

낙동강 취수보개체를 위한 이동상 수리모형실험

김 성 원
미국 콜로라도 주립대학교 공업연구소
(1999년 8월 4일 접수)

The Movable Hydraulic Model Test for Exchange of Intake Weir in the Nakdong River

Sung-Won Kim

Engineering Research Center, Colorado State University, Fort Collins, CO, 80523, U.S.A.
(Manuscript received 4 August, 1999)

In this study, the movable bed model testing was carried out so as to analyze bed profile changes including predicting scouring and deposition of bed profile and to solve hydraulic problems affecting with bed and both-bank between upstream and downstream of intake weir in the Nakdong river channel. The movable bed model testing consists of fundamental test, movable model test and numerical analysis method respectively. The fundamental test was enforced to analyze relationship of discharge and sediment load in the tilting flume. When the movable model test was worked, it was shown that sediment budget between input sediment load and output sediment load was balanced exactly. As a result of movable model test, it was presented that scouring and deposition changes in quantities between the upstream and downstream of modification weir were less than those of nature and planning weir. Finally, numerical analysis method was operated by 1-dimensional bed profile changes model ; HEC-6 model so as to complement unsolving hard problems during movable model test. So, modification weir will be sustained the stable bed profile changes than any other weirs in the study channel.

Key words : hydraulic model test, movable bed analysis, scour and deposition, sediment budget, hybrid method, numerical analysis.

1. 서 론

낙동강 본류의 금호강 합류부지점의 상류부에서는 취수를 위한 기존의 수리구조물인 돌보의 영향으로 홍수시 빈번한 유실로 인하여 즉각적인 보수조치가 이루어지지 않아 안정적인 취수가 불가능하다. 또 돌보형식이 고정 보형식을 취하므로 상류측 하상은 퇴적이 진행되어 매년 하상을 준설해야 하고, 하류측은 세균현상이 지속적으로 발생하고 있는 실정이다. 그 영향으로 취수보 상류부의 경우 상수도 취수시설인 매곡 및 강정취수장의 취수구(Intake port)로 유사(Sediment)가 유입되어 기계설비의 고장을 일으키고 있으며, 돌보로 인한 유향(Current direction)이 편향되어 하류우안 둔치부는 포락이 계속적으로 진행되고 있다. 따라서 낙동강본류의 하상 저하방지 및 둔치부의 포락을 방지하고 상시 수위를 유지함으로써 안정적인 취수를 도모함과 동시에 치수측면에서 안전하며, 하천환경을 개선 할 수 있는 영구시설물인 Concrete Fabric Weir의 설치가 요구되고 있어서, 고정보 형식의 구조물을 개체하기 위한 선행조건으로 수리모형실험을 실시하였다.

본 연구에서는 낙동강 취수보 시설개체 구간에 이동상 수리모형실험을 수행하기에 앞서 고정상 수리모형실험을 실시하여 개체방안별·홍수규모별로 유황, 수위, 유속 및 유향등의 수리현상을 파악하고, 구조물 개체구간 및 개체구간의 상·하류 주변지역에 대한 수리학적 영향을 분석하였으며,¹⁾ 고정상실험에 병행하여 수치해석을 통하여 모형실험만으로는 해석이 곤란한 부분에 대해서는 Hybrid기법²⁾을 도입하여 모형실험과 수치해석의 단점을 보완하였다. 또한 본 이동상 수리모형실험은 고정상 수리모형실험과는 달리 원형과 모형에서의 물과 유사의 이동을 동시에 만족시켜야 하나, 개수로에서의 물의 이동은 Froude법칙에 의존하고 유사의 이동은 Reynold 법칙에 의존하므로, 이론적으로 물과 유사이동을 동시에 고려할 경우에는 모형축적을 구할 수 없다. 그리고 이동상에서는 고정상에서와 같이 하상조도를 임의로 조정할 수 없고, 하상과 유사운동상태에 의해 결정되므로 하상조도의 선택에 난점이 많다.³⁾

따라서 본 연구에서는 이동상 수리모형실험을 통하여 낙동강 취수보 시설개체로 인한 취수보 시설 상·하류

하상의 세굴 및 퇴적 등의 하상변동형태를 예측 및 분석하기 위하여 모형사를 선택, 실제 모형실험에 사용될 수 있는 유사공급장치를 결정하였다. 또한 이동상 수리모형 실험에 병행하여 수치해석에 의한 1차원 하상변동을 검토하였으며,⁴⁾ 개체방안별·홍수규모별 하상의 정량적·정성적인 분석에 의해 취수보 상·하류 및 주변일대의 수리학적 현상을 파악하여, 실시설계의 자료를 제공하는데 있다. 그리고 나아가서는 대구광역시 상수도원수의 안정적인 취수를 위한 최적의 시설물을 설계할 수 있는 기법을 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 낙동강취수보 현황 및 문제점

본 연구의 대상구간은 대구광역시 5차 상수도 취수계획지점 부근(No.379)에서 고령군 다사면 호촌동(No.357)까지 약 11.28km 구간으로서, 대상구간의 하류에서 낙동강본류에 유입되는 금호강이 있으며, 비교적 소지류인 진천천이 합류하고 있다.⁵⁾ 특히 취수보계획지점에서는 금호강이 합류하므로 하폭이 크게 확장되면서 우회하도를 형성하고 있다. 하도의 경사는 대체로 완만한 편이나 부분적으로 하상이 세굴 및 퇴적작용이 발생하여서 하도의 횡단면 변화가 심한 편이다. 즉 수리모형실험 하도구간의 상류곡선부에서는 우안측이 산지와 접하여 좌안에 농경지가 발달되어 있으나 직선하도구간에서는 좌안에 급경사면의 산지형이 발달되어 있고, 우안은 퇴적사구가 발달하고 유심이 좌안으로 이동하면서 깊은 수심을 형성하고 있다. 수리모형실험 하도구간의 연장은 현재의 취수보인 임시돌보(No.364+360)를 기준으로 하류로 No.357지점까지의 4.03km 구간과 상류로 No.379지점까지 7.25km 구간이며, 수리모형실험 하도구간의 총연장은 11.28km이다. 그리고 연구대상 하도구간의 기준 및 계획하폭의 범위는 최소하폭이 0.63km(No.371)이고 최대하폭은 금호강이 합류하는 구간으로서 1.55km(No.364)이다. 또한 기존 제방고는 연구대상 하도구간의 최하류지점(No.357)의 좌안이 EL. 26.27이고, 최상류지점(No.379)의 좌안이 EL. 28.78m이다. 다음 Fig. 1은 금호강합류점 구간에 위치한 취수보의 개략적 현황도이다.

