

자연하도 하구부의 방사보에 의한 수리학적특성 해석 Analysis of Hydraulic Characteristics by Sediment Protection Weir on Natural River Estuary

안승섭*, 최윤영**
Seung-Seop Ahn*, Yun-Young Choi**

<Abstract>

This study examines the effects of removal of the sediment protection weir at Taehwa river mouth on hydraulic and around river environment considering the fact that the effects of the sediment protection weir which is installed to protect water level drop of Ulsan harbor caused by sediments according to flood in Taehwa river, Dong-chun, and so forth may add water quality contamination by flow stagnation in normal and drought period and accumulation of pollutants. The result is as follows. First, it is estimated from the examination of variation characteristics water depth and level for Taehwa river before and after removal of the sediment protection weir that about 0.01m of water depth down according to removal of the sediment protection weir occurs when low flow runs between the sediment protection weir which is located about 2.3km away from the estuary and Samho-gyo which is about 9.0km away from the sediment protection weir, and about 0.01~0.56m(directly upstream point of the sediment protection weir 0.56m, Myongchon-gyo 0.14m, Ulsan-gyo 0.03m, and Taehwa-gyo 0.02m) downs when design flood flows between the sediment protection weir and the upstream of Taehwa-gyo which is 10km away from the sediment protection weir. Therefore, it is thought that variation of hydraulic characteristics of water depth down and so on according to removal of the sediment protection weir is slight because water depth variation is only about 1cm between directly upstream point of the sediment protection weir and Samho-gyo. Next, it is estimated from the examination of variation characteristics of flow velocity for Taehwa river before and after removal of the sediment protection weir that about 0.01m/s of flow velocity increase occurs between the directly upstream point of the sediment protection weir which is about 2.4km away from the estuary and the directly upstream point of Samho-gyo when low flow runs, and about 0.01~0.44m/s increases between the sediment protection weir and Samho-gyo when design flood flows. Therefore, riverbed erosion by the increased flow velocity is concerned but it is thought that the concern about riverbed erosion is not great because the mean velocity is about 0.07~1.36m/s when low flow runs, and about 1.02~2.41m/s when design flood flows for the sector which experiences the flow velocity variation.

Key Word : Sediment Protection Weir, Hydraulic Structure & Characteristics

* 정희원, 경일대학교 측지공학과 조교수, 工博
E-mail : ahnsso@bear.kyungil.ac.kr

** 정희원, 경북도립대학 토목환경과 전임강사, 工博
E-mail : yychoi@mail.kyongdo.ac.kr

* Assistant Professor, Dept. of Geodetic Engineering,
Kyungil University, ph.D

** Full-time Lecture, Dept. of Civil & Environmental,
Kyongbuk Provincial College, ph.D

1. 서 론

일반적으로 도시하천의 주변은 경제력이 집중되어 있고 토지이용과 도시경관의 조화로운 개발과 관리가 요청되고 있다. 즉, 도시를 관류하거나 도시주변을 통과하는 하천은 주변의 토지 이용도가 높고 생산시설을 포함한 집단 주거시설 등의 밀집으로 인하여 도시의 경제력이 집중되어 있을 뿐만 아니라 도시민의 인명과도 매우 밀접한 관련이 있으며, 도시민의 휴식공간으로서 매우 중요한 공간적인 기능을 발휘하고 있다(이삼희, 1996)¹⁾.

먼저, 도시하천의 관리는 치수적인 측면에서의 홍수범람과 신속한 내수배제가 될 수 있는 절대 안전을 요하는 치수시설이 필요하며, 한편으로는 경제적, 경관적 측면에서 토지이용도를 높이고 도시미관을 가꾸기 위해서는 기존하천을 현실에 맞도록 재정비를 함으로서 하천으로서 도시의 기능을 제고시킬 수 있는 합리적인 하천의 개발과 관리가 필요하다. 이와 같은 도시하천은 치수, 이수, 환경으로서의 그 역할을 다하고 도시주변 하천으로서 도시기능에 조화로운 하천공간의 적정한 보전과 이용에 관한 기본적인 구상 즉, 하천공간을 포함하는 주변의 자연환경 및 사회환경을 조성하고 지역실정에 맞는 유익한 활용방안의 수립 등은 도시하천에서의 공통된 관심분야이다.

다음으로 도시하천의 기능은 도시민의 휴식 및 정서함양의 기능과 도시계획상의 교량건설, 복개 및 고수부지를 이용한 도로, 주차장, 기타 목적의 토지이용 기능으로 나눌 수 있다. 특히, 하천에 구조물을 건설하여 토지이용도를 높이거나 하폭을 축소 또는 하천선형을 변경하여 도로로 이용하고자 하는 욕구는 각 도시마다 점증하고 있으므로 도시의 급격한 팽창과 성장에 따른 도시하천의 치수관리와 이수관리에 병행하여, 자연생태계의 보존과 도시환경의 개선을 위한 하천환경의 회복과 보전 및 쾌적한 수변환경을 보호하기 위한 대비책 마련이 절실히 필요한 실정이다(안승섭 외, 1998, 1999)²⁾⁻³⁾.

수공구조물을 고려한 하도의 수리학적 특성에 관한 연구는 Doeringsfeld & Barker(1941)⁴⁾와 Anonymous(1960, 1964 & 1979)⁵⁾⁻⁷⁾에 의해 해석방

법 및 실용화 방안이 제안되었으며, Kindsvater (1964)⁸⁾에 의해 제체형 웨어의 유량특성, Colson et. al.(1978)⁹⁾에 의해 구조물에 의한 배수현상, Kaatz & James(1997)¹⁰⁾에 의한 교량에 의한 배수해석, Fritz & Hager(1998)¹¹⁾에 의한 웨어의 수리학적 특성 해석에 관한 연구 등이 진행된바 있으나 수공구조물이 수리학적특성에 미치는 국내에서의 연구는 미진한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 태화강 하구 방사보가 도시환경에 미치는 수변환경 보전측면과 치·이수측면에서 존치유무에 대한 많은 문제점을 가지고 있으므로 방사보가 미치는 수리학적 변화특성을 분석·검토함으로서 친환경적인 하천 공간개발의 방향을 제안하는데 목적을 두었다.

2. 수리학적 변화특성 분석을 위한 기본이론

본 연구에서는 하도상에 설치된 수공구조물이 하도의 수리학적 특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여, 태화강 하도의 하구부에 설치되어 운영중인 방사보를 대상으로 하여 방사보 존재 유무에 따른 수리학적 변화특성 중에서 하도단면의 수심·유속·홍수위 및 토사이동량과 같은 수리특성에 대하여 분석하였다.

일반적으로 수공구조물에 따른 하도의 홍수위 및 유하특성을 분석하기 위해서는 소유역별 홍수유출 분석결과를 기초로 한 기본홍수량을 실제하도에 재현시켜 각 하도구간별 통수능력을 검토하고 평가하는 것이 필요하다(Anonymous). 일반적으로 홍수소통상태와 통수능력을 평가하는데는 표준축차법(standard step method)을 사용하고 있으며 수면형 계산은 표준축차법에 기초를 둔 HEC-2모델(1990)¹²⁾을 선정하고 이로부터 하도의 통수능력을 분석·평가를 하고 있다.

이 모델은 자연하천의 점변류에 대한 수면형(water surface profiles)을 계산하는데 활용되고 있다. 특히 이 모델은 하도상의 각종 시설물인 교량, 암거, 보 및 고수부지 등의 인공 또는 자연상태의 불규칙한 하도단면에서도 그 영향이 고려될 수 있으며, 상류(subcritical flow)와 사류(supercritical flow)에서도 분석이 가능하다.

특히 본 연구에서 적용된 방사보는 수중 weir

로서 잠수교 역할을 하게 되므로 교량에 의한 배수의 영향도 동시에 고려할 필요가 있다. 대부분의 도시 하천유역에 대한 홍수터(flood plain) 연구에 있어서 교량을 통과할 경우의 수면곡선의 변화는 교량의 형태와 복잡한 조건으로 인하여 흐름 해석은 다루기 어려운 문제 중의 하나이다. 교량과 암거(clvert)에서 일어나는 대부분의 에너지 손실은 구조물의 직상류 수로와 직하류 수로에서 발생하는 손실과 구조물 통과시의 손실로 볼 수 있다. 교량의 직상류는 수축으로 인한 천이(transition)상태이고, 직하류는 확장으로 인한 천이상태이다. 보통 이 두 수로구간에서의 에너지 손실을 HEC-2에서는 표준축차법으로 해석한다.

표준축차계산법은 Manning 공식에 의한 마찰 손실을 고려하여 1차원류 에너지방정식(One Dimensional Energy Equation)의 해를 구하는 방법이며, 하도의 흐름이 정상류(Steady Flow)이면서 점변류에 대한 1차원류의 에너지 방정식은 식 (1)과 같이 정의할 수 있으며,

$$Z_1 + Y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

흐름의 속도분포가 일정하고 단면간의 손실이 없다면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_i + Y_i + \alpha_i \frac{V_i^2}{2g} = Constant \quad (2)$$

여기서, Z 는 각 횡단면의 하도저면 표고, Y 는 각 횡단면의 수심, α 는 각 횡단면에 대한 에너지 계수, V 는 각 횡단면의 평균유속, g 는 중력 가속도이며, h_e 는 각 횡단면 사이의 에너지 손실을 나타낸다.

앞에서 정의한 1차원류의 에너지방정식은 수로경사가 작은 하천($\cos \theta \approx 0$)에 적용할 수 있으며, 자연하도의 수리특성을 해석하는 데는 일반적으로 표준축차법을 널리 이용하고 있다.

따라서 하도의 흐름이 정상류(Steady Flow)이면서 점변류에 대한 1차원류의 에너지방정식은 다음 식 (3)과 같이 정의할 수 있다.

$$WS_2 + \alpha_2 \frac{U_2^2}{2g} = WS_1 + \alpha_1 \frac{U_1^2}{2g} + h_e \quad (3)$$

여기서, WS_1, WS_2 는 구간별 양단의 수위, U_1, U_2 는 구간별 양단의 평균유속(총유량/총유수단면적), h_e 는 에너지 손실수두로서 다음과 같이 정의할 수 있다.

