성에 영향을 준다면 자갈필터 혹은 토목섬유/자갈필터의 혼합재는 바닥물질을 손상시키는 돌망태 매트리스/필터의 경계의 유속을 감소시키기 위해 사용해야 한다.

## V. 돌망태 매트리스와 사석 호안공 비교고찰

돌망태 매트리스와 사석 호안공은 공통적으로 자갈 또는 돌로 만들어지며, 안정성 계산은 소류력의 이론에 근거한다. 사석 호안공은 개개의 자갈 또는 돌로 만들어지는 반면에 돌망태 매트리스 호안공은 철망 내에 채워진 자갈 또는 돌로 구성된다. 이런 이유로 다음과 같은 차이점을 알 수 있다.

돌망태 매트리스 호안공의 Shield 계수는 사석 호안공의 약 2배이다. 이것은 동일한 수리학적 조건에서 돌망태 매트리스 호안공에 사용된 자갈 또는 돌의 평균크기는 사석 호안공의 1/2을 의미한다. 또한 동일한 크기의 자갈 또는 돌이 채움재로 사용될 때 허용유속에 대해서 돌망태 매트리스 호안공의 경우 사석 호안공보다 거의 2배 이상 심지어 3~4배까지 견딜 수 있다.

사석 호안공은 초기거동조건의 범위를 지나 한계조건에 도달하면 흐름에 의해 개개의 자갈 또는 돌이 분리되면서 점진적으로 파괴된다. 돌망태 매트리스 호안공의 경우는 비록 초기거동조건의 범위를 지나 한계조건에 도달할지라도 철망에 의해 개개의 자갈 또는 돌의 분리가 억제된다. 비록 변형된 돌망태 매트리스일지라도 새로운 형태의 평형을 얻을 수 있으며, 더 이상의 변형과 악조건에도 저항할 수 있다.

작은 자갈 또는 돌이 사용된 돌망태 매트리스 호안공은 수로바닥 및 사면의 흙입자에 흐르는 잔류유속은 영향을 거의 미치지 않을 뿐만 아니라 더욱 안전하다. 또한 자갈 또는 돌이나 토목섬유 필터는 잔류유속을 감소시키는 것이 가능하다. 돌망태 매트리스를 사용하면 채움재의 두께를 감소시킬 수 있으며, 이는 조도를 작게 하여 오히려 수로의 용량을 증가시킬 수 있다. 그리고 사석 호안공 설계시 기준은 최소 깊이가 0.3 m이며, 일반적으로 깊이와 자갈 또는 돌의 평균크기와의 관계는 1.5~2.0이다.

호안공이 수중에 있을 때 깊이는 50% 이상 증가시키고 수로사면 경사는 1:2 이상 되어야 하며, 사석으로 보호된 수로사면은 선단부에서 재료의 상당한 증가가 요구되고 또한 세심한 설계와 시공이 요구된다. 돌망태 매트리스 호안공은 두께가 0.15 m 정도로 매우 얇게 설치할 수 있으며, 호안공의 깊이도 증가시킬 필요가 없고 수로사면 경사를 완화시키지 않아도 사면을 안전하게 보호하는 능력이 있다. 또한 수로사면 선단부에서 호안공의 두께를 증가시킬 필요도 없다.

돌망태 매트리스나 사석 호안공 선단부에서 안정은 Fig. 12에서와 같이 호안공의 깊이를 증가시키거나 Fig. 13에서와 같이 $\Delta x$를 수평면상으로 확장시키면서 소요의 안정을 얻을 수 있다. 이것은 먼

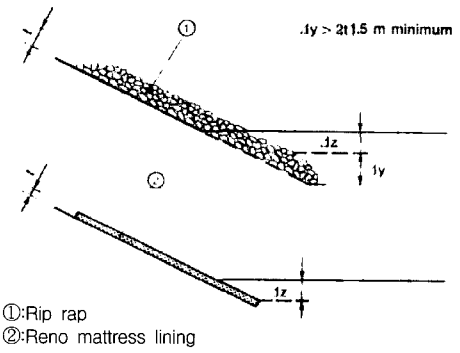



**Fig. 12 Extension of revetment bed level to expected Prosion**

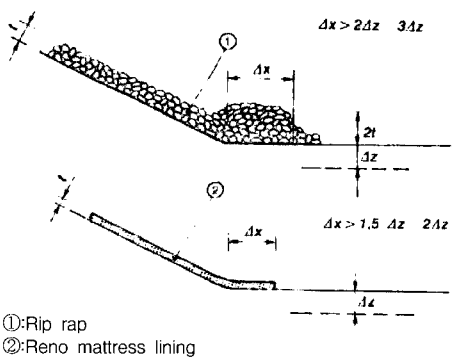



**Fig. 13 Horizontal extension of revetment at bed level to counter erosion**

저, 사석 호안공을 사용할 경우 $\Delta z$의 위치는 세굴이 일어나지 않는 깊이보다 더 낮은 곳에 위치하고 반면에 돌망태 매트리스 호안공은 다만 그 정도의 위치에서도 충분하다. 다음으로, 사석 호안공은 깊이의 증가를 요구되고 돌망태 매트리스 호안공은 더 이상 필요하지 않는다.