임시돌보의 설치로 인한 여러 가지 문제점을 해결하

기 위하여, 즉 낙동강본류의 하상저하 방지 및 둔치부의 포락을 방지하고, 낙동강 취수장(강정 및 매곡취수장)의 상시 수위유지로 안정적인 취수, 임시돌보의 홍수시 찾은 유실로 인한 복구에 따른 경제적 손실방지, 돌보상·하류 둔치부의 포락방지, 돌보상류부의 퇴적으로 인한 취수장의 유사유입과 수질악화 방지 그리고 주위경관과 조화를 이루는 영구시설물을 설치할 목적으로 구조물의 교체가 필요하게 되었다. 따라서 기존의 임시돌보 하류 약 150m지점에 Concrete Fabric Weir를 설치한 후, 돌보를 제거하여 취수보 하류의 하상을 보호하고자 취수보 첨단을 Rubber로 구성하여 홍수시에는 Rubber에 관계없이 일정한 수위이상을 유지시키고 Rubber에 공기를 제거하여 도복시켜서 퇴적된 유사를 하류로 이송을 시키고, 저수시에는 Rubber에 공기를 주입하여 일정수위 이상을 유지하여 취수시설물의 취수에 안정성을 유지할 수 있는 시설개체안을 제시하였다. 낙동강 취수보 시설개체는 보의 구조 및 세원에 따라 계획안(Case 2)과 개선안(Case 3)으로 나누어 계획하고 있으며, 구조는 가동보, 어도 및 Abutment로 구성되어 있으며, 금호강 합류부의 경작지 보호와 취수보직하류 좌안부 사주(고수부지)를 보존함으로써 향후 시민의 이용도를 높이도록 계획하였다. 그리고 Case 2와 3의 시설제원은 다음 Table 1과 같다.

Table 1. The facilities exchange factors of the intake weir in the Nakdong River (Unit : EL. m)

Method Factors	Case 2 (Planning)	Case 3 (Modification)
Height of weir	2.00	2.50
Crest elevation	14.60	14.60
Bottom elevation	12.60	12.10
Length	60×4+40×2=320.00	60×3+50×2=280.00

Note : Case 1 - Temporary Rock Weir(Nature)

3. 유사해석의 이론적기법

모형을 제작할 때는 축척에 따라서 정상모형과 왜곡모형으로 나눌 수 있으며, 모형의 조도는 선택된 모형사의 함수이고 또한 하상자체의 함수이므로, 이동상실험에서는 왜곡모형을 피하거나 최소화하는 것이 바람직하다.^{6~9)} 그러나 모형실험에서는 높은 유속(난류)을 얻을 수 있고, 실험시간을 짧게 할 수 있으며, 상대적으로 높은 Reynolds수를 제공하여 상사성(Similarity)을 향상시키고, 수심측정에서와 같이 측정의 정확성을 증가시킬 뿐만 아니라 물손실의 중요성을 감소시킬 수 있으므로 왜곡모형을 사용하고 있는 실정이다.

이동상 수리모형실험에서 가장 중요한 문제는 적절한 모형축적과 모형사의 결정이다. 모형사의 결정은 모형사의 밀도, 크기 및 입도분포의 결정을 의미한다. 주어진 축척으로 만들어진 모형실험에서 물을 사용하는 것은 모형사의 설정을 난이하게 한다. 따라서 이동상 수리모형실험에서는 물과 유사의 상사를 동시에 만족할 수 없기 때문에 다음과 같은 세 가지 방법을 이용하여 모형의 축

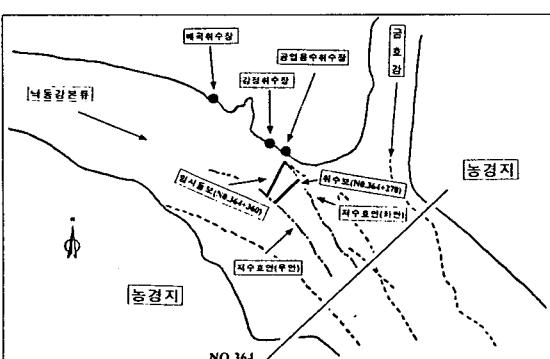


Fig. 1. The study channel length in the Nakdong River-intake weir location.

