

식생강화를 위한 다공성 소일 블록의 치수안정성 해석

박상우+ · 안태진* · 안상호 · 권순현

서남대학교 토목공학과

* 환경대학교 토목안전환경공학과

Analysis on Dimensional Stability of Porosity Soil Block for Vegetation Reinforcement

Sang Woo Park⁺ · Tae Jin Ahn^{*} · Sang Ho Ahn · Soon Hyun Kwon

Department of Civil Engineering, Seonam University

^{*} Department of Civil Safety Environment Engineering, Hankyong National University

요 약

본 연구에서는 자연친화적인 호안 블록의 현장 적용시 충분한 기술적인 검증과 구조적, 수리학적 안정성 검토 등이 제대로 이루어지지 않고 있는 문제점을 개선하기 위해 생태적 기능을 확보할 수 있는 식생강화를 위한 다공성 소일 블록에 대하여 수리적 거동 변화에 따른 수리학적 안정성을 검토하였다. 대상구간을 선정하여 수치해석 및 수리모형실험을 실시하였으며 수치해석을 위해 1차원 수치해석모형인 HEC-RAS와 2차원 수치해석모형인 RMA-2를 이용하여 1, 2차원 수치해석을 실시하였고, Froude 상사법칙을 적용하여 식생 유무에 따른 축적된 수리모형실험을 실시하였다. 수리모형실험의 경우 실험결과에 대한 타당성을 위해 축적된 수리모형실험의 유속 및 소류력 결과를 원형으로 환산하여 1, 2차원 수치해석결과와 동일한 조건하에 비교·검토하였고 그 결과 비교적 일치된 결과가 나타난 것으로 확인되었으며 이에 따른 원형으로 환산된 소류력 결과를 기존 연구결과인 호안의 허용소류력과 비교함으로써 블록의 수리학적 안정성을 제시하였다.

핵심용어 : HEC-RAS, RMA-2, 수치해석, 수리모형실험, Froude 상사법칙, 소류력, 허용소류력

Abstract

In this Research, in order to improve problems of not enough technical validation and structural and hydraulic stability evaluation when nature-friendly revetment block is applied to field, hydraulic stability evaluation according to hydraulic behavior change of porosity soil block for vegetation reinforcement that secures ecological function was reviewed. By selecting object section, numerical analysis and hydraulic model experiments were performed; for numerical analysis, by using 1-dimensional numerical analysis model HEC-RAS and 2-dimensional numerical analysis RMA-2, one-dimensional(1D) and two-dimensional(2D) numerical analysis were performed; by applying Froude's similarity law, reduced-scale hydraulic model experiments according to vegetation existence were performed. In hydraulic model experiment, for validity of experiment result, the result of velocity and tractive force of reduced-scale hydraulic model experiments was converted to prototype so that it can be compared and reviewed under the same condition of one-dimensional(1D) and two-dimensional(2D) numerical analysis result; as a result, it was confirmed that comparatively united result appeared, and by comparing prototype-converted tractive force result with revetment's allowable tractive force coming from an existing research, block's hydraulic stability was suggested.

Keywords : Allowable tractive force, Froude's similarity law, HEC-RAS, Hydraulic Model Experiments, RMA-2, Numerical analysis, Tractive force,

1. 서 론

그 동안 우리나라 하천정비의 경우 호안재로는 제방

의 관리적 측면에서 치수성과 견고성을 증대시키기 위해 콘크리트 호안블록을 주로 이용하여 왔다. 그러나 최근에는 하천에 대한 환경성과 생태적 기능이 강조되면서

+ To whom correspondence should be addressed.
hydropsw@hanmail.net

자연친화적 식생 호안블록이 많이 개발되어져 이용되고 있으나 식생 호안블록들에 대한 구조적, 수리학적 안정성 검토 등이 제대로 이루어지지 않고 이용되는 실정이다. 이에 본 연구에서는 식생강화를 위한 다공성 소일블록에 대하여 수리적 거동 변화에 따른 수치해석과 수리모형을 통해 수리학적 안정성을 분석하고자 한다.

수치해석은 국내의 경우 적절한 설계 인자를 제시하여 하천에 적용하기 위한 것이 요구되고 있으며 평균유속과 평균 소류력을 기초로 이루어지고 있다. 이에 대한 호안의 안정성과 관련된 연구를 살펴보면 일반적으로 하천의 수리거동 특성을 해석하는데 RMA-2모형이 널리 사용되어 지고 있으며 기존의 연구사례로는 No. (2004)은 모형을 적용하여 만곡부에서의 호안공 설계시 호안공정의 적용여부에 대한 수리학적 역학관계를 분석하였다. 그리고 Kim et al. (2008)은 저수호안에 작용하는 외력들에 의한 호안의 안정성을 분석하였으며, Lee et al. (2008)은 광범위한 수리모형실험의 대안에 대한 선택의 폭을 좁히기 위해 모형을 활용하여 수리모형실험의 규모 및 대안을 결정하는 방법을 제시하였다.

수리모형실험은 상사법칙에 따라 원형에 축척비를 적용하여 만든 모형에서 실물과 같은 수리현상을 재현하고, 그 결과가 목적에 맞는지 검토하는 방법으로써 수치해석적인 답을 얻기 어려운 경우에 실제적인 실험을 통하여 그 답을 얻을 수 있게 해준다. 수리모형실험에 관한 연구는 Moon. (1995)은 사석크기에 따라 사행하도에 대한 호안의 적용에 대하여 분석하였고 Kim et al. (2006)은 수리모형실험에 의한 블록의 전면하부의 세굴방지공으로서의 안정성 및 세굴방지 효과를 검토하였으며 Lee. (2008)은 콘크리트 식생블록에 대해 수리모형실험을 실시하여 수리적 안정성을 분석하였다.

본 연구에서는 식생강화를 위한 다공성 소일블록이 시험 시공된 전라북도 정읍시의 갈수천에 대하여 1, 2차

원 수치해석 및 수리모형실험을 실시하였다. 1차원 수치해석에는 HEC-RAS 모형을, 2차원 수치해석에는 RMA-2 모형을 적용하여 유속 및 소류력을 산정하였으며, 수리모형실험에서는 Froude 상사법칙을 적용하여 식생 유무에 따른 수리량을 산정하였다. 특히, 본 연구에서는 수리모형실험의 타당성을 제시하기 위해 축척된 수리모형실험의 결과를 대상구간의 원형크기로 환산하여 1, 2차원 수치해석 결과와 동일한 조건하에 비교·검토하였으며, 이에 따른 원형으로 환산된 수리모형실험의 소류력 결과를 기존 연구결과인 호안별 허용소류력과 비교함으로써 블록의 수리학적 안정성을 검토하였다.

2. 다공성 소일 블록의 특성

자연친화적 하천 조성을 위한 다공성 소일 블록은 식생 활착이 어려운 기존 콘크리트 호안의 단점을 보완하여 생태계의 재생을 촉진시키는 친환경적인 생태호안블록이다. 다공성 소일 블록은 식생의 생육에 저해되는 콘크리트의 알칼리성을 줄이기 위해 pH 저감에 효과가 있는 황토결합제인 고로슬래그와 소성황토를 사용하고, 천연 섬유 보강재를 사용하여 연속공극을 증진시켜 식물의 뿌리가 블록을 통해 제방 원지반까지 도달하도록 함으로써 블록과 제방이 일체화를 가져올 수 있다. 특히, 섬유의 가교효과는 일반 다공성 블록의 약점인 강도 감소로 인한 블록의 파괴를 방지 및 억제시키고 블록의 공극을 확대시켜 식물의 생육환경을 확보할 수 있는 특성을 가지고 있으며, 블록 설치 후 블록의 전면녹화로 인해 홍수시 토사가 유실되지 않도록 하여 하천 재해예방에 효과적이다. 기존 식생블록에 대한 다공성 소일블록의 차별성은 Table 1과 같으며, 다공성 소일블록의 외형 및 특성은 Fig. 1~3과 같다.