에너지 보정계수 α 는 다음 식 (4)와 같이 계산된다.

$$\alpha = \frac{A_t^2}{K_t^3} \left\{ \frac{K_{lob}^3}{A_{lob}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{rob}^3}{A_{rob}^2} \right\} \quad (4)$$

여기서, A_t 는 총 유수단면적, A_{lob}, A_{ch}, A_{rob} 는 하도의 우안, 저수로 및 좌안의 유수단면적, K_t 는 총 통수능이며, K_{lob}, K_{ch}, K_{rob} 는 하도의 우안, 저수로 및 좌안의 통수능계수로서 Manning 공식을 사용하면 식 (5)와 같이 정의된다.

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3} \quad (5)$$

여기서, n 은 조도계수, A 는 유수단면적이며, R 은 동수반경이다.

다음으로, 하도구간의 길이(reach length) L 은 다음 식 (6)에 의해서 계산된다.

$$L = \frac{L_{lob} \cdot Q_{lob} + L_{ch} \cdot Q_{ch} + L_{rob} \cdot Q_{rob}}{Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}} \quad (6)$$

여기서, L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} 는 하도의 좌안, 저수로 및 우안의 연장, Q_{lob}, Q_{ch}, Q_{rob} 는 하도의 좌안, 저수로 및 우안의 양단 평균유량을 나타낸다. 또한 에너지 손실수두(energy head loss) h_e 는 하도구간의 마찰손실과 급획급축손실을 고려하면 식 (7)과 같이 정의할 수 있다.

$$h_e = L \cdot S_f + \frac{C}{2g} (\alpha_2 U_2^2 - \alpha_1 U_1^2) \quad (7)$$

여기서, L 은 하도구간 길이, S_f 는 구간별 마찰 경사(friction slope)이며, C 는 단면의 확대 및 수축에 대한 손실계수로 정의할 수 있다.

또한 교량구조물을 통과할 경우 배수의 해석

방법은 정상교량법(normal bridge method), 특수교량법(special bridge method) 등이 있으나 본 연구에서는 저류유출(low flow), 압력 흐름(pressure flow), 웨어흐름(weir flow) 혹은 이들의 조합으로 이루어진 흐름 조건에 대하여 적용가능한 특수교량법을 적용하였다.

이 해석 방법에서는 교량 밑의 입구를 주어진 표고와 바닥 넓이와 측면경사를 근거로 사다리꼴로 근사 해석하며, 해석을 위한 단면자료는 Fig. 1과 같이 4개가 필요하다.

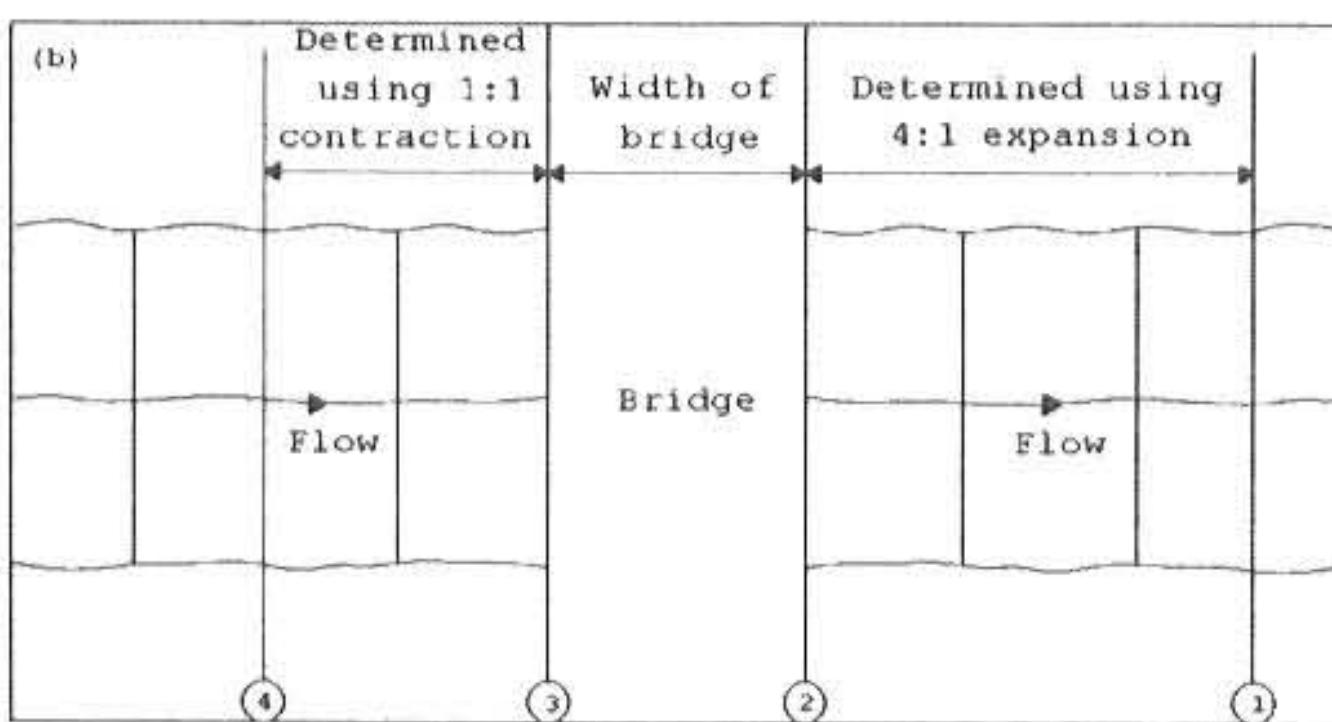


Fig. 1 Cross Section for Special Bridge Method.

흐름의 조건에 의한 분류 중에서 먼저, low flow 경우는 Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 교량의 하현재(low chord)와의 접촉이 없는 흐름이 교량 밑으로 흐르는 경우이다. low flow이고 교각이 없는 경우 HEC-2는 자동적으로 정상교량법(normal bridge method)을 선택하는데, 이는 그러한 경우에는 더욱 정확하기 때문이다. 교각이 있을 때 교량하부 low flow의 경우에 HEC-2는 3가지의 경우 즉, Fig. 3~5와 같이 A, B, C 3개형으로 고려할 수 있다.

여기서, A형 저류량 흐름은 상류(Subcritical flow)일 때 발생하며, 수위의 변화는 식 (8)과 같은 Yarnell 공식을 이용하여 계산한다. 그리고 B형 저류량 흐름은 상류나 사류(subcritical or supercritical flow)에서 존재하고 교량에 의한 단면 축소부에서 수면형이 한계수심을 통과할 때 발생하며, 운동량 flux를 사용하여 계산한다. C형 저류량 흐름은 교량의 축소부를 통과할 때 사류에서 발생하며 운동량 flux에 근거를 둔 운동량 방정식에 의해서 계산한다.

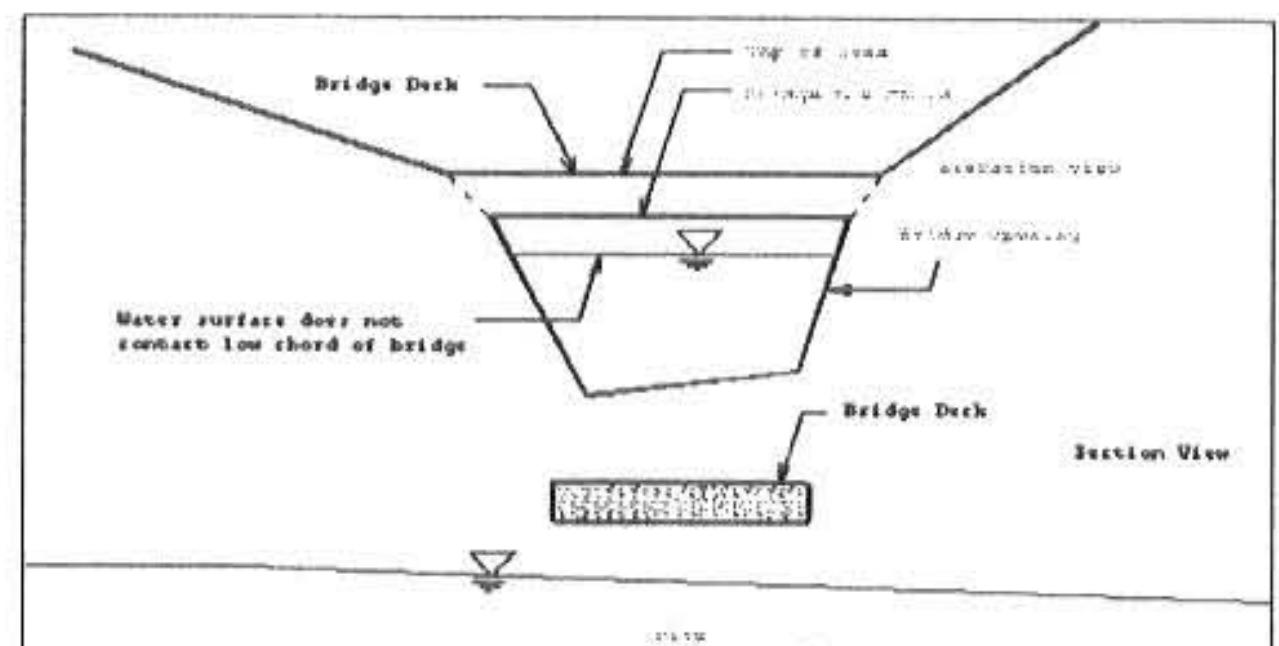


Fig. 2 Section View of Low Flow Condition.