척과 모형사를 결정한다.^{10,11)} 첫 번째로 시산법에 의한 검증단계를 거쳐야하는데, 예비실험에서 조정되어야 할 모형의 변수는 모형에서의 유량, 하상기울기, 모형사의 종류, 시간축척, 고정된 경계조도 등이다. 두 번째로 완전한 실험적 접근으로 이루어진 regime방법이다.¹²⁾ 이것은 하천에 주어진 유량에 대하여 하폭, 수심, 하상경사에 대한 실험식으로 모형의 축적을 결정하는 방법이다. 마지막으로 유사량 공식에 기초한 이론적방법은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

3.1. 이론적 모형

이동상모형에서는 유사이동이라는 수리학적으로 복잡한 문제에 직면하고 있으며, 실제 모형축척을 결정하기 위하여 Manning식으로 대표되는 Reynolds법칙과 Froude 법칙외에도 유사의 초기운동 문제에 대하여 Shields 매개변수로 알려진 쇄울기준(Scour criterion)이 있으며 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{(\tau_0)_{cr}}{d \cdot (\gamma_s - \gamma)} = fct \left(\frac{d \cdot U_*}{\nu} \right) \quad (1)$$

여기서 $(\tau_0)_{cr}$ 은 하상에서 유사이동시점에서의 한계 전단응력이고, d는 유사입경, γ_s 와 γ 는 각각 유사 물의 단위중량, ν 는 물의 동점성계수, $U_* = (\tau_0/\rho)^{1/2}$ 는 마찰속도이다. 식(1)의 좌변은 무차원 한계 전단응력이고, 우변은 입자 Reynolds수이다. 또한 조도계수 n과 하상의 입자직경과의 관계를 나타내는 Strickler의 실험식 ($n = d^{1/6}$)을 Manning식에 대입하면 다음 식(2)의 관계식을 얻을 수 있다

$$(d^{1/6})_R = n_R = (R_R)^{2/3} \cdot \left[\frac{1}{L_H^{1/2}} \right]^{1/3} \quad (2)$$

여기서, $(\cdot)_R = (\cdot)_p / (\cdot)_m$ 이고, 아래첨자 p와 m은 각각 원형과 모형을 의미하고 있으며, R_R 은 동수반경의 비, L_H 는 수평길이를 나타낸다. 또한 $\tau_0 = \gamma RS$ (S는 에너지경사)이므로 식(1)의 좌변은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma_R \cdot R_R \cdot (L_V)_R \cdot \frac{1}{(L_H)_R \cdot d_R \cdot (\gamma_s - \gamma)_R} = 1 \quad (3)$$

여기서 L_V 는 연직길이이고, $U_*^2 = (\tau_0/\rho)$ 이므로 식(1)의 우변은 원형과 모형에서 일치해야 하므로 다음 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$(d^2)_R \cdot \gamma_R \cdot R_R \cdot (L_V)_R \cdot \frac{1}{(L_H)_R \cdot (\nu^2)_R \cdot \rho_R} = 1 \quad (4)$$

그러나 실제의 경우 원형과 모형에서 사용하는 유체는 물로서 동일하기 때문에 $\gamma_R = \nu_R = \rho_R = 1$ 이다. 따라서 식(2)에서 유사입자 직경의 축척은 다음 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$d_R = (R^4)_R \cdot \frac{1}{(L_H^3)_R} \quad (5)$$

또한 식(3)으로부터 식(6)을 얻을 수 있으며, 식(5)를 식(6)에 대입하여 동수반경의 축척을 구하면 다음 식(7)과 같다.

$$\frac{R_R \cdot (L_V)_R}{(L_H)_R \cdot d_R \cdot (\gamma_s - \gamma)_R} = 1 \quad (6)$$

$$R_R = \left[\frac{(L_V)_R \cdot (L_H^2)_R}{(\gamma_s - \gamma)_R} \right]^{1/3} \quad (7)$$

다시 식(5)와 식(7)을 식(4)에 대입하면 다음 식(8)의 관계를 얻을 수 있다.

$$(\gamma_s - \gamma)_R = \left[\frac{(L_V^4)_R}{(L_H)_R} \right]^{1/3} \quad (8)$$

따라서 식(8)에 세 개의 독립변수 L_V , L_H 와 $(\gamma_s - \gamma)$ 가 포함되어 있는데, 그 중 2개만 결정된다면 축척문제는 해결될 수 있다. 즉 수평축척과 연직축척만 결정되면 모형사의 비중은 식(8)을 통하여 계산된다.

3.2. 모형사의 결정

연구대상구간에서 모형의 전체크기 및 모형실험에 필요한 제반시설을 고려하여 계측시스템과 배수로시설을 위한 여유공간확보를 위하여 수평축척비는 400, 수직축척비는 100으로서 모형의 왜곡비(Distortion ratio)가 4인 왜곡모형(Distortion model)으로 결정된 고정상 수리모형 실험에서 이용한 모형을 이용하였다.

또한 원형사의 밀도가 $(\rho)_p = 2.65$ 이고, 원형사의 입경이 $(d_{50})_p = 0.415\text{mm}$ 일 경우 수리모형 축척은 $(L_V)_R = 100$, $(L_H)_R = 400$ 이므로 식(8)로부터 모형사의 밀도는 $(\rho)_m = 1.03$, 모형사의 입경은 $(d_{50})_m = 0.163\text{mm}$ 으로 계산되기 때문에 이동상 모형실험에서는 가벼운 모형사를 선택해야 한다. 그러나 실험수행에 충분한 모형사의 확보와 경제적인 비용문제 그리고 가벼운 모형사를 사용할 때 발생하는 문제점인 실험에서 유사퇴적깊이를 일반적인 방법으로 측정하는 경우 상당한 오차를 발생시키기 때문에 가벼운 모형사의 선택에 제한이 따른다. 국내에서는 이동상 모형실험의 모형사로 밀도가 2.07~2.14인 규조토를 대부분 사용하여 왔다. 밀도가 큰 규조토를 이용하여 실험을 수행하기에는 계산된 밀도와 많은 차이를 보이기 때문에, 본 연구에서는 토성실험을 통하여 모형사의 타당성을 분석하였으며, 그 결과 비중이 $(\rho)_m = 1.48$ 인 Anthracite를 모형실험의 모형사로 선택하였다. Anthracite의 사용은 모형사의 기준인 1.03보다 비중이 크지만, 규조토를 사용하는 것보다 우수한 모형상사성을 보장하고 있다.