Table 1. Differentiations of Porosity Soil Block

| Division | Problems of Existing Revetment Block | Differentiations of Porosity Soil Block |
|------------------|--|---|
| Selected materia | - Concrete block used with normal Portland cement | - Block with a green technology which reduced 50% of the use of cement using Portland blast furnace cement and red clay |
| Maintenance | - Occurrence of the separation of a block owing to stream torrent during flood - Occurrence of the withered aquatic plants owing to the lack of a vegetation space within the block | - The ground unified with the block owing to aquatic plant rooting on the original ground - Additional maintenance unnecessary owing to the creation of vegetation |
| Environment | - Concrete revealed due to partial forestation - Sediment occurred through the existence of a hole | - Ecologically perfect introduction of vegetation through the entire forestation |
| Ecology | - Withering of nearby hydrobios with strong alkali caused by the use of cement | - Ecological environment of microorganism and small insects created by the reduction of pH - Offering a biological habitat |

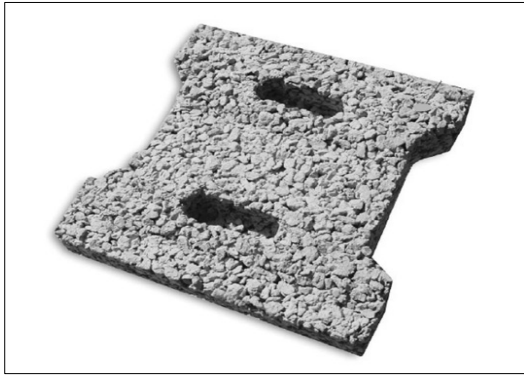


Fig. 1. Shape of Prosioty Soil Block

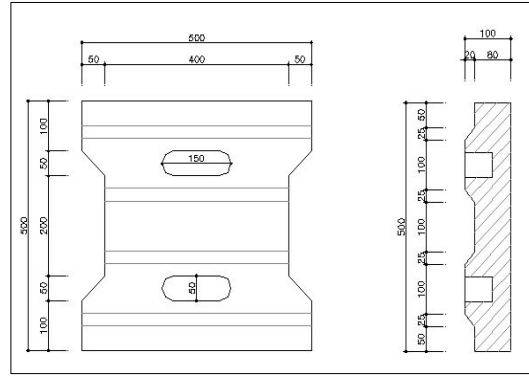
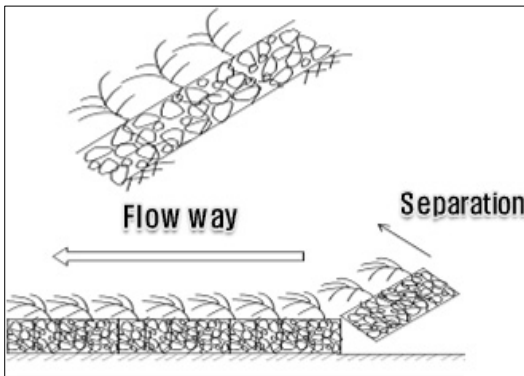
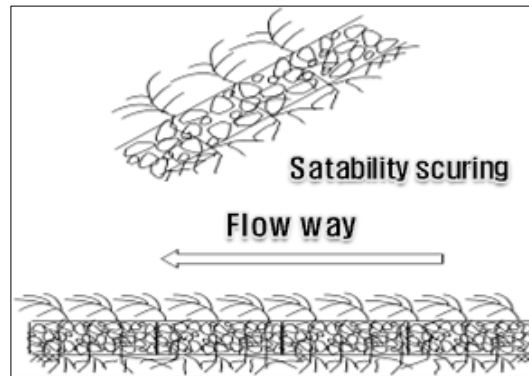


Fig. 2. Cross Section of Prosioty Soil Block



(a) Existing Revetment Block



(b) Prosioty Soil Block

Fig. 3. Characteristics of Prosioty Soil Block

3.1 연구 대상하천

본 연구의 대상하천인 갈수천은 Fig. 4와 같이 동진강 수계에 속해 있는 고부천의 지류하천인 지방하천이다. 수지형의 형상을 갖는 갈수천은 유역 면적이 9.48km², 유로연장이 6.95km이며, 유역의 대부분이 평야로 이루어져

농경지로 이용되고 상류부는 임야로 이용되고 있다. 본 연구의 대상구간은 Fig. 5와 같이 갈수천의 하류부에 속해있는 단산천 합류점 200m 구간으로 하도경사 조건과 수로폭 등 종합적인 여건을 고려하여 다공성 소일블록이 시공된 구간이다.

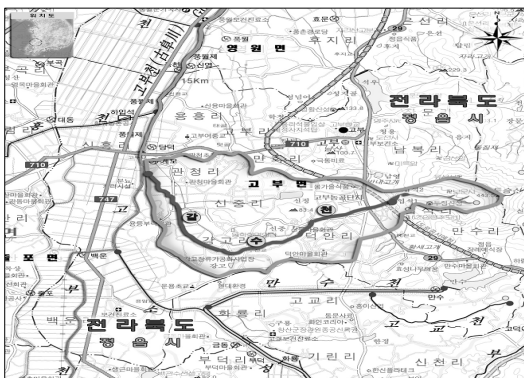


Fig. 4. Study range and the location map

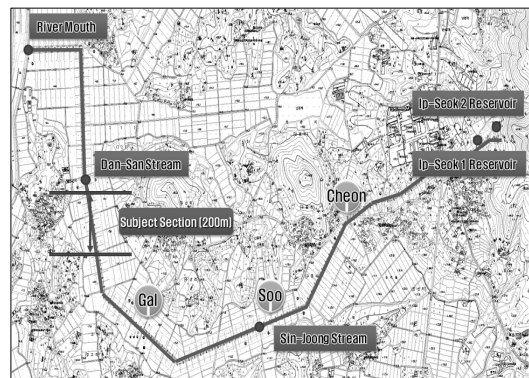


Fig. 5. Determination of study subject section

3.2 수치해석

3.2.1 1차원 수치해석

1차원 수치해석을 위해 HEC-RAS 모형을 이용하였고

갈수천 하천기본계획(전라북도, 2011)의 측량성과를 이용하여 횡단면 자료를 구축하였다. 고부천 합류부를 기점으로 No.0~No.111+23단면까지 Fig. 6과 같이 하도모형을 구축하였으며 이중 분석에 적용된 대상구간은 No.19~No.22까지 200m구간을 적용하였다. 분석에 필요

한 상·하류단 경계조건은 다음 Table 2와 같으며 홍수량 산정을 위해 Table 3 및 Fig. 7과 같이 주요 지류하천이 유입되는 단산천, 신춘천 합류전 지점과 치수적으로 중요한 구중교 지점, 입석2교 지점 등 상류 입석1저수지 및 하구를 포함 총 6개 지점을 선정하였으며 갈수천 하천기본계획(전라북도, 2011)의 홍수량 산정을 고려한

100년빈도 홍수량을 적용하였다. 기점홍수위는 고부천 하천기본계획(전라북도, 2009)에 제시된 계획홍수위를 고려하여 100년빈도 기점홍수위를 적용하였고 조도계수의 경우 식생활찰 유, 무에 따른 최소 및 최대의 조도계수를 가정하여 $n=0.02, 0.03, 0.04$ 의 조건변화를 주어 유속 및 소류력에 대한 수치해석을 실시하였다.