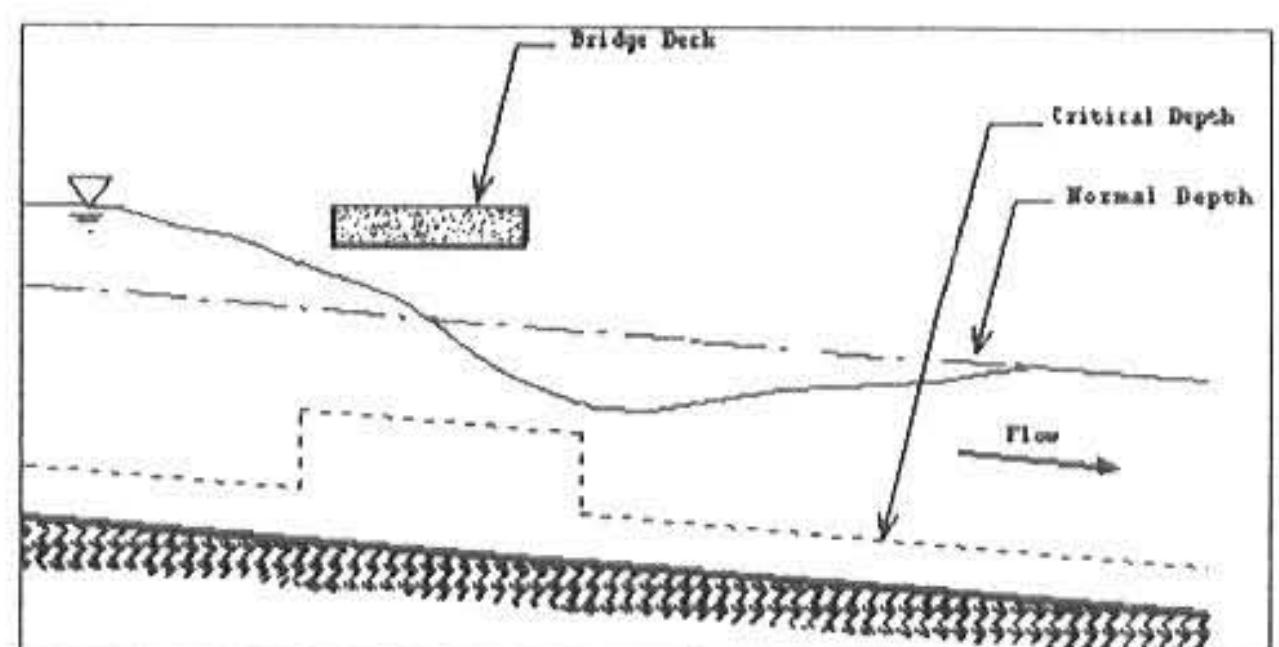


Fig. 3 Class A Low Flow Water Surface Profile through a Bridge Constriction

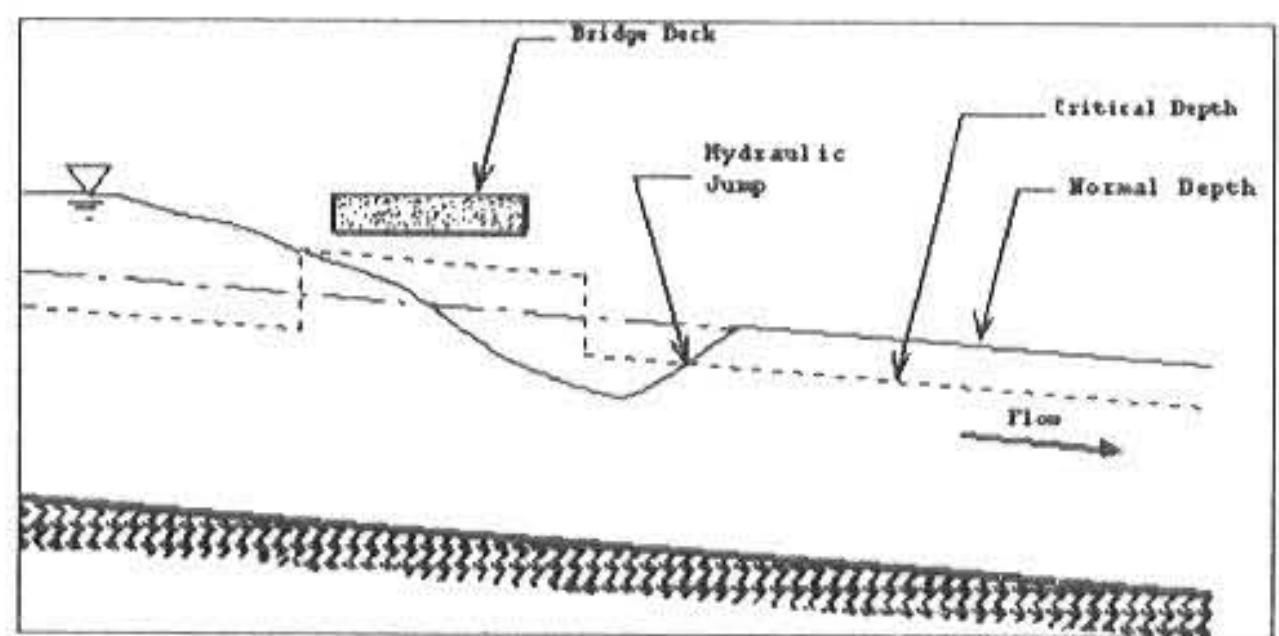


Fig. 4 Class B Low Flow Water Surface Profile through a Bridge Constriction.

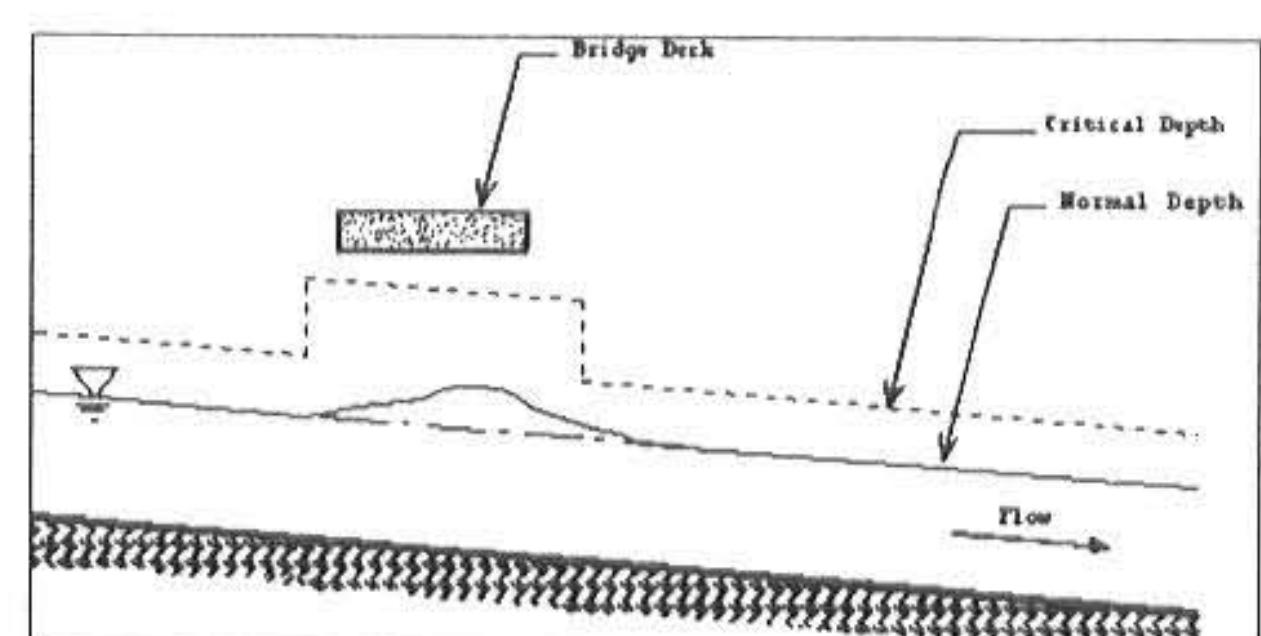


Fig. 5 Class C Low Flow Water Surface Profile through a Bridge Constriction.

$$H_3 = 2K(K + 10\omega - 0.6)(\alpha + 15\alpha^4) \frac{V_3^2}{2g} \quad (8)$$

여기서, H_3 는 교량의 상하류측 수위차, K 는 교각 형상계수(pier shape coefficient), ω 는 교량 하류의 수심에 대한 속도수두의 비, V_3 는 교량 하류의 유속을 나타내며, α 는 식 (9)와 같이 계산한다.

$$\alpha = \frac{\text{교각에 의해 흐름이 방해받는 면적 (obstructed)}}{\text{방해받지 않는 총 면적 (total unobstructed area)}} \quad (9)$$

압력흐름은 Fig. 6에서 나타낸 바와 같이 교량의 상부(deck)가 물에 잠겨서 하현재가 물과 접촉할 때 발생하며, orifice flow와 유사하게 고려하여 식 (10)과 같이 해석한다.

$$Q = A \sqrt{\frac{2gH}{K}} \quad (10)$$

여기서, H 는 상·하류에서 에너지경사의 표고차(HEC-2 모형에서는 에너지선에서 오리피스 중심까지의 거리), K 는 총 손실계수(total loss coefficient), A 는 교량 입구의 단면적이며, Q 는 총 유량을 나타낸다.

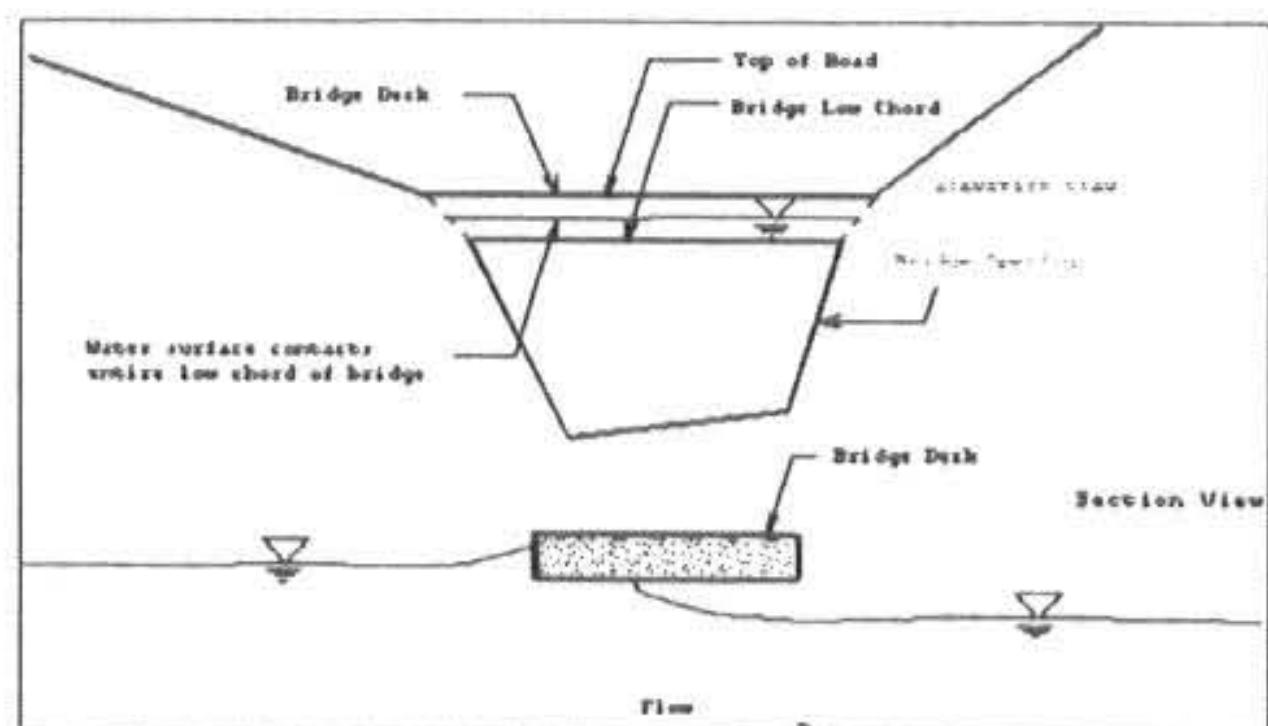


Fig. 6 Section View of Pressure Flow Condition.