3.3. 유사량산정

이동상 수리모형실험구간에서의 유사량의 산정은 실측자료가 없는 실정이므로, 본 연구에서는 기존의 연구결과를 토대로 대상구간의 현황에 부합되는 비교적 정도가 높은 결정론적 유사량 산정공식인 Engelund & Hansen, Shen & Hung, Acker & White, 및 Yang공식을 이용하여 다음 식(9)와 같은 유입구 경계조건(Input

Boundary Condition)인 유량-유사량 산정공식을 적용하여 분석하였다.

$$Q_s = 0.768(Q + 4.802)^{1.293} \quad (9)$$

여기서 Q 는 유량(m^3/sec)이고, Q_s 는 유사량(tons/day)이다.

Fig. 2(a)~(d)는 결정론적 유사량 산정공식의 계산결과와 실험유량과의 관계를 도시한 것이다. Fig. 2(a)~(d)에 의하면 본 이동상 수리모형실험에 사용되는 유량은 5,000cms이상인 흥수유출량이고 Engelund & Hansen 공식이 가장 적합한 것으로 나타났다. 그러므로 본 이동상 수리모형실험에는 Engelund & Hansen 공식을 사용하여 정도 높은 유사량을 산정하였으며, Engelund & Hansen 공식의 입력자료는 유속, 수심, 수면경사, 수온, 유사입경, 및 유사비중이 있으며, 적용하상은 사련하상을 제외한 모든 하상에 적용성이 높다.^{13,14)}

4. 수리모형실험

이동상 수리모형실험은 고정상 수리모형실험을 실시하였던 모형수로를 이용하였으며, 모형의 하상표고는 낙동강 하천정비기본계획(보완조사 III, 1993)보고서의 계획고에 따라서 각 단면별로 축척비를 적용하고 이를 환산하여 하상을 조정하도록 하였다. 또한 이동상 수리모

형실험에서는 하상의 세굴 및 퇴적량의 정량적인 분석을 위하여 1차원 하상변동모형인 HEC-6 모형을 이용하여 전반적인 하상변동량을 비교하도록 하였다. 이동상 수리모형실험은 기초실험, 이동상실험 및 수치해석법으로 이루어져 있으며, 각 실험에 대한 내용은 다음과 같다.¹⁵⁾

4.1. 기초실험

기초실험에서 유하시킬 유량은 유량과 선정된 모형사의 유사량과의 상관관계를 파악할 수 있도록 선정한 후, 기초실험수로의 축척을 고려하여 환산된 유량을 기초실험수로에서 유하시켰으며, 유량을 정확하게 공급하기 위하여 기초실험수로의 상류단에 설치된 삼각형웨어에 대하여 사전에 유량검증실험을 실시하여 유량검증곡선을 작성하고, 모형축척별 계획유량을 Froude상사율로 환산하여 유량검증곡선에서 해당유량을 찾아 각 실험유량으로 공급하였다. 그리고 이동상 기초실험은 가동수로의 경사를 에너지경사와 일치하도록 조정한 후, 기초실험수로에 약 10cm의 모형사를 포설하여 제작하였다. 모형사가 유량공급초기애 이동하는 것을 막기 위하여 유량을 천천히 공급하여 모형사가 완전히 포화되도록 하여서, 급격한 모형사의 교란과 유실을 방지하도록 하였다. 유사량 관측은 사용된 실험유량에 대하여 하상의 사련이 충분히 발달한 후, 실제시간(Real time)의 24시간과 48시

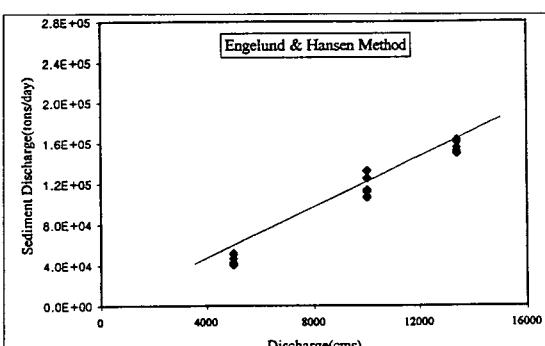


Fig. 2(a). Correlation Diagram of Discharge & Sediment Load(Engelund & Hansen).

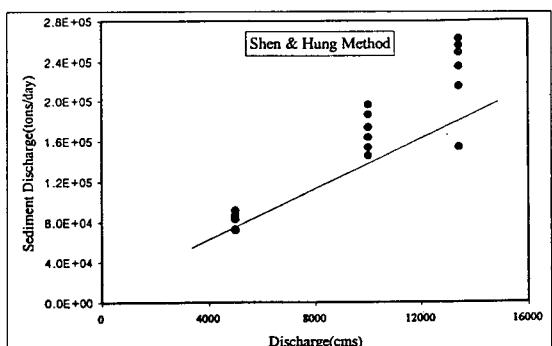


Fig. 2(b). Correlation Diagram of Discharge & Sediment Load(Shen & Hung).

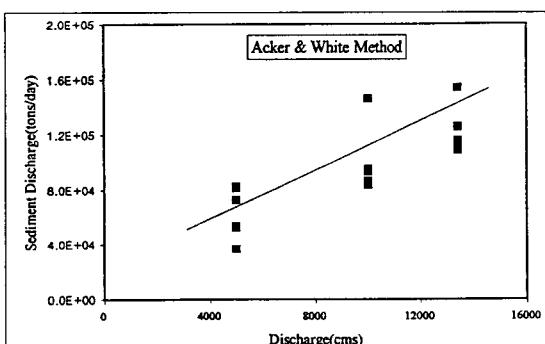


Fig. 2(c). Correlation Diagram of Discharge & Sediment Load(Acker & White).