Table 2. Upstream and Downstream boundary condition

| Stream | 100-year Return Period Discharge (m ³ /s) | 100-year Return Period High Water Level (m) | Note |
|---------|--|---|------|
| Gal-Soo | 62 | 6.13 | |

Table 3. Flood estimation for point of each

| Stream | Point | Mark | Cross Section (No.) | Basin Area (km ²) | Stream Length (km) |
|---------|---------------------------------------|------|---------------------|-------------------------------|--------------------|
| Gal-Soo | River Mouth | KS0 | 0+00 | 9.48 | 6.95 |
| | Point of tributary (Dan-San Stream) | KS1 | 17+20 | 6.62 | 6.08 |
| | Point of tributary (Sin-Joong Stream) | KS2 | 67+45 | 3.40 | 3.56 |
| | Goo-Joong Bridge | KS3 | 85+34 | 2.11 | 2.67 |
| | Ip-Seok 2 Bridge | KS4 | 102+06 | 1.37 | 1.85 |
| | Ip-Seok 1 Reservoir | KS5 | 111+23 | 0.91 | 1.38 |

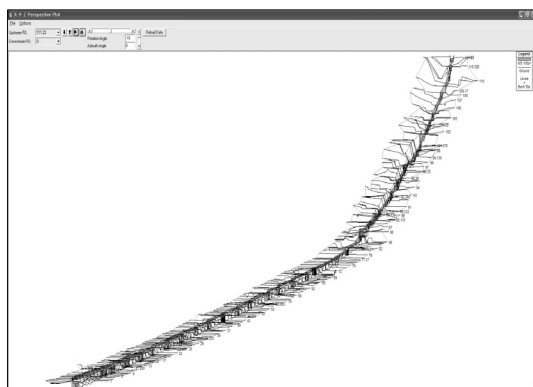


Fig. 6. Construct of HEC-RAS model in Gal-Soo Stream

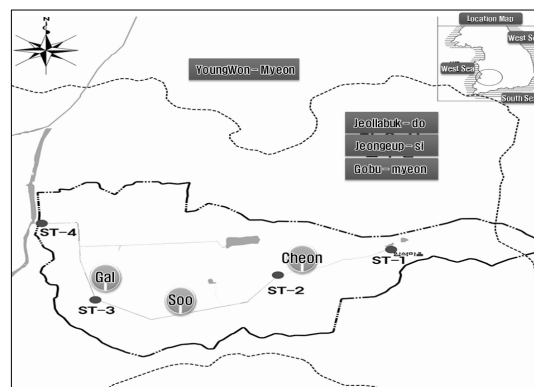


Fig. 7. Stations of flood estimation

3.2.2 2차원 수치해석

본 연구에서는 2차원 수치해석을 위해 RMA-2 모형을 이용하였고 갈수천 하천기본계획(전라북도, 2011)의 측량성곽을 이용하여 유한요소망을 구축하였으며 유한요소망 생성 구간은 No.19~No.23으로 유한요소망의 격자점 2,851개, 요소망은 900개로 구성하였고 그 결과는 다음 Fig. 8과 같다. 경계조건인 경우 1차원 수치해석과 같이 100년 빈도의 홍수량과 기점 홍수위를 적용하였으며

조도계수는 $n=0.02\sim0.04$ 값을 적용하여 분석하였다.

RMA-2에 의한 2차원 해석의 경우 1차원과 다른 변수 난류확산계수라는 변수를 요구하게 되는데 난류확산계수는 일반적으로 계산과정 중에서 안정성에 대한 문제가 발생하지 않는다면 가능한 낮은 값을 유지해야 정확도가 높은 결과를 얻을 수 있다. 일반적인 난류확산계수의 범위는 Table 4와 같으며 본 연구에서는 대상유역의 특성을 고려하여 $4000\sim10000N^2s/m^2$ 의 난류확산계수를 적용하였다.

Table 4. Range of turbulent diffusion coefficient

| Flow Condition | ε Value | |
|-----------------------------------|-----------------------|---------------------|
| | (lb/ft ²) | (N/m ³) |
| Shallow Water Flow(Low Velocity) | 5 ~ 25 | 240 ~ 1200 |
| Shallow Water Flow(High Velocity) | 25 ~ 50 | 1200 ~ 2400 |
| Deep Estuary(Small Mesh) | 50 ~ 100 | 2400 ~ 4800 |
| Deep Estuary(Large Mesh) | 200 ~ 300 | 9500 ~ 14400 |
| Tide level for wet/dry conditions | 100 ~ 200 | 4800 ~ 9500 |
| Structure for flow | 1 ~ 5 | 50 ~ 240 |

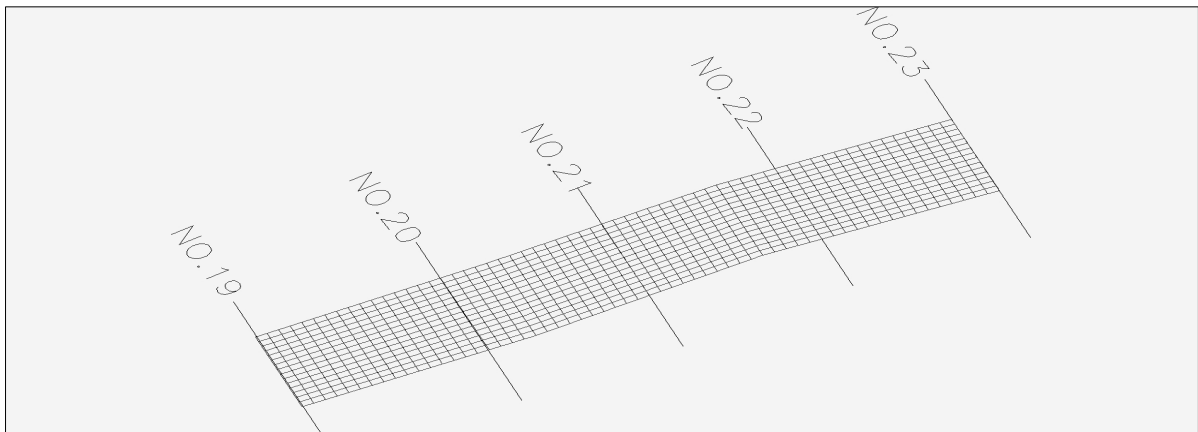


Fig. 8. Elements of the subject section in Gal-Soo Stream

3.3 수리모형실험

모든 모형실험은 원형과 모형 사이의 수리학적 상사성을 근거로 실행되어야 올바른 의미를 가질 수 있다. 일반적으로 자연 하천에서의 흐름은 중력 및 관성력의 지배를 받게 되며, 평균유속이 증가할수록 관성력의 영향의 증가하나 자연 하천에서 저류표면을 갖는 흐름은 대부분 중력에 의한 영향을 받게 되므로, 이때 Froude 상사법칙을 적용할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 대

상구간과 축소모형의 Froude 수를 같게 하는 Froude 상사법칙을 적용하여 실험을 수행하였다.

3.3.1 개수로 및 호안모형 설치

본 연구에서는 수리모형실험을 위해 유량공급능력, 측정의 용이성, 실험장의 크기 등을 종합적으로 고려하여 대상구역인 갈수천의 적용구간에 Froude 상사법칙을 적용한 1/10의 축척된 모형을 제작하였으며 이때 각 부분 제원은 Table 5와 같다.

Table 5. Reduced hydraulic model experiments data

| Parameters | Prototype (Gal-Soo Stream) | Model | Scale | Note |
|------------------------------|-------------------------------|----------------|-----------------------|------|
| Length(m) | 200 | 2 | 1/10 | |
| Width(m) | 20 | 2 | 1/10 | |
| Discharge(m ³ /s) | 63 | 0.2 | (1/10) ^{5/2} | |
| Slope of Revetment | both banks 1:3 | both banks 1:3 | - | |
| Channel Slope(m/m) | 0.002 | 0.001, 0.002 | - | |

축척된 수리모형실험은 유량공급장치가 최대 0.375(m³/s), 저류조 용량이 60(m³), 수로길이 20(m), 폭 2(m), 높이 1(m)인 개수로 실험장치에서 실시하였다. 개수로에 블록설치를 위해 Fig. 12와 같이 유사 공급이 없는 상태에서 제작된 블록을 개수로 양안에 1:3의 경사면에 설치하였고, Fig. 9에서 보는 바와 같이 수로의 전 구간을 철제 빔과 함께 강화플라스틱을 사용하여 유수의 흐름형

태를 외부에서도 관찰할 수 있도록 제작하였다.