## Ⅵ. 결 론

수로바닥 및 사면의 안정성을 확보하기 위해 다양한 호안공법이 지금까지 개발되어 왔다. 돌망태 매트리스 호안공은 이러한 요구에 알맞은 호안공법이며, 수로바닥 및 사면의 침식을 억제하고 수로의 안정화에 사용되고 있다. 돌망태 매트리스의 철망은 세굴이 발생되는 수로에서도 변형에 유연하게 적응하는 유연성을 가지고 있으며, 철망으로 조직된 구조물이기 때문에 변형 또는 유수력에도 강도를 발휘할 수 있는 특수성을 지니고 있다. 한편 돌망태 매트리스는 다공체이기 때문에 침투성이 있어서 부력으로 인한 양력에 유효하게 대응할 수 있으며, 식물의 생장을 촉진시켜 식생수로를 쉽게 형성시키는 친생태성 구조물이다. 따라서 돌망태 매트리스 호안공에 대한 수리이론 및 계산과 수리실험에 의한 안정성 검토와 돌망태 매트리스 호안공의 수리학적 저항특성을 비교 고찰한 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 돌망태 매트리스 호안공의 Shield 계수는 사석 호안공의 약 2배에 달하며, 이것은 동일한 수리학적 조건에서 돌망태 매트리스에 사용된 자갈 또는 돌의 평균크기가 사석의 1/2을 의미한다. 또한 동일한 크기의 자갈 또는 돌이 채움재로 사용될 때 허용유속에 대해서 돌망태 매트리스 호안공의 경우 사석 호안공보다 거의 2배 이상 심지어 3~4배까지 견딜 수 있다.

2) 사석 호안공은 초기 거동조건의 범위를 지나 한계조건에 도달하면 흐름에 의해 각각의 자갈 또는 돌이 분리되면서 점진적으로 파괴된다. 돌망태 매트리스 호안공의 경우는 비록 초기 거동조건의 범위를 넘어 한계조건에 도달할지라도 철망에 의해 각각의 자갈 또는 돌의 분리가 억제됨을 알 수 있었다. 비록 변형된 돌망태 매트리스일지라도 새로운 형태의 평형을 얻을 수 있으며, 더 이상의 변형과 악조건에도 저항하고 있음을 확인할 수 있었다.

따라서 수로바닥 및 사면의 안정은 돌망태 매트리스 호안공이 가장 보편적인 공법이라 할 수 있으며, 더욱이 이것은 다공의 구조로서 하천생태계를 배려하고 수로를 안정화시키는 적절한 방법이라 할 수 있다.

## 감사의 글

이 논문은 2001학년도 영남대학교 학술연구조성비 연구조교 지원에 의해서 수행되었으며, 한편 (주)선비공영의 제품지원과 실험장비에 의해서 실험이 수행되었는바, 이에 감사드립니다.

## References

1. Agostini, R., Papetti, A. (1978). Flexible Linings for Canals and Canalised Water Courses. Tabulated Dimensions for Trapezoidal Channel Sections. Bologna, S. P. A. *Officina Maccaferri*, 155 p.
2. Burroughs, M. A. (1979). Gabions : Economical, Environmentally Compatible Erosion Control, *Civil Engr.*, (ASCE), 49, 1, 58-61.
3. California State Highway Commission. (1922). Rock-and-Wire Deflectors Protect Banks Against Floods. *Eng.-News Record.*
4. Checking River Erosion in Columbia. (1973). *World Construction*, Vol. 26, No. 6.
5. Simons, D. B., Chen, Y. H. and Swenson, L. J. (1983). Hydraulic Test to Develop Design Criteria for the Use of Reno Mattresses, *Officine Maccaferri Technical Report*, Fort Collins, Colorado.

6. Simons, D. B., Hi, R. H. and Liang, W. S. (1981). Design Guidelines & Criteria. Channels & Hydraulic Structures on Sandy Soils, *Officine Maccaferri Technical Report*, Fort Collins, Colorado.
7. Fiuzat, A. A., Chen, Y. H. and Simons, D. B. (1982). Stability Tests of Rip-Rap in Flood Control Channels, *Officine Maccaferri Technical Report*, Fort Collins Colorado.
8. Maynord, S. T. (1995). Gabion-mattress Channel Protection Design, *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 121(7).
9. Agostini, R., Cesario, L., Ferraiolo, F. and Papetti, A. (1988). Flexible Gabion and Reno Mattress Structures in River and Stream Training Works, *Officine Maccaferri Technical Report*, Itally.