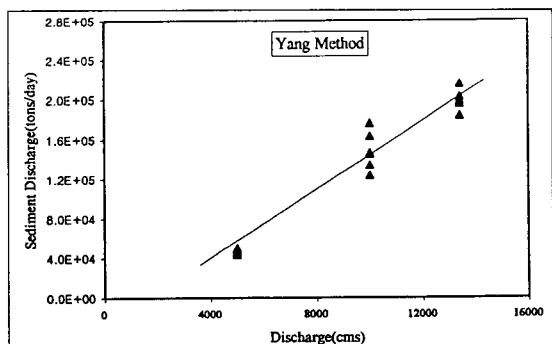


Fig. 2(d). Correlation Diagram of Discharge & Sediment Load(Yang).

간에 해당하는 유사량을 채취하였다. 유사량 채취시간은 이동상 실험에서 대상유량을 유하시킬 실제시간에 해당되며, 기초실험에서 관측된 유사량을 실제차원으로 환산하여 정리하고, 관측된 유량별 유사량자료를 이용하여 회귀분석(Regression analysis)한 결과 Fig. 3과 같은 유량-유사량 관계를 유도하였다. Fig. 3에서 제시된 유량-유사량 관계를 이용하여 취수보 구간의 현지유사량을 발생시키는데 필요한 유량을 산정하여 이동상 수리모형실험에서 모형유량으로 이용하였다.

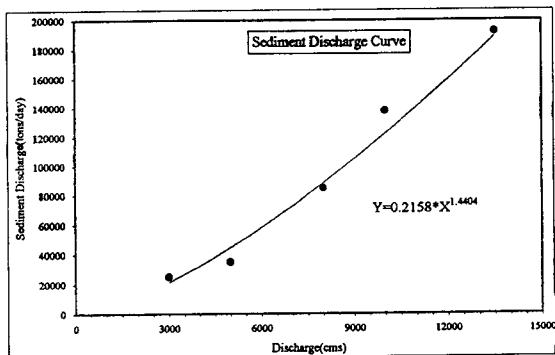


Fig. 3. Discharge-sediment load curve in the fundamental open channel.

4.2. 이동상 실험

이동상 수리모형실험에서 모형사의 성형은 대상구간에 개략적으로 소요의 모형사를 부설한 다음, 기준 바닥면에서 모형하상까지 정확하게 20cm가 되도록 물다짐을 통하여 실시하였고, 실험대상유량을 공급할 때 유사의 교란이 발생하지 않도록 서서히 유량을 공급하여 하류단의 수위를 조절한 후, 유입부의 웨어를 이용하여 소요유량을 정확하게 공급할 수 있도록 유량을 조절하는 동안 이동상으로 유량이 공급되어 유사가 교란되는 현상을 방지하기 위하여 유량을 우회시킬 수 있는 장치를 제작하였다. 또한 이동상 수리모형실험시 발생되는 유사량을 채취하기 위한 시설로서 배출수조내에 폭 0.5m, 길이 1m의 채취상자를 제작하였고, 상류단에서는 각 유량에 대하여 모형에서 계산된 유사농도에 해당하는 모형사의 양을 조절하고, 주어진 하폭에 균일한 양의 모형사를 연속적으로 공급할 수 있는 유사공급장치를 제작하였다. 그리고 이동상 수리모형실험에 의한 하상변동의 관측은 고정상 실험에서 수위관측을 위하여 제작한 폭 0.15m, 길이 2.5m의 측정대를 이용하였으며, 하상변동과 즉 세굴과 퇴적 등을 측정하기 위하여 자동세굴측정기인 PV-90 Profile Indicator과 레벨 및 Point Gage를 사용하였다. 본 연구의 이동상 수리모형실험은 낙동강 취수보 시설개체에 따른 하상변동을 파악하기 위하여, 취수보의 형태를 현 임시돌보, 계획안과 개선안으로 구분하여 제작된 보를 모형수로에 각각 설치하면서 실험을 실시하였다. 모형수로에 적용할 유량은 웨어유출유량으로 나타내면 0.01250 cms, 0.02500 cms, 0.03355 cms의 3개 유량을

대상으로 하였으며, 이 유량은 모형축척비를 이용하여 환산하면 5,000 cms, 10,000 cms, 13,420 cms의 유량에 해당된다.

본 실험에서 실험유량의 공급시간은 실제홍수사상에 대한 수문곡선의 형상과 유사하게 홍수량의 증수시에는 공급시간을 짧게 설정하였으며, 감수시에는 유량공급시간을 증수시보다 길게 설정하였다. 각각의 실험유량을 유하시키는 동안 실험초기에는 하류단으로 유출되는 유사량이 상류단에서 공급하는 유사량보다 많이 계측되고, 실험의 후반부에는 유출유사량이 다소 적게 계측이 되었으나, 최종적으로 분석해보면 전체 공급유사량과 유사유출량이 균형을 이루고 있는 것으로 나타났다. 특히 유사의 세굴현상은 주로 증수기보다는 감수기에 발생하는 것으로 나타났다. 또한 취수보 직하류는 세굴현상이 지배적이고, 현 임시돌보 직하류는 세굴 및 우안부의 저수호안에서는 포락이 발생되고 있다. 그러나 계획안과 개선안의 경우는 홍수시 보정상부의 도복에 의하여, 직하류부의 세굴현상이 현 임시돌보의 경우보다 크게 감소하고 있으며, 취수보 양안의 저수호안을 정비함으로써 우안부 저수호안의 포락현상이 방지되고 있다. 특히 개선안의 경우 직하류부의 세굴량이 가장 적고, 호안의 포락현상이 방지되어서 가장 안정된 하상을 유지하는 것으로 분석되었다. Table 2는 이동상 수리실험의 실험조건을 나타낸 것이고, Table 3(a)~(c)는 현 임시돌보, 계획안, 그리고 개선안의 경우에 있어서 이동상 수리모형실험의 하상변동량을 정량적으로 나타낸 것으로, Table 3(d)는 현 임시돌보, 계획안, 그리고 개선안의 하상변동율을 나타낸 것이다. Table 3(d)에 의하면 현 임시돌보, 계획안 그리고 개선안에서 일반적으로 유량이 증가할수록 하상변동율은 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 본 연구 대상구간취수보의 직하류부의 경우는 개선안이 하상변동율이 가장작고 호안의 포락현상이 방지되어서 가장 안정된 하상을 유지하는 것으로 분석되었다. Table 3(a)~(c)의 +값은 하상의 퇴적, -값은 세굴, F.B.P.는 초기하상고, L.B.P.는 종기하상고, 그리고 B.P.C.는 하상고의 변화를 나타낸 것이다. 또한 Table 3(d)의 +값은 하상퇴적비, -값은 하상세굴비를 나타낸 것이다.