축척된 블록의 제원은 Fig. 11과 같이 가로 0.1(m), 세로 0.1(m), 높이 0.02(m), 무게 0.39(kg)로 실제 식생블록의 1/5 크기로 축소되었다. 개수로에 설치된 전체 블록의 설치 넓이는 가로 0.45(m), 세로 3.0(m), 총 1.35(m²)이고 설치된 전체 블록의 개수는 560개로써 블록이 설치된 호안의 시작점과 끝점에 경사판을 설치하였다.

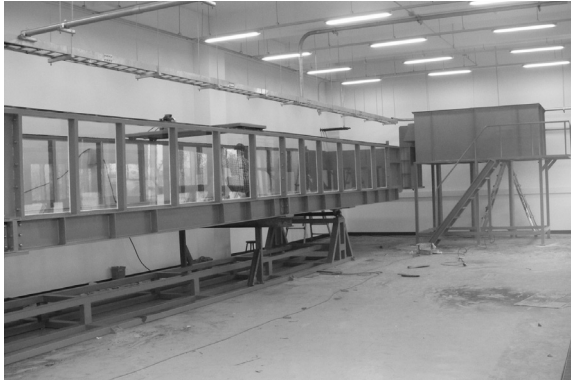


Fig. 9. Open channel test equipment

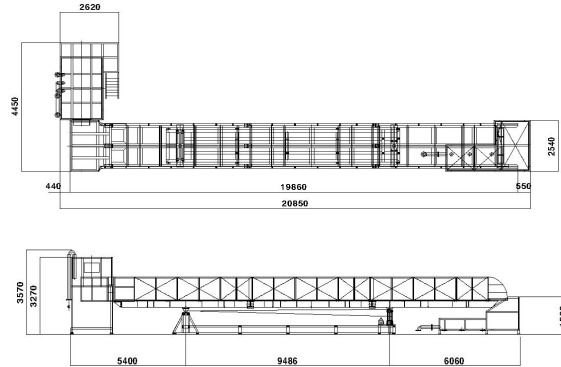


Fig. 10. Test equipment sectional view

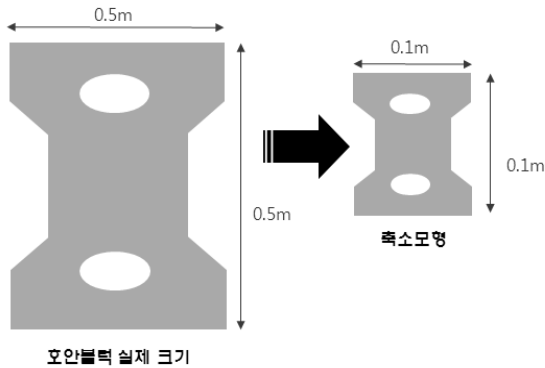


Fig. 11. Scale model picture



Fig. 12. Scale model block and vegetation installation

3.3.2 실험조건 및 방법

본 연구에서는 다공성 소일 블록의 식생의 유, 무에 따른 수리모형실험을 실시하였으며 1,2차원 수치해석에 사용된 홍수량을 Froud 상사법칙에 적용하여 Table 6과 같이 유량조건 0.2(m³/s)에 대한 수리모형실험을 실시하였다. 수로 경사조건인 경우 경사조절에 따른 유수의 변

화량을 살펴보기 위해 0.001(m/m), 0.002(m/m)의 조건으로 변화를 주어 실험을 실시하였다. 수위 및 유속을 측정하는 방법은 Fig. 13과 같이 흐름방향으로 각 블록의 중앙부를 측정하였으며, 폭 방향으로 20(cm)간격으로 측정하여 단면평균값을 이용한 평균유속, 조도계수, 소류력을 산정하였다.

Table 6. Hydraulic model experiment conditions (scale)

| Vegetation Existence | Discharge(m ³ /sec) | Channel Slope(m/m) |
|----------------------|--------------------------------|--------------------|
| Vegetation Exist | 0.2 | 0.001, 0.002 |
| None Vegetation | | |

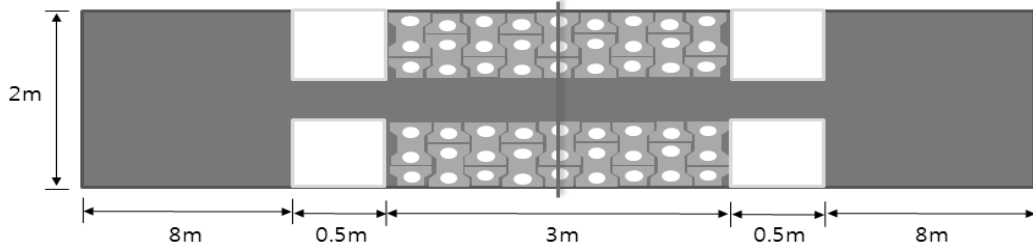


Fig. 13. Estimation positions of average flood water level of cross section and velocity

4.1 수치해석 결과

대상구간에 조도계수를 변화시켜가며 유속 및 소류력의 수리학적 특성 변화를 검토하였다. 그 결과 1차원 수치해석의 경우 Table 7과 같이 유속 및 소류력의 변화 범위는 유속 2.96~3.24(m/s), 소류력 3.28~16.79(kg/m²)

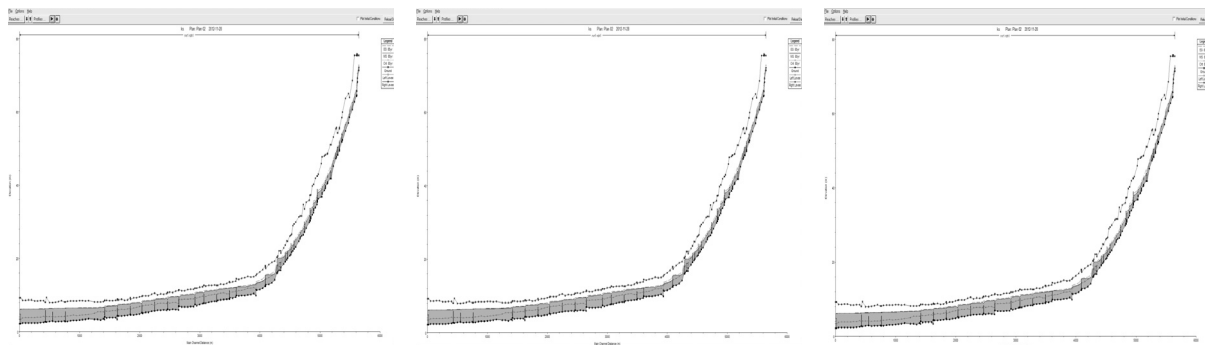
으로 조도계수의 조정에 따라 변화가 있는 것으로 나타났다. 2차원 수치해석은 1차원 수치해석 방법과 마찬가지로 조도계수의 값을 조정하면서 유속 및 소류력을 산정하였으며 그 결과 Table 8과 같이 유속 2.97~3.25(m/s), 소류력 3.29~16.80(kg/m²)의 변화가 있는 것으로 검토되었다.