웨어흐름(weir flow)은 Fig. 7에서 나타낸 바와 같이 교량과 교량에 근접한 도로상에서 유량이 교량 위로 흐르기 시작하는 흐름으로 고려하여 식 (11)과 같은 표준 weir 공식을 사용하여 계산할 수 있다.

$$Q = CLH^{3/2} \quad (11)$$

여기서, C 는 유량 계수이고, L 은 흐름을 제어하는 weir의 유효길이이며, H 는 에너지 경사선의 표고와 도로 정상부 표고차에 의한 전 수두차를 나타낸다.

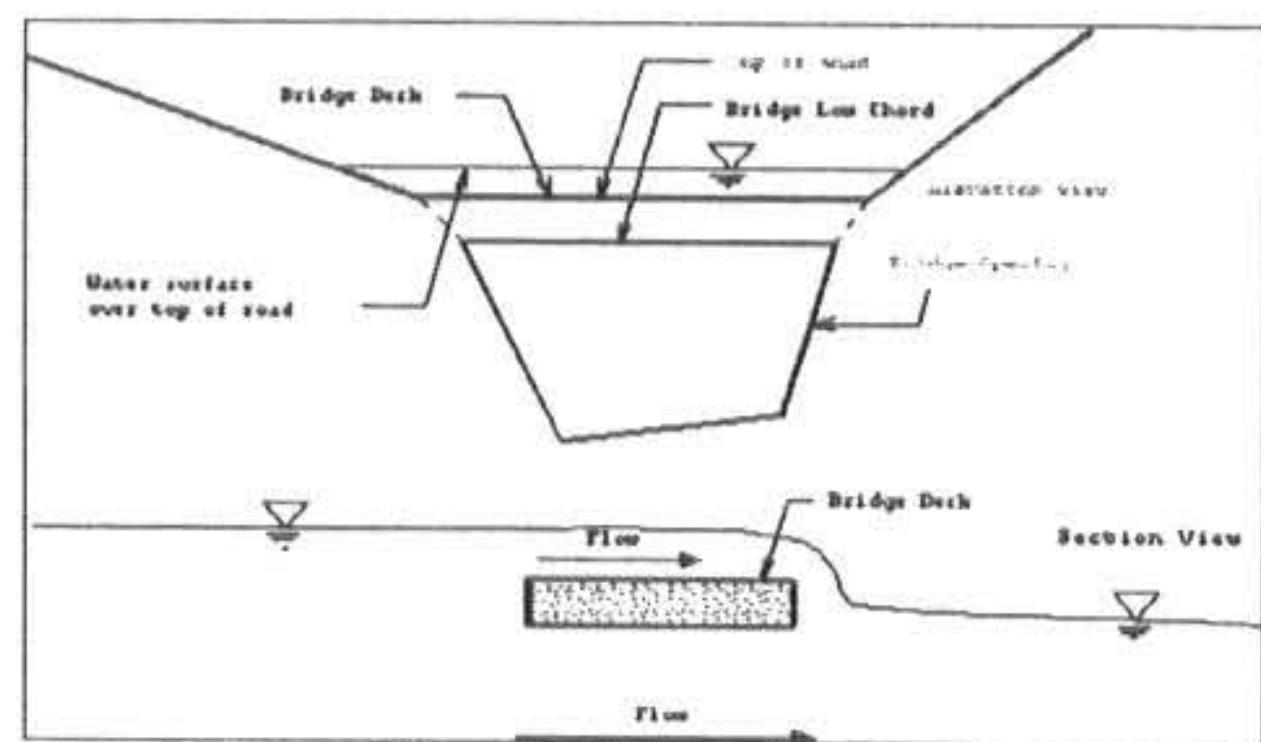


Fig. 7 Section View of Weir Flow Condition.

3. 방사보에 의한 수리학적 변화특성 분석

본 연구에서는 하도상에 설치된 수공구조물에 의한 수리특성 분석을 위하여 태화강 하구부에 설치된 방사보를 대상으로 하였으며, 태화강 본류 하도에 대한 저수량(하구부 50 m³/s, 상류 3.6km 지점 37.5 m³/s, 12.23 km 지점 12.5m³/s)과 계획 홍수량(하구부 3,970 m³/s, 상류 3.6 km 지점 3,000 m³/s, 12.23 km 지점 2,530 m³/s)에 따른 수리학적 변화특성을 분석하였다.

3.1 연구대상 방사보의 특성자료 수집·검토

본 연구의 대상 구조물인 태화강 하구 방사보는 1986년부터 1987년까지 2년간에 걸쳐서 현대자동차(주)의 수출전용부두 토사유입방지와 해수의 역류방지, 공업용수 확보 및 골재채취 등을 목적으로 울산광역시 중구 명촌교 하류의 태화강 하류부에 Fig. 8에서 나타낸 바와 같이 총연장 600m, 폭 1m로 건설되어 있다. 그러나 이 방사보가 도시환경에 미치는 수변환경 보전 측면과 치·이수측면에서 존치유무에 대한 많은 문제점을 가지고 있으므로 방사보가 미치는 수문학적 및 환경학적 요인을 조사분석 할 필요가 있다.

분석을 위한 기본자료 중에서 하도의 단면특성은 “태화강 하천정비 기본계획 보고서(1987, 건설교통부 & 1991, 경상남도)”를 기초로 하되 방사보 상류 200m부터 하구까지는 하도단면의 변화상태를 고려하여야 하므로 하도 심천측량을 실시하여 그 결과를 이용하였으며, 도심부를 관류하는 구간인 동천합류점 직하류 200m부터 삼호교 구간까지 약 8Km구간은 하천개수 및

수변공간조성을 위한 계획이 수립되어 있으므로 “태화강 하천정비계획 검토 및 죽림존치 여부에 대한 조사연구 보고서(1995, 태화 3지구 토지구획정리조합)”와 “태화강 환경조사 및 보전대책연구 보고서(1997, 울산광역시)”에서 실시한 하천 종·횡단정밀측량 결과를 분석에 이용하였다. 분석에 이용된 저수량과 계획홍수량 및 기점 홍수위 관련자료는 본 연구 대상하도 구간에 대한 기존의 연구결과를 참고하였다.

또한 태화강 하류부에 설치되어 있는 방사보의 위치 현황과 제원을 Fig. 8~Fig. 9에서 나타낸 바와 같이 기존 설치당시의 깊이 600m를 하도 중심부의 유심방향을 고려하여 1997년도에 2개소 49m를 제거한후 1998년에 1개소를 추가하여 현재 3개소 89m를 제거하므로 현재 551m가 존치되고 있는 실정이다.

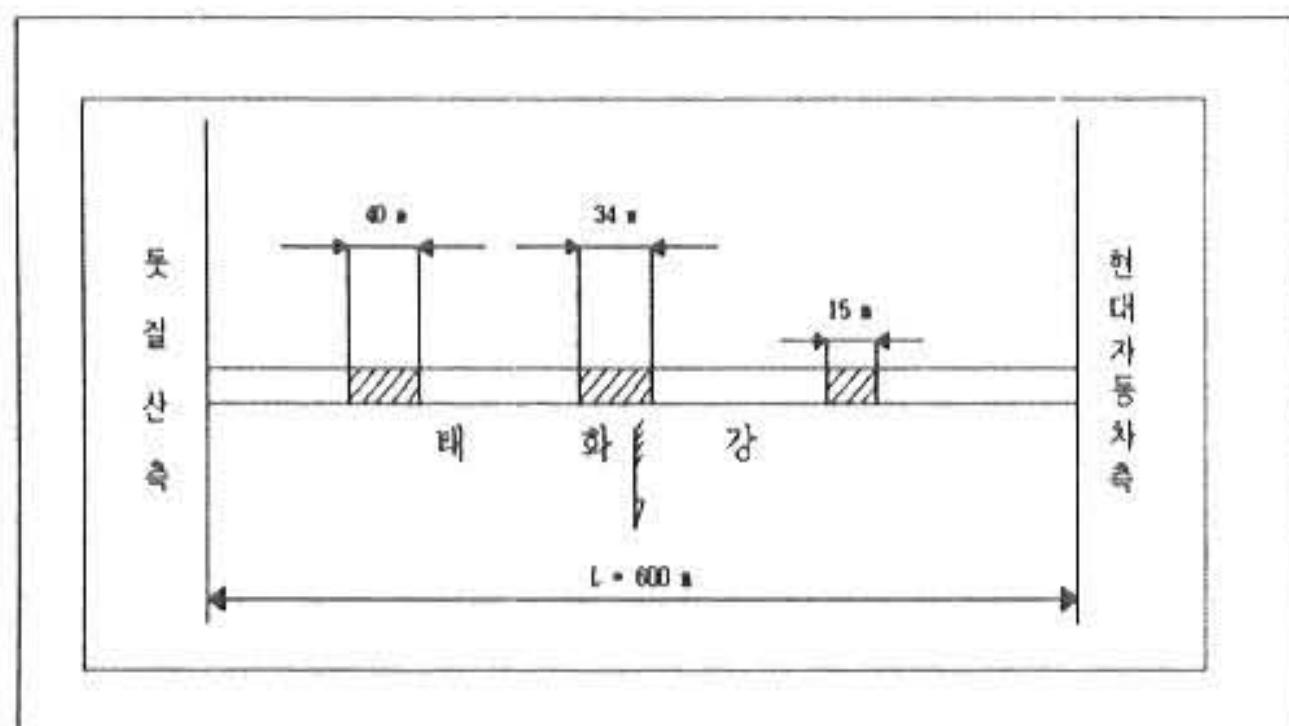


Fig. 8 Location Map of Sand Barrier.