Table 2. Testing Condition in the Movable Bed Model

Discharge Supply Sequence	Model Discharge (cms)	Prototype Discharge (cms)	Conveyance Time(Hr)	Bed Evolution Observation	
1	0.01250	5,000	2	×	Increasing Discharge
2	0.02500	10,000	1	○	Increasing Discharge
3	0.03355	13,420	1	○	Peak Discharge
4	0.02500	10,000	2	○	Decreasing Discharge
5	0.01250	5,000	3	○	Decreasing Discharge

Table 3(a). Bed Profile Changes in Movable Bed Model Test - Case 1(Nature)

(Unit : EL. cm)

Cross Section (No.)	Discharge (CMS)									Note	
	0.01250			0.02500			0.03355				
	F.B.P.	L.B.P.	B.P.C.	F.B.P.	L.B.P.	B.P.C.	F.B.P.	L.B.P.	B.P.C.		
379.000	12.05	11.60	-.45	12.05	11.53	-.52	12.05	11.37	-.68	Nature	
375.000	9.42	9.68	.26	9.42	9.98	.56	9.42	10.05	.63		
372.000	5.60	5.48	-.12	5.60	5.42	-.18	5.60	5.36	-.24		
368.000	10.30	10.44	.14	10.30	10.54	.24	10.30	10.62	.32		
365.000	4.60	4.70	.10	4.60	4.78	.18	4.60	4.82	.22		
364.360	14.20	13.85	-.35	14.20	13.82	-.38	14.20	13.78	-.42		
364.000	11.10	11.28	.18	11.10	11.32	.22	11.10	11.35	.25		
363.000	10.60	10.66	.06	10.60	10.70	.10	10.60	10.72	.12		
362.000	8.85	8.97	.11	8.85	8.97	.12	8.85	8.98	.13		
361.000	9.40	9.46	.06	9.40	9.47	.07	9.40	9.48	.08		
359.000	9.70	9.81	.11	9.70	9.82	.12	9.70	9.83	.13		
357.000	9.10	8.98	-.12	9.10	8.95	-.15	9.10	8.92	-.18		

Table 3(b). Bed Profile Changes in Movable Bed Model Test - Case 2(Planning)

(Unit : EL. cm)

Cross Section (No.)	Discharge (CMS)									Note	
	0.01250			0.02500			0.03355				
	F.B.P.	L.B.P.	B.P.C.	F.B.P.	L.B.P.	B.P.C.	F.B.P.	L.B.P.	B.P.C.		
379.000	12.05	11.58	-.47	12.05	11.51	-.54	12.05	11.46	-.59	Planning	
375.000	9.42	9.70	.28	9.42	9.99	.57	9.42	10.07	.65		
372.000	5.60	5.50	-.10	5.60	5.41	-.19	5.60	5.38	-.22		
368.000	10.30	10.42	.12	10.30	10.55	.25	10.30	10.61	.31		
365.000	4.60	4.69	.09	4.60	4.77	.17	4.60	4.81	.21		
364.270	12.60	12.45	-.15	12.60	12.26	-.34	12.60	12.20	-.40		
364.000	11.10	11.27	.17	11.10	11.33	.23	11.10	11.36	.26		
363.000	10.60	10.65	.05	10.60	10.68	.08	10.60	10.70	.10		
362.000	8.85	8.98	.13	8.85	8.98	.13	8.85	8.98	.13		
361.000	9.40	9.46	.06	9.40	9.47	.07	9.40	9.49	.09		
359.000	9.70	9.81	.11	9.70	9.81	.11	9.70	9.82	.12		
357.000	9.10	8.97	-.13	9.10	8.95	-.15	9.10	8.92	-.18		

Table 3(c). Bed Profile Changes in Movable Bed Model Test - Case 3(Modification)

(Unit : EL. cm)

Cross Section (No.)	Discharge (CMS)									Note	
	0.01250			0.02500			0.03355				
	F.B.P.	L.B.P.	B.P.C.	F.B.P.	L.B.P.	B.P.C.	F.B.P.	L.B.P.	B.P.C.		
379.000	12.05	11.57	-.48	12.05	11.50	-.55	12.05	11.45	-.60	Modification	
375.000	9.42	9.71	.29	9.42	10.00	.58	9.42	10.08	.66		
372.000	5.60	5.49	-.11	5.60	5.40	-.20	5.60	5.37	-.23		
368.000	10.30	10.43	.13	10.30	10.56	.26	10.30	10.62	.32		
365.000	4.60	4.68	.08	4.60	4.76	.16	4.60	4.80	.20		
364.270	12.10	11.98	-.12	12.10	11.81	-.29	12.10	11.76	-.34		
364.000	11.10	11.27	.17	11.10	11.38	.28	11.10	11.39	.29		
363.000	10.60	10.63	.03	10.60	10.66	.06	10.60	10.75	.15		
362.000	8.85	8.98	.13	8.85	8.98	.13	8.85	8.98	.13		
361.000	9.44	9.46	.02	9.40	9.44	.04	9.40	9.46	.06		
359.000	9.70	9.81	.11	9.70	9.81	.11	9.70	9.82	.12		
357.000	9.10	8.97	-.13	9.10	8.95	-.15	9.10	8.92	-.18		