Table 7. Results to 1D numerical analysis

| Cross section (No.) | Cumulative length (m) | Discharge (m ³ /s) | Numerical analysis results according to roughness coefficient | | | | | |
|---------------------|-----------------------|-------------------------------|---|------------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|
| | | | n=0.02 | | n=0.03 | | n=0.04 | |
| | | | Velocity (m/s) | Tactive force (kg/m ²) | Velocity (m/s) | Tactive force (kg/m ²) | Velocity (m/s) | Tactive force (kg/m ²) |
| 19 | 950 | 62 | 2.99 | 3.28 | 2.98 | 8.45 | 2.96 | 13.00 |
| 20 | 1,000 | 62 | 3.13 | 3.40 | 3.10 | 8.73 | 3.08 | 13.16 |
| 21 | 1,050 | 62 | 3.04 | 3.73 | 3.03 | 9.29 | 3.02 | 14.11 |
| 22 | 1,100 | 62 | 3.08 | 3.98 | 3.07 | 9.63 | 3.05 | 14.67 |
| 23 | 1,150 | 62 | 3.24 | 4.63 | 3.22 | 9.97 | 3.18 | 16.79 |

Table 8. Results to 2D numerical analysis

| Cross section (No.) | Cumulative length (m) | Discharge (m ³ /s) | Numerical analysis results according to roughness coefficient | | | | | |
|---------------------|-----------------------|-------------------------------|---|------------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|
| | | | n=0.02 | | n=0.03 | | n=0.04 | |
| | | | Velocity (m/s) | Tactive force (kg/m ²) | Velocity (m/s) | Tactive force (kg/m ²) | Velocity (m/s) | Tactive force (kg/m ²) |
| 19 | 950 | 62 | 3.00 | 3.29 | 2.99 | 8.45 | 2.97 | 13.01 |
| 20 | 1,000 | 62 | 3.15 | 3.41 | 3.11 | 8.73 | 3.09 | 13.17 |
| 21 | 1,050 | 62 | 3.09 | 3.77 | 3.06 | 9.31 | 3.04 | 14.14 |
| 22 | 1,100 | 62 | 3.11 | 3.99 | 3.09 | 9.64 | 3.06 | 14.68 |
| 23 | 1,150 | 62 | 3.25 | 4.65 | 3.23 | 9.97 | 3.19 | 16.80 |



(a) n=0.02 (b) n=0.03 (c) n=0.04

Fig. 14. Longitudinal profile maps of HEC-RAS flood level variation

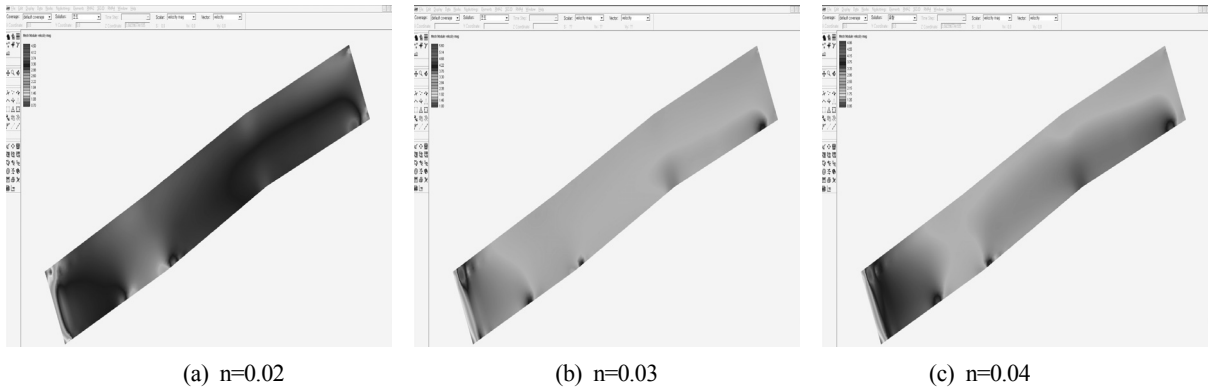


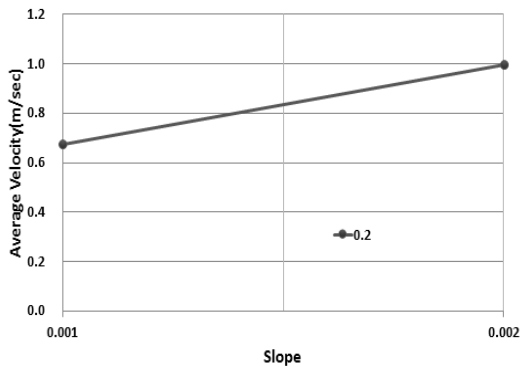
Fig. 15. Velocity vectors of RMA-2 applied section

4.2 수리모형실험 결과

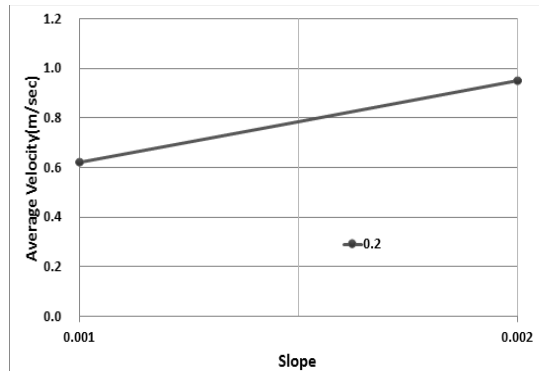
4.2.1 축척에 의한 수리모형실험 결과

본 연구에서는 Froude 상사법칙을 적용한 식생의 유, 무에 따른 수리모형실험을 실시하여 단면 평균유속, 조도계수, 소류력을 산정하였다. 그 결과 단면 평균유속은 Fig. 16과 같이 식생이 없을 경우 범위가 0.67~

1.00(m/s), 식생이 있을 경우 0.62~0.95(m/s)으로 산정되었고, 조도계수는 Fig. 17과 같이 식생이 없을 경우 0.020~0.021, 식생이 있을 경우 0.021~0.022로 산정되었으며 소류력은 Fig. 18과 같이 식생이 없을 경우 범위가 0.45~0.92(kg/m²), 식생이 있을 경우 0.41~0.89(kg/m²)으로 산정되어 수로경사의 조건에 따라 변화가 있는 것으로 나타났다.

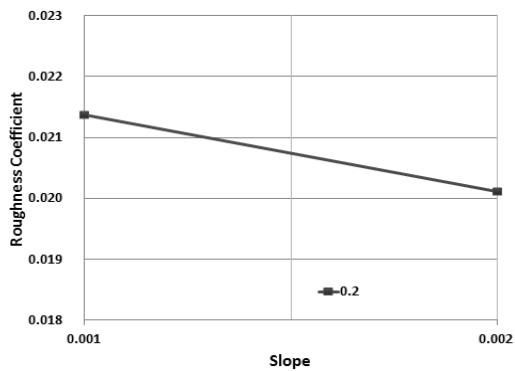


(a) None vegetation

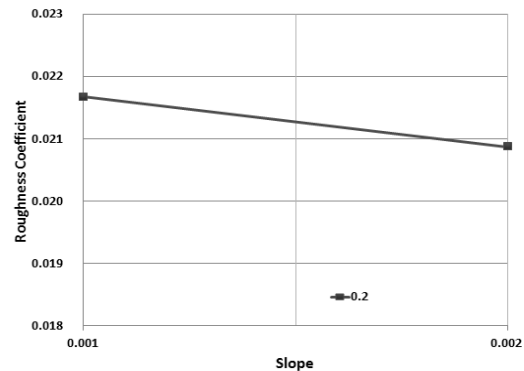


(b) Vegetation exist

Fig. 16. Estimations of average velocity to slope according to vegetation existence (Scale)



(a) None vegetation



(b) Vegetation exist

Fig. 17. Estimations of roughness coefficient to slope according to vegetation existence (Scale)

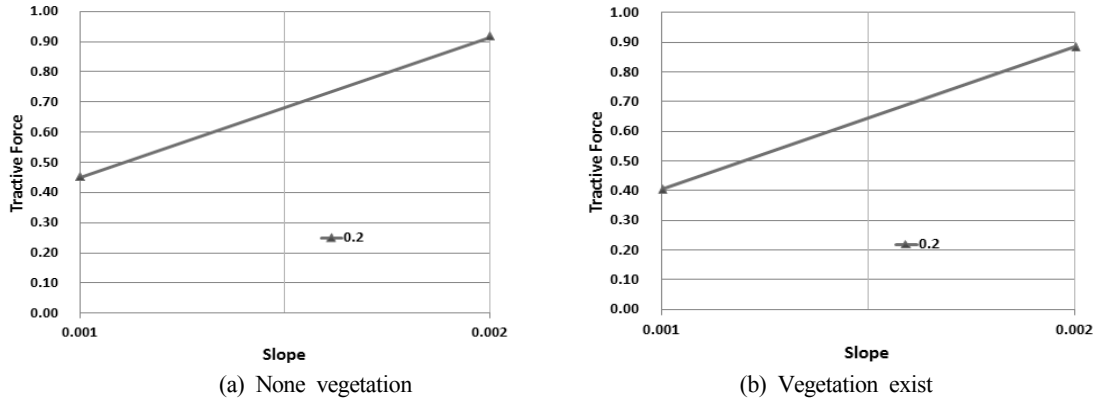


Fig. 18. Estimations of tractive force to slope according to vegetation existence (Scale)