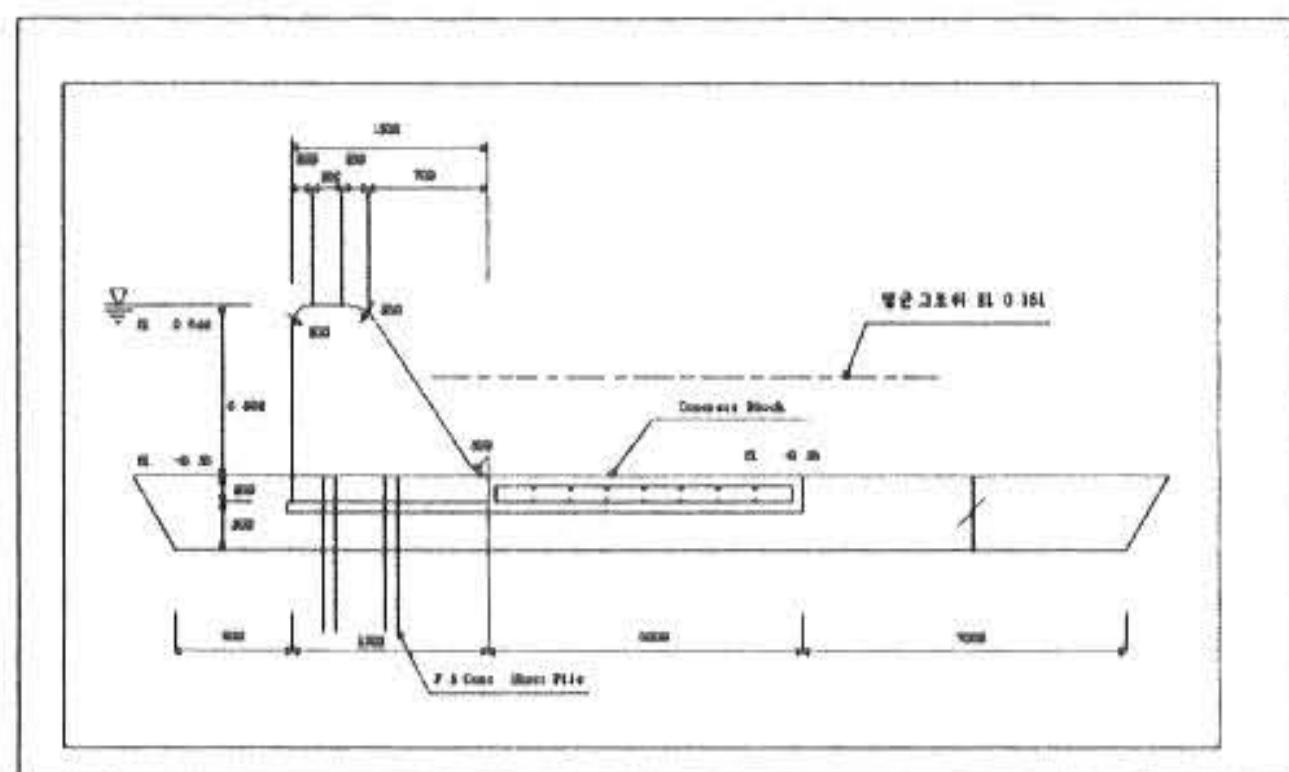


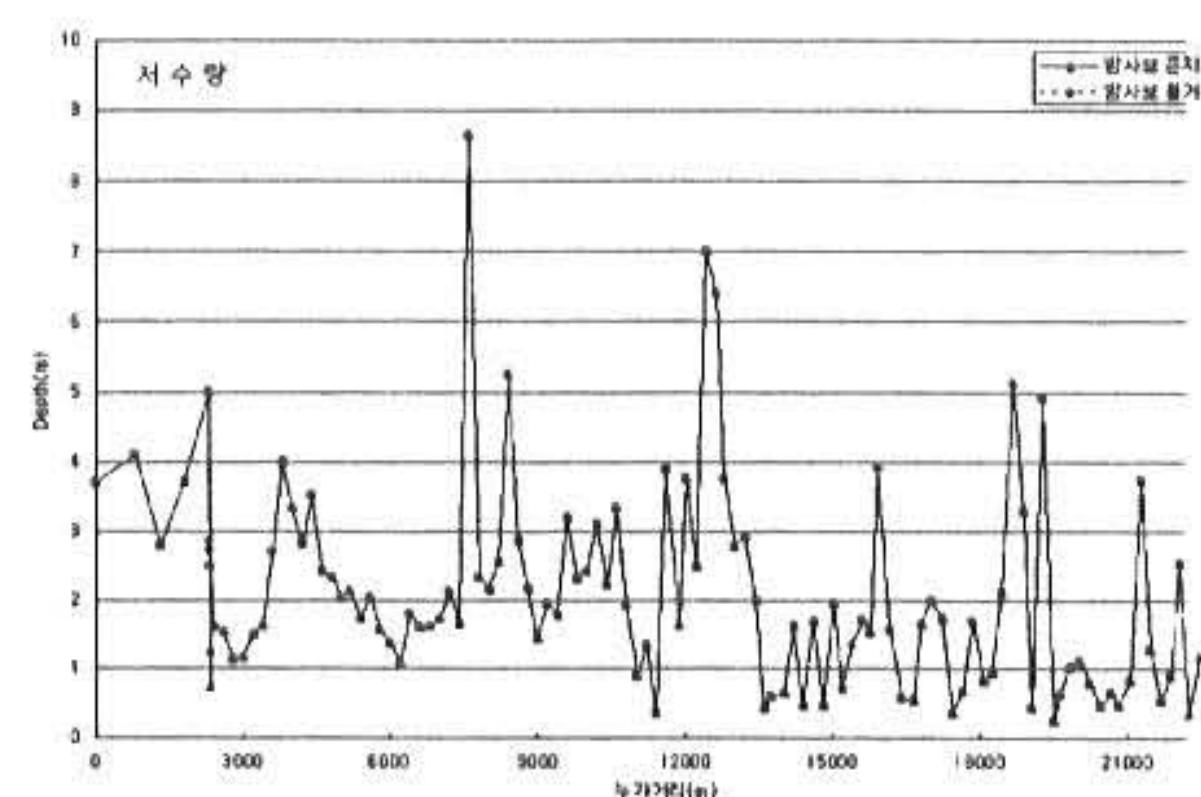
Fig. 9 Geometry and Size of Sand Barrier.

3.2. 방사보에 의한 수리학적 특성분석 검토

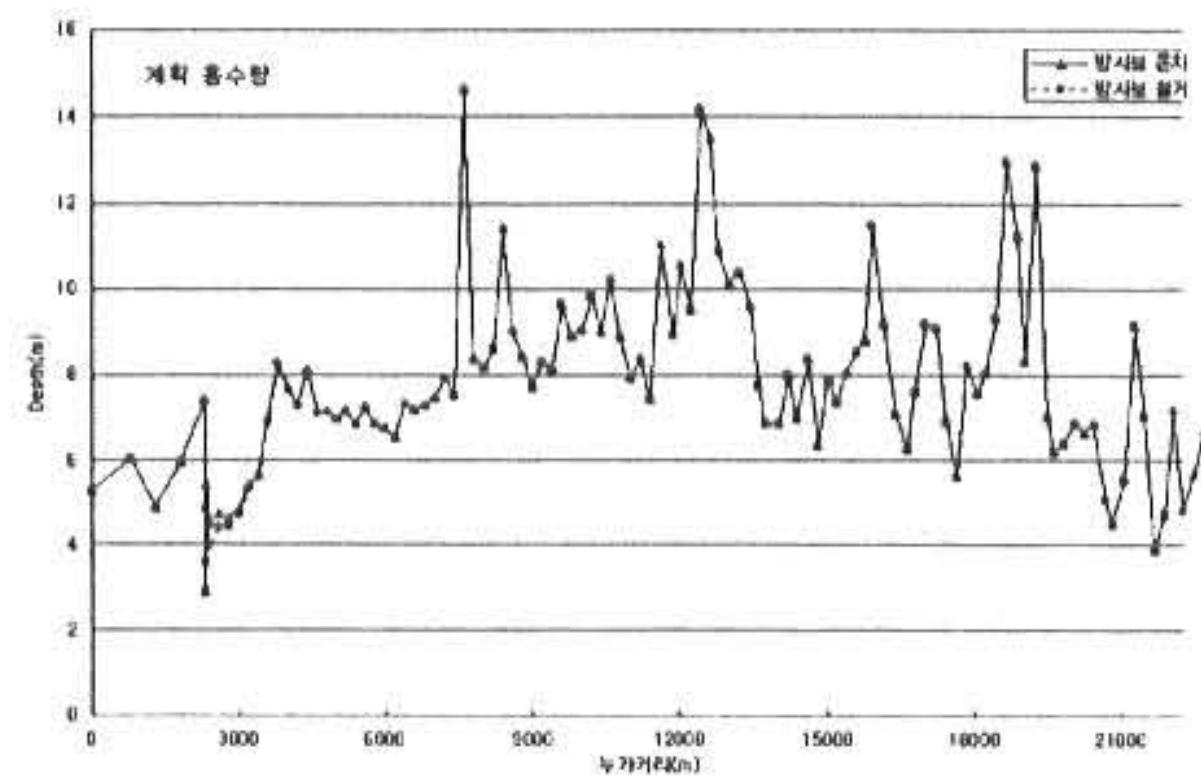
본 연구에서는 수공구조물에 의한 수리학적 특성 변화특성을 분석하기 위하여 현 상태의 방사보 철거전·후에 따른 수리현상을 HEC-2 모형을 이용하여 분석하였으며, 그 결과 Table 1 및 Fig. 10~Fig. 12과 같았다.