[Note] + : Deposition, - : Scouring

F.B.P. : First Bed Profile, L.B.P. : Last Bed Profile, B.P.C. : Bed Profile Changes

(Unit : PER. %)

Table 3(d). The Ratio of Bed Profile Changes in Movable Bed Model Test

Cross Section (No.)	Discharge (CMS)								Note	
	Case 1			Case 2			Case 3			
	0.01250	0.02500	0.03355	0.01250	0.02500	0.03355	0.01250	0.02500	0.03355	
379.000	-3.73	-4.32	-5.64	-3.90	-4.48	-4.90	-3.98	-4.56	-4.98	
375.000	2.76	5.94	6.69	2.97	6.05	6.90	3.08	6.16	7.01	
372.000	-2.14	-3.21	-4.29	-1.79	-3.39	-3.93	-1.96	-3.57	-4.11	
368.000	1.36	2.33	3.11	1.17	2.43	3.01	1.26	2.52	3.11	
365.000	2.17	3.91	4.78	1.96	3.70	4.57	1.74	3.48	4.35	
364.360(270)	-2.46	-2.68	-2.96	-1.19	-2.70	-3.17	-0.99	-2.40	-2.81	360:Nature
364.000	1.62	1.98	2.25	1.53	2.07	2.34	1.53	2.52	2.61	270:Planning,
363.000	0.57	0.94	1.13	0.47	0.75	0.94	0.28	0.57	1.42	Modification
362.000	0.23	1.36	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
361.000	0.64	0.74	0.85	0.64	0.74	0.96	0.21	0.43	0.64	
359.000	1.13	1.24	1.34	1.13	1.13	1.24	1.13	1.13	1.24	
357.000	-1.32	-1.65	-1.98	-1.43	-1.65	-1.98	-1.43	-1.65	-1.98	

[Note] + : Deposition ratio, - : Scouring ratio

4.3. 수치해석법

이동상 수리모형실험 하도구간의 취수보 시설 상·하류의 하상의 세굴 및 퇴적 등의 하상변동형태를 수치모의하여 이동상 수리모형실험의 타당성을 검토하고, 수리모형실험을 수행하기에 어려운 문제점인 전 구간에 걸친 하상변동을 정량적으로 표현하는 것을 보완하기 위하여 수치해석법을 수행하는 Hybrid기법을 실시하였다. 현 상태의 임시돌보, 계획안 및 개선안에 대한 수리모형실험에서의 정성적인 하상변동을 보완하기 위하여 1차원 하상변동모형인 HEC-6 모형을 이용하여 실험유량에 대한 하상변동량을 정량적으로 모의하였다. Fig. 4(a)~(c)는 현 임시돌보, 계획안 및 개선안에 대한 5,000 cms, 10,000 cms, 13,420cms의 실제유량을 원형의 실제시간 24시간동안 모의시킨 결과 하상의 변동량을 나타낸 것이다.

HEC-6 모형에 의한 수치해석 결과에 의하면 각 유량별 하상변동량은 100년 빈도홍수량인 13,420 cms일 경우의 하상변동량이 5,000 cms 및 10,000 cms 보다 세굴 및 퇴적량이 변화가 많은 것으로 나타났으며, 각 유량별에 대한 취수보 상·하류 단면의 하상변동에 있어서는 개선안이 하상변동량이 가장 적어서 안정적인 하상을 유지하

는 것으로 분석되었다. HEC-6모형의 결과를 이동상 수리모형실험의 결과와 비교해 보면 하상변동의 양상이 유사한 것으로 나타났으며, 수리모형실험으로 전 구간에 대한 정량적인 해석을 하기가 어려운 난점을 수치해석법을 통하여 보완하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 적용한 수리모형실험과 수치해석법의 각 단점을 보완하는 Hybrid기법은 타당한 것으로 나타났다.

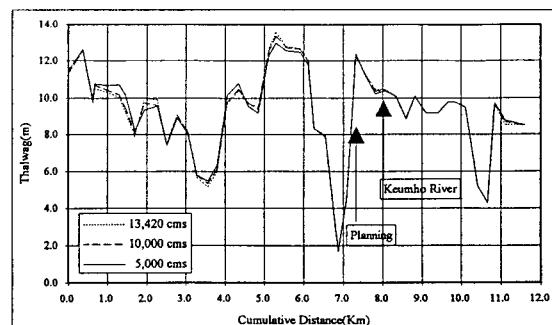


Fig. 4(b). Bed profile changes by the HEC-6 model simulation(planning).

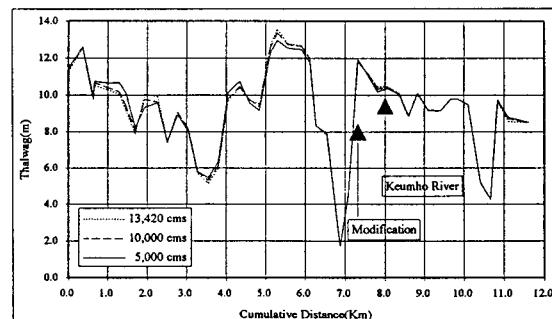


Fig. 4(c). Bed profile changes by the HEC-6 model simulation(Modification).