4.2.2 원형에 대한 수리량 환산

본 연구에서의 수리모형실험 결과는 Froude 상사법칙을 적용하여 산정된 축척에 의한 수리량이기 때문에 수리모형실험에 의해 산정된 결과를 대상구간의 원형크기로 환산하였다. 상사법칙의 적정성을 고려하여 축척된 수리모형실험의 수리량을 원형으로 환산한 결과 단면 평균유속은 Fig. 19와 같이 식생이 없을 경우 범위가

2.13~3.15(m/s), 식생이 있을 경우 1.97~3.02(m/s)으로 계산되었고, 조도계수는 Fig. 20과 같이 식생이 없을 경우 0.0295~0.0314, 식생이 있을 경우 0.0306~0.0318으로 계산되었으며 소류력은 Fig. 21과 같이 식생이 없을 경우 범위가 4.71~9.55(kg/m²), 식생이 있을 경우 4.25~9.23(kg/m²)으로 계산되었다.

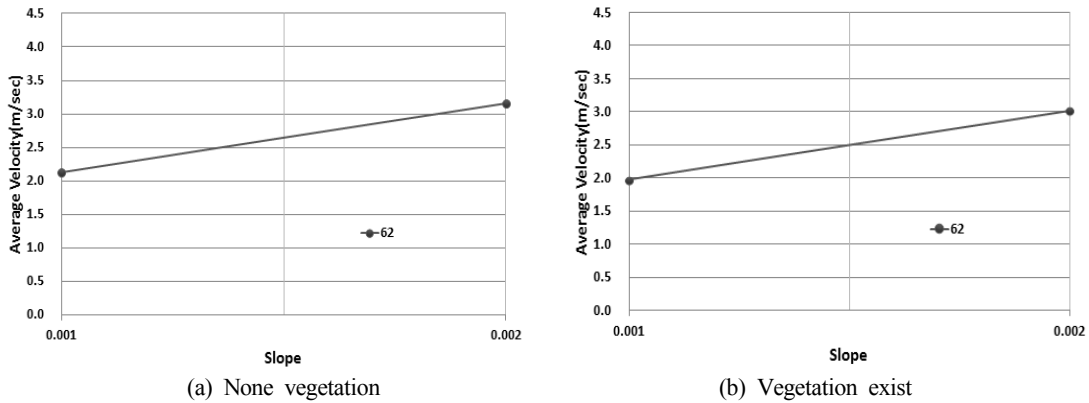


Fig. 19. Estimations of average velocity to slope according to vegetation existence (Prototype)

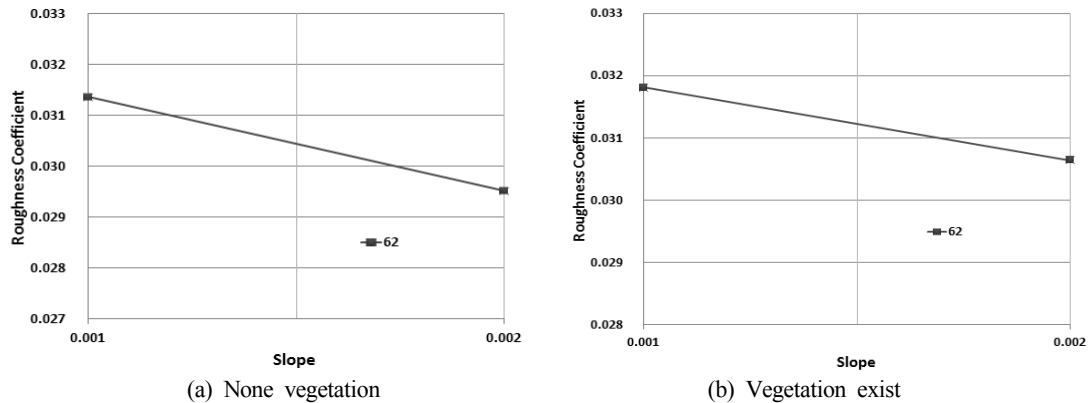


Fig. 20. Estimations of roughness coefficient to slope according to vegetation existence (Prototype)

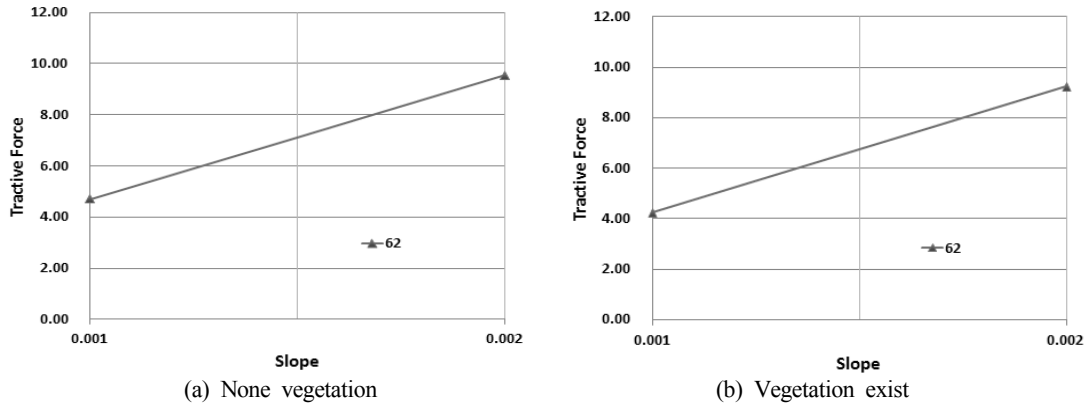


Fig. 21. Estimations of tractive force to slope according to vegetation existence (Prototype)

4.2.3 수치해석 및 원형 수리모형실험 비교 · 검토

본 연구에서는 Froude 상사법칙을 적용하여 식생 유무에 따른 수리모형실험결과가 실험조건 및 방법, 상사법칙의 적정성 등이 종합적으로 고려되어 계산되었는지를 확인할 수 있는 실험결과에 대한 타당성 검토가 이루어져야 한다. 이에 따라 원형으로 환산하여 계산된 수리모형실험과 수치해석의 유속 및 소류력 결과에 대한

비교검토하였고 동일한 조건에서의 비교를 위해 원형으로 환산된 수리모형실험 조건과 수치해석 조건이 일치한 유량 62(m³/s), 수로경사 0.002(m/m)일때의 결과를 채택하여 비교하였으며, 수치해석의 경우 원형으로 환산하여 계산된 조도계수의 결과값과 근사한 n=0.03 일때의 결과를 채택하여 비교하였다.