(1) 수심특성 변화분석

방사보 철거전·후의 태화강 하도에 대한 수심의 변화 특성을 검토한 결과 Table 1 및 Fig.10에서 검토된 바와 같이 방사보 철거시 저수량 유하시의 수심변화는 하구에서 약 2.3km에 위치한 방사보로부터 약 9.00km에 위치한 태화교 상류까지 약 1cm 정도로 수심이 얕아지는 것으로 검토되었다. 또한 계획홍수량 유하시의 방사보 철거시 수심변화는 방사보로부터 약 10 km에 위치한 태화강 상류까지 약 1~56cm 정도로 수심이 얕아지는 것으로 검토되었다.



(a) Low Flow Condition



(b) Design Floods Condition

Fig. 10 Water Depth Variation Characteristics for Taehwa River Before & After Removal of the Sediment Protection Weir.

(2) 유속특성 변화분석

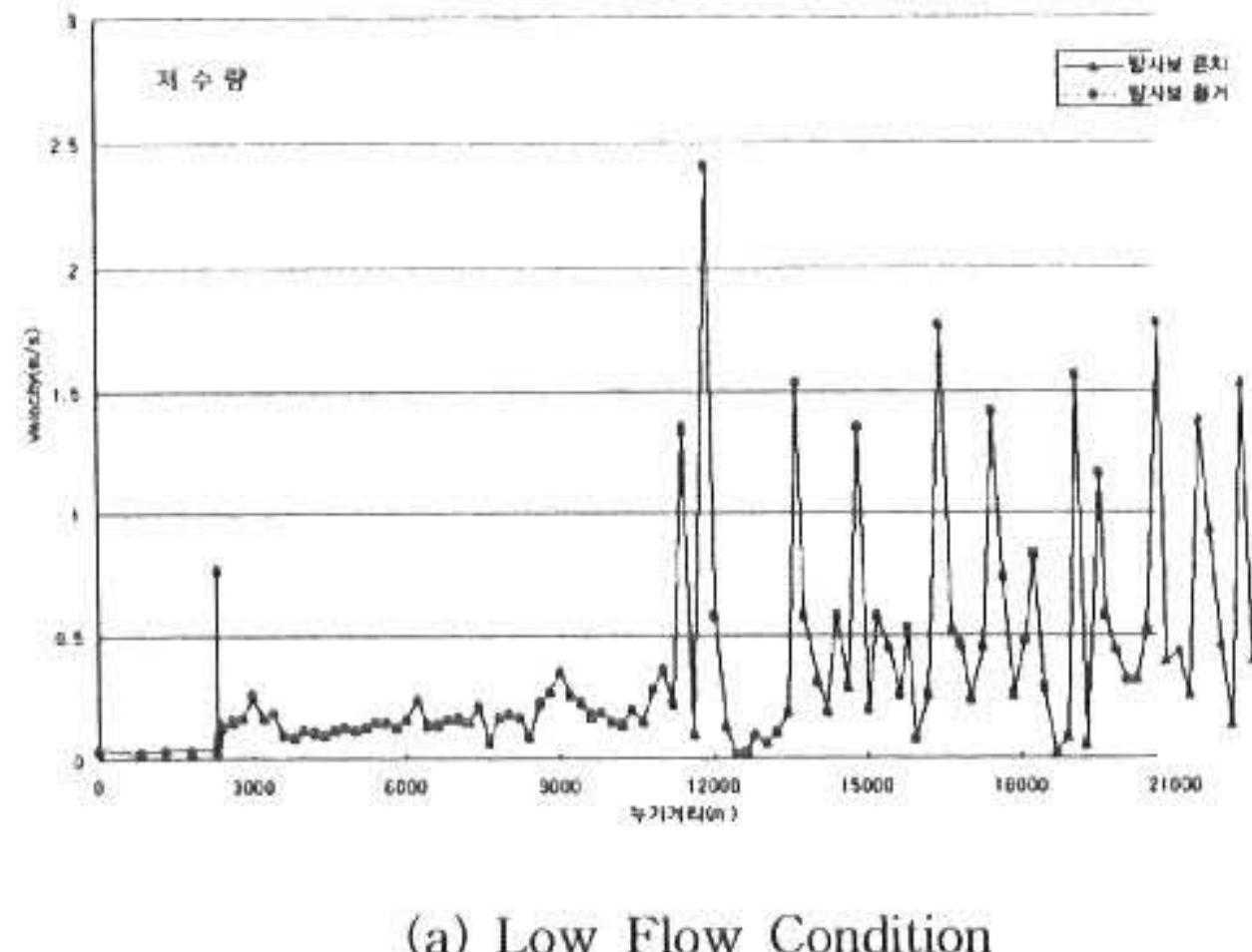
방사보 철거전·후의 태화강 하도에 대한 유속의 변화특성을 검토한 결과 Table1 및 Fig.11에서 검토된 바와 같이 방사보 철거시 저수량 유하시의 유속변화는 하구에서 약 2.4km에 위치한 방사보 직상류로부터 약 11.9km에 위치한 삼호교 직상류까지 약 1 cm/s 정도(삼호교 지점은 2 cm/s 빨라짐)로 유속이 빨라지는 것으로 검토되었다. 또한 계획홍수량 유하시의 방사보

Table 1. Hydraulic Variation Characteristics for Taehwa River Before & After Removal of the Sediment Protection Weir.

Distance(m)	Low Flow						Design Floods					
	Water Depth(m)		Velocity(m/s)		Water Level(EL.m)		Water Depth(m)		Velocity(m/s)		Water Level(EL.m)	
	Maintenance	Removal	Maintenance	Removal	Maintenance	Removal	Maintenance	Removal	Maintenance	Removal	Maintenance	Removal
.00	3.70	3.70	.04	.04	-.10	-.10	5.26	5.26	1.80	1.80	1.46	1.46
800.00	4.10	4.10	.03	.03	-.10	-.10	6.03	6.03	1.46	1.46	1.83	1.83
1300.00	2.80	2.80	.04	.04	-.10	-.10	4.87	4.87	1.58	1.58	1.97	1.97
1800.00	3.70	3.70	.04	.04	-.10	-.10	5.94	5.94	1.58	1.58	2.14	2.14
2300.00	5.00	5.00	.04	.04	-.10	-.10	7.39	7.39	1.68	1.68	2.29	2.29
2320.00	1.25	-	.07	-	-.10	-	3.61	-	1.93	-	2.26	-
2321.30	.73	-	.77	-	-.12	-	2.89	-	4.08	-	2.04	-
2323.30	2.51	2.50	.10	.10	-.09	-.10	5.39	4.83	1.83	2.18	2.79	2.23
2400.00	1.61	1.60	.13	.14	-.09	-.10	4.51	3.96	1.97	2.41	2.81	2.26
2600.00	1.53	1.52	.15	.16	-.07	-.08	4.71	4.40	2.06	2.31	3.11	2.80
2800.00	1.14	1.13	.17	.17	-.06	-.07	4.62	4.42	1.87	1.99	3.42	3.22
3000.00	1.17	1.16	.25	.26	-.03	-.04	4.83	4.69	2.03	2.12	3.63	3.49
3200.00	1.50	1.49	.17	.17	.00	-.01	5.41	5.30	1.67	1.72	3.91	3.80
3400.00	1.62	1.61	.19	.19	.02	.01	5.66	5.57	1.79	1.84	4.06	3.97
3600.00	2.73	2.72	.10	.10	.03	.02	6.95	6.88	1.44	1.46	4.25	4.18
3800.00	4.03	4.02	.09	.09	.03	.02	8.32	8.25	1.68	1.71	4.32	4.25
4000.00	3.33	3.32	.12	.12	.03	.02	7.71	7.65	1.78	1.81	4.41	4.35
4200.00	2.83	2.82	.11	.11	.03	.02	7.32	7.25	1.83	1.86	4.52	4.45
4400.00	3.53	3.52	.10	.10	.03	.02	8.13	8.07	1.77	1.79	4.63	4.57
4600.00	2.43	2.43	.12	.12	.03	.03	7.13	7.08	1.78	1.81	4.73	4.68
4800.00	2.34	2.33	.13	.13	.04	.03	7.14	7.09	1.76	1.78	4.84	4.79
5000.00	2.04	2.03	.12	.12	.04	.03	6.97	6.93	1.59	1.61	4.97	4.93
5200.00	2.14	2.14	.13	.13	.04	.04	7.16	7.12	1.57	1.58	5.06	5.02
5400.00	1.75	1.74	.15	.15	.05	.04	6.85	6.81	1.63	1.64	5.15	5.11
5600.00	2.06	2.05	.15	.15	.06	.05	7.25	7.21	1.65	1.66	5.25	5.21
5800.00	1.57	1.56	.13	.13	.07	.06	6.85	6.82	1.58	1.59	5.35	5.32
6000.00	1.37	1.37	.16	.16	.07	.07	6.73	6.70	1.61	1.63	5.43	5.40
6200.00	1.09	1.08	.24	.24	.09	.08	6.53	6.50	1.55	1.56	5.53	5.50
6400.00	1.80	1.80	.14	.14	.10	.10	7.32	7.29	1.51	1.52	5.62	5.59
6600.00	1.61	1.61	.14	.14	.11	.11	7.19	7.17	1.55	1.55	5.69	5.67
6800.00	1.62	1.61	.16	.16	.12	.11	7.27	7.24	1.60	1.61	5.77	5.74
7000.00	1.73	1.72	.16	.17	.13	.12	7.46	7.43	1.57	1.58	5.86	5.83
7200.00	2.14	2.13	.15	.15	.14	.13	7.96	7.94	1.38	1.39	5.96	5.94
7400.00	1.65	1.65	.21	.21	.15	.15	7.53	7.51	1.35	1.36	6.03	6.01
7600.00	8.65	8.65	.07	.07	.15	.15	14.62	14.60	1.07	1.08	6.12	6.10
7800.00	2.35	2.35	.17	.17	.15	.15	8.37	8.35	1.01	1.02	6.17	6.15
8000.00	2.17	2.16	.18	.18	.17	.16	8.20	8.18	1.15	1.16	6.20	6.18
8200.00	2.57	2.57	.17	.17	.17	.17	8.64	8.62	1.28	1.29	6.24	6.22
8400.00	5.27	5.27	.09	.09	.17	.17	11.41	11.40	1.12	1.13	6.31	6.30
8600.00	2.88	2.87	.23	.23	.18	.17	9.06	9.04	1.32	1.33	6.36	6.34
8800.00	2.19	2.19	.27	.27	.19	.19	8.44	8.43	1.35	1.36	6.44	6.43
9000.00	1.43	1.42	.35	.35	.23	.22	7.73	7.72	1.35	1.36	6.53	6.52
9200.00	1.97	1.97	.26	.26	.27	.27	8.31	8.30	1.32	1.32	6.61	6.60
9400.00	1.79	1.79	.23	.23	.29	.29	8.16	8.15	1.55	1.55	6.66	6.65
9600.00	3.20	3.20	.17	.18	.30	.30	9.64	9.63	1.80	1.80	6.74	6.73
9800.00	2.31	2.31	.19	.19	.31	.31	8.90	8.89	1.38	1.38	6.90	6.89
10000.00	2.42	2.41	.15	.15	.32	.31	9.06	9.05	1.45	1.45	6.96	6.95
10200.00	3.12	3.12	.14	.14	.32	.32	9.84	9.83	1.42	1.43	7.04	7.03
10400.00	2.23	2.22	.20	.20	.33	.32	9.01	9.00	1.59	1.59	7.11	7.10
10600.00	3.33	3.33	.15	.15	.33	.33	10.20	10.20	1.58	1.58	7.20	7.20
10800.00	1.94	1.94	.28	.28	.34	.34	8.89	8.88	1.71	1.71	7.29	7.28
11000.00	.89	.89	.36	.36	.39	.39	7.92	7.92	1.52	1.52	7.42	7.42
11200.00	1.34	1.34	.22	.23	.44	.44	8.39	8.39	1.58	1.58	7.49	7.49
11400.00	.36	.36	1.34	1.36	.46	.46	7.43	7.43	2.01	2.02	7.53	7.53
11610.00	3.88	3.88	.10	.10	.56	.56	11.04	11.04	1.50	1.50	7.72	7.72
11860.00	1.63	1.63	2.41	2.41	.86	.86	8.97	8.96	1.87	1.87	7.78	7.77
12020.00	3.76	3.76	.58	.58	1.05	1.05	10.54	10.53	2.38	2.38	7.83	7.82
12230.00	2.50	2.50	.13	.13	1.11	1.11	9.54	9.53	1.55	1.55	8.15	8.14
12430.00	7.03	7.03	.02	.02	1.11	1.11	14.16	14.16	1.28	1.28	8.24	8.24
12630.00												