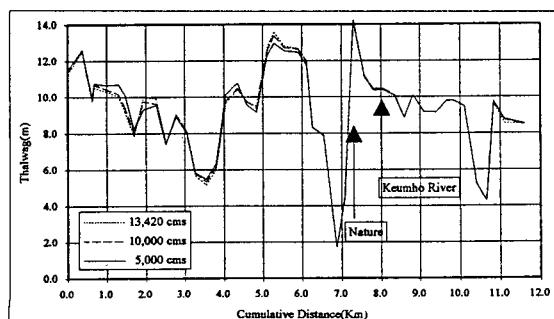


Fig. 4(a). Bed profile changes by the HEC-6 model simulation(Nature).

5. 결 론

본 연구에서는 대구광역시의 상수원수를 취수하기 위하여 현재 낙동강 본류에 임시돌보를 설치하여 운영중에 있으나, 계속적인 하상저하로 인하여 평상수위에서도 돌보가 없이는 취수가 불가능한 실정이다. 뿐만 아니라 돌보상류에서는 퇴적현상으로 취수장 부근의 하상 준설이 매년 필요하고 하류의 우안부에 위치한 고수부지는 포락 현상이 발생되고 있다. 그러므로 대구광역시에서는 현재의 취수시설을 개체하여 상시 취수 가능수위를 유지하고 보상류의 토사를 방지할 수 있는 고정보 상태인 현재의 임시돌보를 가동보로 교체함으로써 보상류부의 홍수위를 저하시키고 정기적인 배수를 통하여 물의 정체를 막아 수질을 개선코자 계획하고 있다. 따라서 본 이동상 수리모형실험에서는 현재의 임시돌보 대신에 가동보로 취수시설을 개체했을 경우에 이 시설개체로 인하여 하상과 하도의 양안에 미치는 수리학적 영향을 이동상 수리모형실험을 통하여 하상의 변동 및 문제점을 검토하도록 하였으며, 실험분석한 결과는 다음과 같다.

1) 본 이동상 수리모형실험을 위하여 모형의 축척이 수평축척비 400과 연직축척비 100인 왜곡모형을 제작하였으며, 또한 모형사로는 규조토대신에 비중이 1.48인 Anthracite를 선택하여 소류사기준을 다소 완화시켰고, 원형에서의 각 유량에 대하여 모형에서 계산된 유사농도에 해당하는 모형사의 양을 조절하도록 하였다.

2) 기초실험에서 유량은 선정된 모형사의 유사량과의 상관관계를 파악할 수 있도록 선정하였다. 또한 기초실험수로의 상류단에 설치된 삼각형웨어에 대하여 사전에 유량검증실험을 실시하여 유량검증곡선을 작성하였으며, 기초실험에서 관측된 유사량자료를 이용하여 유량-유사량 관계를 유도하였다.

3) 이동상실험에서 임시돌보 직하류는 세굴 및 우안부의 저수호안에서는 포락이 발생되고 있다. 그러나 계획안과 개선안의 경우는 홍수시 보정상부의 도복에 의하여, 직하류부의 세굴현상이 크게 감소하고 있으며, 특히 개선안의 경우 직하류부의 세굴 및 하상변동율이 가장 적고, 호안의 포락현상이 방지되어서 가장 안정된 하상을 유지하는 것으로 분석되었다.

4) 이동상 수리모형실험의 타당성을 검토하고, 이동상 수리모형실험을 수행하기에 어려운 문제점인 전 구간에 걸친 하상변동을 정량적으로 표현하는 것을 보완하기 위하여 수치해석법을 실시하였으며, 정성적인 하상변동을 보완하기 위하여 1차원 하상변동모형인 HEC-6 모형

을 이용하여 실험유량에 대한 하상변동량을 정량적으로 모의한 결과 취수보 상·하류 단면의 하상변동에 있어서는 개선안이 하상변동량이 가장 적어서 안정적인 하상을 유지하는 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

- 1) 이순탁, 김성원, 1997a, 인공수로에서 모형실험에 의한 개수로흐름의 수리특성해석 : I, 고정상해석, 영남대학교 공업기술연구소 논문집, 제25권 제1호.
- 2) Ponce, V. M., 1989, Engineering Hydrology, Prentice Hall.
- 3) Sharp, J. J., 1981, Hydraulic Modeling, Butterworth & Co., Ltd.
- 4) 김성원, 안승섭, 이종석, 1998, 자연하도에서 하상변동의 수치해석 시뮬레이션, 한국농공학회지, 제 40권 제 3호.
- 5) 건설부, 1993, 낙동강하천정비기본계획(보완조사 III).
- 6) 대구광역시, 1996, 낙동강 취수보 시설개체 수리모형 실험 보고서.
- 7) 산업기지개발공사, 1976, 한강하류부 수리모형실험(이동하상실험)보고서.
- 8) French, R. H., 1987, Open-Channel Hydraulics, McGraw-Hill Book Company.
- 9) Handerson, F. M., 1966, Open Channel Flow, Macmillan publishing CO., Inc.
- 10) Kobus, H., 1980, Hydraulic Modeling, Pitman Books Limited.
- 11) Scheffner, N. W. and L. G. Crosby, 1981, Verification of the Chesapeake Bay Model, Technical Report HL-81-14, U. S. Army Engineer Waterway Experiment Station.
- 12) Shen, H. W., 1990, Movable Bed Physical Models, Kluwer Academic Publishers.
- 13) 김성원, 고병련, 조정석, 1998a, 결정론적 유사량 산정공식의 민감도 분석에 관한 연구, 한국환경과학회지, 제7권 제5호.
- 14) 김성원, 지홍기, 1998b, 하천유량 측정기법에 관한 연구, 한국환경과학회지, 제7권 제6호.
- 15) 김성원, 지홍기, 이순탁, 1997b, 인공수로에서 모형실험에 의한 개수로흐름의 수리특성해석 : II, 이동상해석, 영남대학교 공업기술연구소 논문집, 제25권 제2호.