Table 9. Comparison of the difference in the prototype hydraulic model experiments and 1D and 2D numerical analysis results (None vegetation)

| Cross Section (No.) | Cumulative Length (m) | Discharge (m³/s) | Prototype Hydraulic Model Experiments Result | | 1D Numerical Analysis Results | | | | 2D Numerical Analysis Results | | | |
|---------------------|-----------------------|------------------|--|------------------------|-------------------------------|------------|------------------------|------------|-------------------------------|-------------------|------------------------|------------|
| | | | n=0.03 | | n=0.03 | | | | n=0.03 | | | |
| | | | Velocity (m/s) | Tractive Force (kg/m²) | Velocity (m/s) | Difference | Tractive Force (kg/m²) | Difference | Velocity (m/s) | Error Percent (%) | Tractive Force (kg/m²) | Difference |
| 19 | 950 | 62 | 3.15 | 9.55 | 2.98 | 0.17 | 8.45 | 1.1 | 2.99 | 0.16 | 8.45 | 1.1 |
| 20 | 1,000 | 62 | | | 3.10 | 0.05 | 8.73 | 0.82 | 3.11 | 0.04 | 8.73 | 0.82 |
| 21 | 1,050 | 62 | | | 3.03 | 0.12 | 9.29 | 0.26 | 3.06 | 0.09 | 9.31 | 0.24 |
| 22 | 1,100 | 62 | | | 3.07 | 0.08 | 9.63 | -0.08 | 3.09 | 0.06 | 9.64 | -0.09 |
| 23 | 1,150 | 62 | | | 3.22 | -0.07 | 9.97 | -0.42 | 3.23 | -0.08 | 9.97 | -0.42 |

Table 10. Comparison of the difference in the prototype hydraulic model experiments and 1D and 2D numerical analysis results (Vegetation existence)

| Cross Section (No.) | Cumulative Length (m) | Discharge (m³/s) | Prototype Hydraulic Model Experiments Result | | 1D Numerical Analysis Results | | | | 2D Numerical Analysis Results | | | |
|---------------------|-----------------------|------------------|--|------------------------|-------------------------------|------------|------------------------|------------|-------------------------------|-------------------|------------------------|------------|
| | | | n=0.03 | | n=0.03 | | | | n=0.03 | | | |
| | | | Velocity (m/s) | Tractive Force (kg/m²) | Velocity (m/s) | Difference | Tractive Force (kg/m²) | Difference | Velocity (m/s) | Error Percent (%) | Tractive Force (kg/m²) | Difference |
| 19 | 950 | 62 | 3.02 | 9.23 | 2.98 | 0.04 | 8.45 | 0.78 | 2.99 | 0.03 | 8.45 | 0.78 |
| 20 | 1,000 | 62 | | | 3.10 | -0.08 | 8.73 | 0.5 | 3.11 | -0.09 | 8.73 | 0.5 |
| 21 | 1,050 | 62 | | | 3.03 | -0.01 | 9.29 | -0.06 | 3.06 | -0.04 | 9.31 | -0.08 |
| 22 | 1,100 | 62 | | | 3.07 | -0.05 | 9.63 | -0.4 | 3.09 | -0.07 | 9.64 | -0.41 |
| 23 | 1,150 | 62 | | | 3.22 | -0.2 | 9.97 | -0.74 | 3.23 | -0.21 | 9.97 | -0.74 |

Table 11. Comparison of the error percent in the prototype hydraulic model experiments and 1D and 2D numerical analysis results (None vegetation)

| Cross Section (No.) | Cumulative Length (m) | Discharge (m ³ /s) | Prototype Hydraulic Model Experiments Result | | 1D Numerical Analysis Results | | | | 2D Numerical Analysis Results | | | |
|---------------------|-----------------------|-------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------|
| | | | n=0.03 | | n=0.03 | | | | n=0.03 | | | |
| | | | Velocity (m/s) | Tractive Force (kg/m ²) | Velocity (m/s) | Error Percent (%) | Tractive Force (kg/m ²) | Error Percent (%) | Velocity (m/s) | Error Percent (%) | Tractive Force (kg/m ²) | Error Percent (%) |
| 19 | 950 | 62 | 3.15 | 9.55 | 2.98 | 5.4 | 8.45 | 11.5 | 2.99 | 5.1 | 8.45 | 11.5 |
| 20 | 1,000 | 62 | | | 3.10 | 1.6 | 8.73 | 8.6 | 3.11 | 1.3 | 8.73 | 8.6 |
| 21 | 1,050 | 62 | | | 3.03 | 3.8 | 9.29 | 2.7 | 3.06 | 2.9 | 9.31 | 2.5 |
| 22 | 1,100 | 62 | | | 3.07 | 2.5 | 9.63 | 0.8 | 3.09 | 1.9 | 9.64 | 0.9 |
| 23 | 1,150 | 62 | | | 3.22 | 2.2 | 9.97 | 4.4 | 3.23 | 2.5 | 9.97 | 4.4 |

Table 12. Comparison of the error percent in the prototype hydraulic model experiments and 1D and 2D numerical analysis results (Vegetation existence)

| Cross Section (No.) | Cumulative Length (m) | Discharge (m ³ /s) | Prototype Hydraulic Model Experiments Result | | 1D Numerical Analysis Results | | | | 2D Numerical Analysis Results | | | |
|---------------------|-----------------------|-------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------|
| | | | n=0.03 | | n=0.03 | | | | n=0.03 | | | |
| | | | Velocity (m/s) | Tractive force (kg/m ²) | Velocity (m/s) | Error Percent (%) | Tractive Force (kg/m ²) | Error Percent (%) | Velocity (m/s) | Error Percent (%) | Tractive Force (kg/m ²) | Error Percent (%) |
| 19 | 950 | 62 | 3.02 | 9.23 | 2.98 | 1.3 | 8.45 | 8.5 | 2.99 | 1.0 | 8.45 | 8.5 |
| 20 | 1,000 | 62 | | | 3.10 | 2.7 | 8.73 | 5.4 | 3.11 | 3.0 | 8.73 | 5.4 |
| 21 | 1,050 | 62 | | | 3.03 | 0.3 | 9.29 | 0.7 | 3.06 | 1.3 | 9.31 | 0.9 |
| 22 | 1,100 | 62 | | | 3.07 | 1.7 | 9.63 | 4.3 | 3.09 | 2.3 | 9.64 | 4.4 |
| 23 | 1,150 | 62 | | | 3.22 | 6.6 | 9.97 | 8.0 | 3.23 | 7.0 | 9.97 | 8.0 |

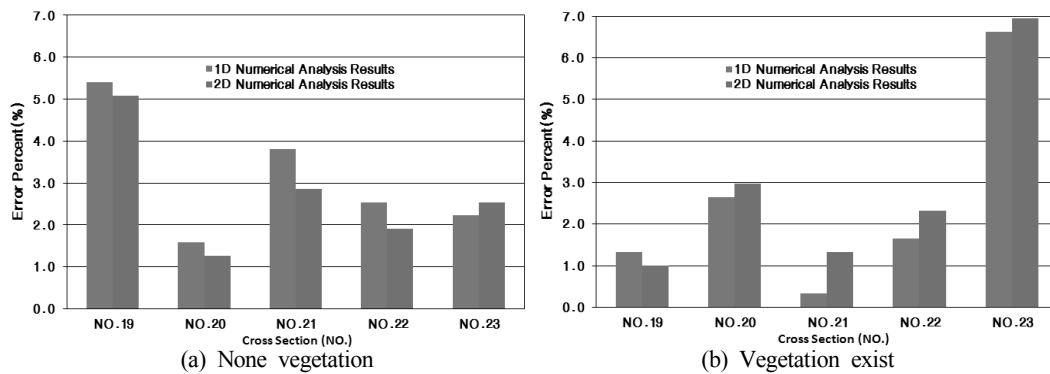


Fig. 22. Velocity error percents according to vegetation existence

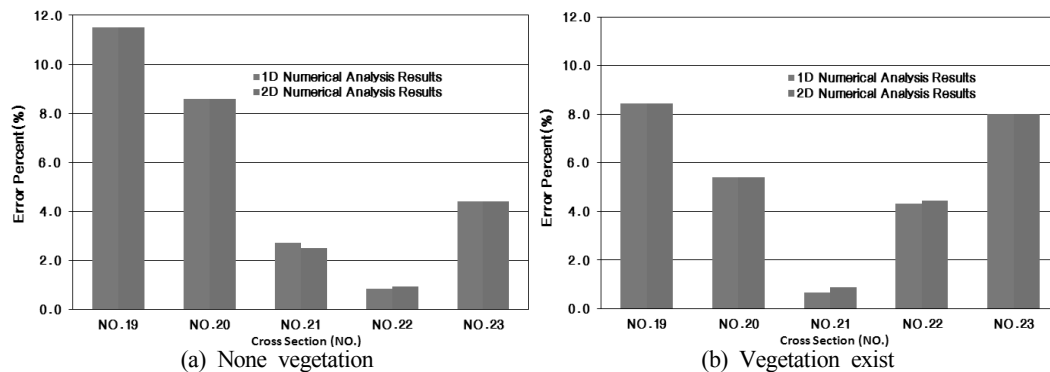


Fig. 23. Tractive force error percents according to vegetation existence

식생 유, 무에 따른 원형으로 환산된 수리모형실험결과와 타당성을 위해 수치해석결과와 비교 하였으며 그 결과 Table 9~Table 10과 같이 수치해석 결과와 비교적 근사한 결과값이 산정된 것으로 나타났고 이에 대한 오차백분율은 Table 11~Table 12와 같이 식생 무 조건시 유속 1.3~5.4(%), 소류력 0.8~11.5(%)의 오차율이 나타났으며 식생 유 조건시 유속 0.3~6.9(%), 소류력 0.7~8.5(%)의 오차율이 나타났다. 이에 따라 식생 유, 무에 따른 원형으로 환산된 수리모형실험결과와 수치해석결과에 대한 유속 및 소류력의 오차백분율은 유속의 경우 Fig. 22와 같이 최소 0.3(%)에서 최대 7.0(%)이고 소류력의 경우 Fig. 23과 같이 최소 0.7(%)에서 최대 11.5(%)이므로 수리모형실험과 1,2차원 수치해석 결과가 비교적