철거시 유속변화는 방사보로부터 삼호교까지 약 1~44 cm/s 정도로 유속이 빨라지는 것으로 검토되었다.

이상과 같이 방사보 철거 전·후에 대한 유속의 변화특성분석 결과를 검토한 결과, 방사보 철거로 인해 태화강 하도의 유속이 빨라지므로 하상의 세굴 등이 우려되나 분석된 결과로 볼 때 방사보 철거시 유속변화 하도구간의 평균유속이 저수량 유하시에 약 0.07~1.36 m/s, 계획홍수량 유하시에 약 1.02~2.41m/s로서 하상세굴에 관한 우려는 크지 않은 것으로 판단된다.



(a) Low Flow Condition

Fig. 11 Flow Velocity Variation Characteristics for Taehwa River Before & After Removal of the Sediment Protection Weir(a).



(b) Design Floods Condition

Fig. 11 Flow Velocity Variation Characteristics for Taehwa River Before & After Removal of the Sediment Protection Weir(b).

(3) 수위특성 변화분석

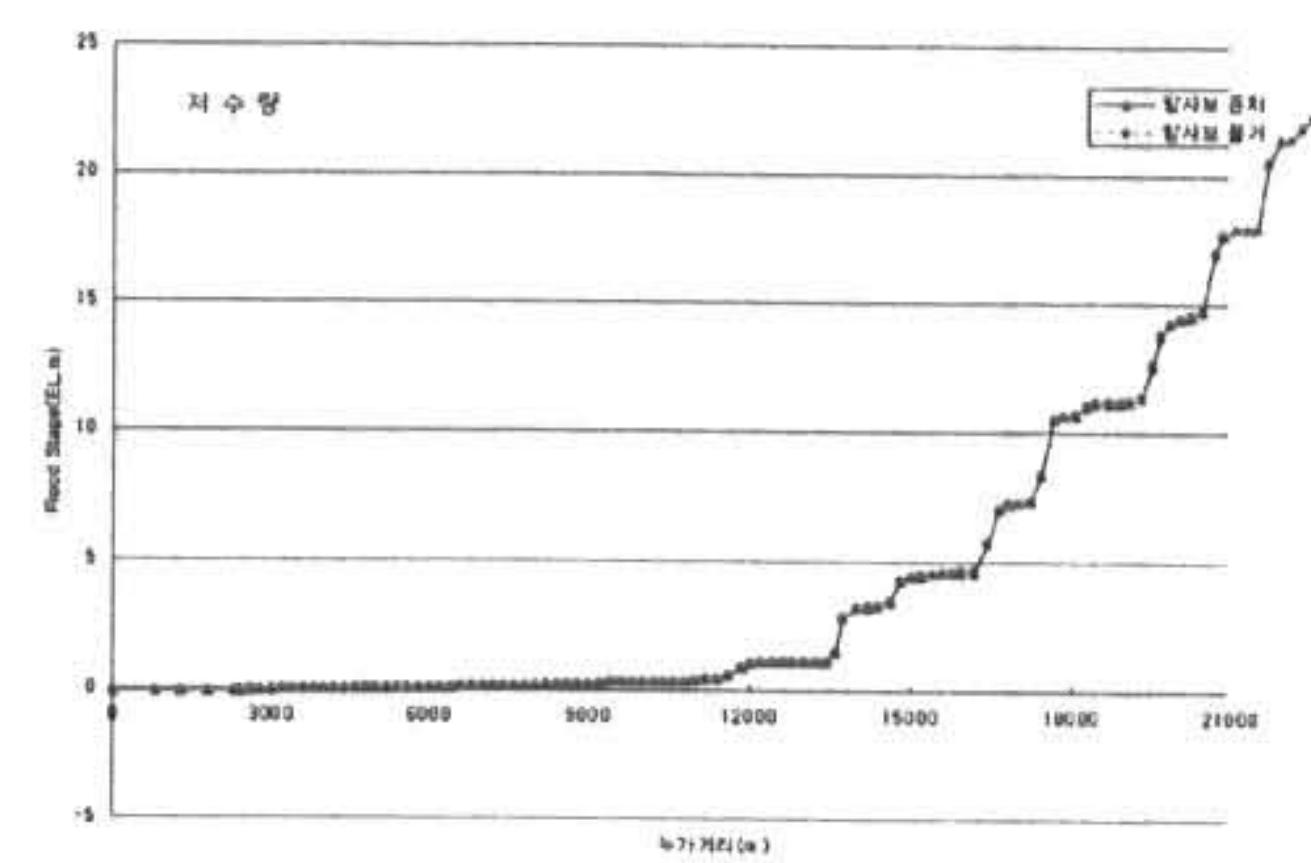
방사보 철거전·후의 태화강 하도에 대한 수위의 변화특성을 검토한 결과 Table1 및 Fig.12에서 검토된 바와 같이 방사보 철거시 저수량 유하시의 저수위 변화는 하구에서 약 2.3km에 위치한 방사보로부터 약 9.00 km에 위치한 삼호교까지 약 1 cm 정도로 저수위 낮아지는 것으로 검토되었다. 또한 계획홍수량 유하시의 방사보 철거시 계획홍수위 변화는 방사보로부터 약 10 km에 위치한 태화교 상류까지 약 1~56 cm 정도로 수심이 얕아지는 것으로 검토되었다.

이상과 같이 방사보 철거 전·후에 대한 수심

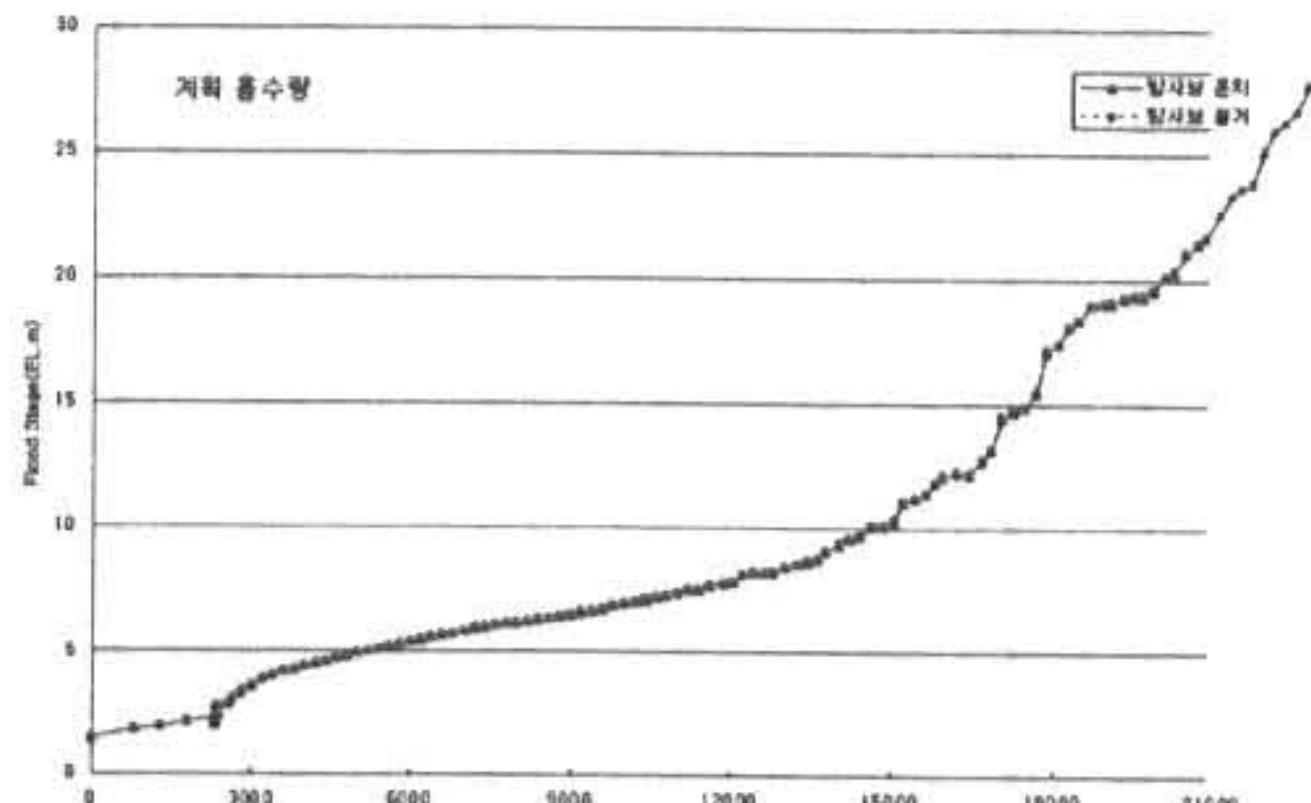
Table 1(Cont.). Hydraulic Variation Characteristics for Taehwa River Before & After Removal of the Sediment Protection Weir

Distance(m)	Low Flow						Design Floods					
	Water Depth(m)		Velocity(m/s)		Water Level(EL.m)		Water Depth(m)		Velocity(m/s)		Water Level(EL.m)	
	Maintenance	Removal	Maintenance	Removal	Maintenance	Removal	Maintenance	Removal	Maintenance	Removal	Maintenance	Removal
16820.00	1.66	1.66	.46	.46	7.23	7.23	7.60	7.60	5.09	5.09	13.17	13.17
17015.00	2.01	2.01	.24	.24	7.29	7.29	9.21	9.21	3.08	3.08	14.49	14.49
17235.00	1.74	1.74	.45	.45	7.35	7.35	9.09	9.09	3.14	3.14	14.70	14.70
17435.00	.37	.37	1.42	1.42	8.37	8.37	6.90	6.90	3.15	3.15	14.90	14.90
17655.00	.67	.67	.74	.74	10.51	10.51	5.60	5.60	5.81	5.81	15.44	15.44
17855.00	1.70	1.70	.26	.26	10.61	10.61	8.23	8.23	3.83	3.83	17.14	17.14
18065.00	.82	.82	.48	.48	10.66	10.66	7.56	7.56	4.42	4.42	17.40	17.40
18255.00	.94	.94	.83	.83	11.02	11.02	8.05	8.05	3.53	3.53	18.13	18.13
18445.00	2.12	2.12	.29	.29	11.15	11.15	9.34	9.34	3.58	3.58	18.37	18.37
18680.00	5.14	5.14	.03	.03	11.15	11.15	12.98	12.98	2.04	2.04	18.99	18.99
18910.00	3.29	3.29	.09	.09	11.15	11.15	11.22	11.22	1.99	1.99	19.08	19.08
19060.00	.42	.42	1.57	1.57	11.20	11.20	8.32	8.32	2.23	2.23	19.10	19.10
19280.00	4.90	4.90	.06	.06	11.34	11.34	12.85	12.85	1.76	1.76	19.29	19.29
19510.00	.26	.26	1.17	1.17	12.62	12.62	7.01	7.01	1.94	1.94	19.37	19.37
19640.00	.63	.63	.58	.58	13.77	13.77	6.20	6.20	2.90	2.90	19.34	19.34
19840.00	1.03	1.03	.43	.43	14.24	14.24	6.37	6.37	3.65	3.65	19.58	19.58
20050.00	1.10	1.10	.32	.32	14.40	14.40	6.86	6.86	3.12	3.12	20.16	20.16
20245.00	.79	.79	.32	.32	14.50	14.50	6.64	6.64	3.92	3.92	20.35	20.35
20445.00	.47	.47	.52	.52	14.70	14.70	6.83	6.83	2.94	2.94	21.06	21.06
20675.00	.64	.64	1.78	1.78	17.03	17.03	5.06	5.06	2.80	2.80	21.45	21.45
20825.00	.48	.48	.39	.39	17.69	17.69	4.49	4.49	3.71	3.71	21.70	21.70
21065.00	.82	.82	.43	.43	17.94	17.94	5.53	5.53	3.58	3.58	22.65	22.65
21285.00	3.74	3.74	.25	.25	17.98	17.98	9.15	9.15	2.76	2.76	23.39	23.39
21475.00	1.27	1.27	1.38	1.38	17.95	17.95	7.03	7.03	2.63	2.63	23.71	23.71
21685.00	.53	.53	.92	.92	20.56	20.56	3.86	3.86	4.36	4.36	23.89	23.89
21895.00	.89	.89	.46	.46	21.39	21.39	4.72	4.72	3.90	3.90	25.22	25.22
22095.00	2.54	2.54	.13	.13	21.41	21.41	7.19	7.19	2.94	2.94	26.06	26.06
22290.00	.31	.31	1.53	1.53	21.89	21.89	4.81	4.81	3.09	3.09	26.39	26.39
22510.00	1.16	1.16	.39	.39	22.36	22.36	5.65	5.65	3.94	3.94	26.85	26.85
22730.00	1.26	1.26	.35	.35	22.46	22.46	6.69	6.69	3.06	3.06	27.89	27.89

의 변화특성을 분석한 결과, 방사보 철거로 인한 하천의 건천화와 태화강 본류하도의 수질오염이 우려되고 있으나, 저수량 유하시 방사보 철거로 인한 수질분석 결과와 생태계 보존을 위한 수리수심(최기철, 하천관리를 위한 어류 서식처 구조에 관한 조사, 1995) 즉, 우리나라 대표어종의 산란기 10~40 cm, 치어기 10~50 cm 및 성어기 10~100 cm를 기초로 할 경우 큰 무리가 없을 것으로 판단된다. 그러나 태화강주변 차집관로의 매설로 생활하수의 유입을 방지하여 효과적인 수질개선방안을 조속히 마련한다면 안전한 대비책이 될 수 있을 것이다.



(a) Low Flow Condition



(b) Design Floods Condition

Fig. 12 Water Level Variation Characteristics for Taehwa River Before & After Removal of the Sediment Protection Weir.

4. 결 론

본 연구에서는 태화강 및 동천 등의 홍수발생 시 토사유입으로 인한 울산항의 수심저하를 방지하기 위하여 설치되어 있는 방사보의 영향으로 평수기와 갈수기에 유수흐름의 정체와 각종

오염물질이 퇴적되어 태화강의 수질오염을 가중시킬 수 있다는 점을 감안하여 태화강 하구 방사보 철거 전·후의 수리학적 특성에 미치는 영향을 검토하고자 하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

먼저, 방사보 철거 전·후의 태화강 하도에 대한 수심과 수위의 변화특성을 검토한 결과 방사보 철거시 저수량 유하시의 수심변화는 하구에서 약 2.3km에 위치한 방사보로부터 약 9.00 km에 위치한 삼호교까지 약 0.01m 정도로 수심이 얕아지는 것으로 검토되었으며, 계획홍수량 유하시의 방사보 철거시 수심변화는 방사보로부터 약 10km에 위치한 태화교 상류까지 약 0.01~0.56 m 정도(방사보 직상류지점 0.56m, 명촌교 지점 0.14 m, 울산교 지점 0.03 m, 태화교 지점 0.02 m)로 수심이 얕아지는 것으로 검토되었다. 따라서, 저수량(50 CMS) 유하시 방사보 철거 전·후의 수심 저하량은 방사보 직상류에서 삼호교까지 약 1cm 정도 밖에 되지 않는 것으로 분석되었기 때문에 방사보 철거로 인한 수심의 저하 등과 같은 수리학적 변화특성은 미미하다고 판단된다.

다음으로, 방사보 철거 전·후의 태화강 하도에 대한 유속의 변화특성을 검토한 결과 방사보 철거시 저수량 유하시의 유속변화는 하구에서 약 2.4km에 위치한 방사보 직상류로부터 삼호교 직상류까지 약 0.01 m/s 정도(삼호교 지점은 0.02 m/s 정도)로 유속이 빨라지는 것으로 검토되었으며, 계획홍수량 유하시의 방사보 철거시 유속변화는 방사보로부터 삼호교까지 약 0.01~0.44 m/s 정도로 유속이 빨라지는 것으로 검토되었다. 따라서 방사보 철거로 인해 태화강 하도의 유속이 빨라지므로 하상의 세굴 등이 우려되나 분석된 결과로 볼 때 방사보 철거시 유속변화 하도구간의 평균유속이 저수량 유하시에 약 0.07~1.36 m/s, 계획홍수량 유하시에 약 1.02~2.41 m/s로서 하상세굴에 관한 우려는 크지 않은 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) 이삼희 : 일본의 디자인형 하천정비, 한국수자원학회지, 29(2), pp.44-49, (1996)

- 2) 안승섭, 박노삼, 이수식 : 수질관리를 위한 도시하천의 유지유량 결정에 관한 연구, 대한환경공학회지, 20(2), pp.287-304. (1998)
- 3) 안승섭, 박상현 : 도시하천의 생태적 개발 방안에 관한 연구, 경일대학교 산업기술연구소 논문집, 제6집, pp. 557-569, (1999)
- 4) Doeringsfeld, H.A., and Barker, C.L. : Pressure-Momentum Theory Applied to the Broad-Crested Weir, Transactions of the American Society of Civil Engineers, Vol.106, pp.934-946, (1941)
- 5) Anonymous : Hydraulics of Bridge Waterways, U.S. Bureau of Public Roads, Washington (1960)
- 6) Anonymous : Computation of Water Surface Profiles, Surface Water Techniques, Book 1, Chapter 1, U.S. Geological Survey, Washington (1964)
- 7) Anonymous : HEC-2 Water Surface Profiles, U.S. Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif., August (1979)
- 8) Kindsvater, C.E. : Discharge Characteristics of Embankment-Shaped Weirs, Geological Survey Water Supply Paper 1617-A, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.(1964)
- 9) Colson, B.E., Ming, C.O., and Arcement, G.J. : Backwater at Bridges and Densely Wooded Flood Plains, Bogue Chitto Near Johnston Station, Mississippi, Hydrol. Investigation Atlas 591, Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey, Denver, Colo.(1978)
- 10) Kelly J. Kaatz & Wesley P. James : Analysis of Alternatives for Computing Backwater at Bridges, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.123, No.9, pp.784-792(1997)
- 11) Hermann M. Fritz & Willi H. Hager : Hydraulics of Embankment Weirs, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.124, No.9, pp.963-971(1998)
- 12) 건설교통부 : 도시하천의 하천환경정비 기법의 개발, 1995

(2000년 11월 10일 접수, 2001년 2월 5일 채택)