일치된 것으로 나타났으므로 수리학적 상사성이 보장된 수리모형실험을 수행한 것으로 판단된다.

4.3 수리학적 안정성 검토

본 연구에서는 다공성 소일블록의 수리학적 안정성을 검토하기 위해 1,2차원 수치해석 결과와 비교·검토하여 실험결과와 타당성이 검증된 원형 수리모형실험에서의 소류력 결과를 기존 연구결과인 호안별 허용소류력과 비교하였다. 원형으로 환산된 수리모형실험의 소류력 결과는 식생 무 조건시 9.55(kg/m²), 식생 유 조건시 9.23(kg/m²)이고 기존 연구결과인 호안별 허용소류력은 Table 13과 같다.

Table 13. Revetment allowable tractive force (Schoklitsch)

| kind of revetment | allowable tractive force (kg/m ²) | kind of revetment | allowable tractive force (kg/m ²) |
|-----------------------|---|---------------------|---|
| block-sod | 2.0 | stone pitching | 16.0 |
| coarse sand in hurdle | 1.0 | large stopper stone | 24.0 |
| gravel in hurdle | 1.5 | masonry | 60.0 |
| hurdle | 6.0 | concrete wall | 60.0 |
| fascine revetment | 7.0 | cribwork | 150.0 |

상사법칙을 적용하여 원형으로 환산된 수리모형실험의 소류력 결과와 호안의 허용소류력을 비교한 결과 환산된 수리모형실험의 소류력은 식생호안인 설향안 7.0(kg/m²)과 경성호안인 돌붙임 16.0(kg/m²)의 범위에 속한다. 이는 다공성 소일 블록간의 상호 맞물림 및 고정력으로 인해 유속에 대한 저항성이 있는 것으로 생각할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 비록 주어진 실험조건에서 분석되어 한계소류력이 계산되지 못하였지만, 소류력 비교 결과 다공성 소일 블록의 현장 적용시 충분한 수리학적 안정성을 확보할 수 있다고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 자연친화적인 다공성 소일 블록에 대하여 블록의 설치시 수리거동 변화에 따른 수리학적 안정성 검토를 하기 위해 전라북도 정읍시에 위치한 갈수천 유역에 대상구간을 선정하여 1,2차원 수치해석과 Froude 상사법칙을 적용한 식생 유, 무에 따른 수리모형 실험을 실시하였고 실험결과와 타당성을 위해 수리모형 실험 결과를 원형으로 환산하여 1,2차원 수채해석 결과와 비교·검토 하였으며 이에 따른 원형으로 환산된 수리모형실험의 소류력 결과를 호안별 허용소류력과 비교하

여 수리학적인 안정성 검토를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 1,2 차원 수치해석을 위해 HEC-RAS 모형과 RMA-2 모형을 이용하여 조도계수 0.02, 0.03, 0.04의 조건에 대한 대상유역의 각 측정별 수치해석을 실시하였으며 그 결과 1차원 수치해석의 경우 유속은 2.96~3.24(m/s), 소류력 3.28~16.79(kg/m²)로 나타났고 2차원 수치해석의 경우 유속은 2.97~3.25(m/s), 소류력 3.29~16.80(kg/m²)의 변화가 있는 것으로 나타났다.
- (2) Froude 상사법칙을 적용하여 대상구간의 1/10 크기로 축척된 식생 유, 무에 따른 수로경사 0.001m/m, 0.002m/m에 의한 수리모형실험을 실시하여 평균유속, 조도계수, 소류력을 산정하였으며 그 결과 식생 무 조건시 평균유속은 0.67~1.00(m/s), 조도계수 0.020~0.021, 소류력 0.45~0.92(kg/m²)로 나타났고 식생 유 조건시 평균유속은 0.62~0.95(m/s), 조도계수 0.021~0.022, 소류력 0.41~0.89(kg/m²)로 변화가 있는 것으로 산정되었다.
- (3) 수리모형실험결과와 타당성을 위해 식생 유, 무에 따른 축척된 수리모형실험 결과를 원형으로 환산

하여 수치해석결과와 동일한 조건하에 비교·검토한 결과 최대 오차백분율이 11.5%로 계산되어 1, 2차원 수치해석 및 수리모형실험결과가 비교적 일치된 것으로 나타났으므로 실험실의 규모 및 상사법칙의 적정성이 보장된 수리모형실험이 수행된 것으로 판단된다.

- (4) 원형으로 환산된 수리모형실험의 소류력 결과를 기존 연구결과인 호안의 허용소류력과 비교하여 검토한 결과 다공성 소일 블록의 현장 적용시 충분한 수리학적 안정성을 확보 할 수 있는 것으로 검토되었으며 향후 친환경 식생호안 블록의 적용 및 치수적 안정성을 고려하여 다양한 수리안정성 해석 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경기술개발사업(EW13-07-11)에 의한 수생태복원사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사의 말씀을 드립니다.

References

- Jang, SH, Park, SB and Park, SW (2007). Hydraulic model test and numerical analysis of grass concrete in river environment, *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, pp. 1244-1248. [Korea Literature]
- Kim, KH, Kim, DJ, and Lee, GH (2006). A performance investigation of multipurpose block using hydraulic model test, *Proceedings of Coastal and Ocean Engineering in Korea, Autumn Conference Proceedings*, pp. 185-188. [Korea Literature]
- Kim, C, Park, NH, Kim, DY and Kim, YH (2008). Stability analysis of low flow revetments on external forces, *J. of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 8(5), pp. 147-153. [Korea Literature]
- Lee, JK, Lee, JH and Kim, JY (2008). Analysis of hydraulic characteristics of spillway using hydraulic model experiments and numerical analysis, *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, pp. 1818-1822. [Korea Literature]
- Lee, JP (2008). *Hydraulic Stability Analysis of Revetments using Hydraulic Model Test*, Master's Thesis, Honam National University, pp. 1-50. [Korea Literature]
- Moon, SN (1995). A study on riprap size in meandering channels by hydraulic model test, *J. of Korea Water Resources Association*, 28(4), 205-213. [Korea Literature]
- No, SW (2004). *A Study on the Hydraulic Design Methods of Revetments in Curved Channel*, Master's Thesis, Gyeongnam National University of Science and Technology, pp. 1-66. [Korea Literature]
- Struve, JF, and Wu, Y (2003). Influence of model mangrove trees on the hydrodynamics in a flume, *Estuarine coastal and shelf science*, 58(1), pp. 163- 171.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2002). *HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual*.
- Wilfried, BM, Ten, BF, Schulze, H and Peter, VV (2004). Sand AND exchange between groyne-field beaches and the navigation channel of the dutch rhine: The impact of navigation versus river flow, *River Research and Application*, 20(1), pp. 1-30.

- 논문접수일 : 2012년 12월 06일
- 심사의뢰일 : 2012년 12월 10일
- 심사완료일 : 2013년 02월 10일