

하천을 횡단하는 도수관로의 최적 매설구간 선정을 위한 흐름 및 하상변동 수치모의

장은경¹, 지운^{1*}

¹한국건설기술연구원 하천해안연구실

Numerical Analysis of Flow and Bed Changes for Selecting Optimized Section of Buried Water Pipeline Crossing the River

Eun-Kyung Jang¹ and Un Ji^{1*}

¹River and Coastal Research Division, Water Resources & Environment Research Department, Korea
Institute of Construction Technology

요 약 하천을 횡단하는 관로를 매설할 경우 하상변동으로 인해 관로가 드러나는 사고가 발생할 수 있으며 이를 방지하기 위해서는 안전한 매설경로를 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 금강을 횡단하는 도수관로의 안전한 매설구간 선정을 위해 2차원 수치모형을 이용하여 흐름해석 및 하상변동 분석을 수행하였다. 20년 빈도 홍수량을 적용한 모의 결과, 전반적으로 하상이 퇴적되는 것으로 나타났으나 교각의 영향을 받는 구간에서는 관로 매설 깊이 2 m 이상의 침식이 발생하는 것으로 나타났다. 극한 호우 사상에서도 교각 상류와 근접한 부근에서 관로매설 위치까지 침식이 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 교각위에서 상류 약 140 m 까지는 교각의 영향으로 하상침식이 매설된 관로에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 상류 150 m 이후에 위치한 관로 횡단경로들은 하상 침식에 대해 상대적으로 안정적인 것으로 판단되어 안전을 고려하여 이를 도수관로 횡단경로의 최적구간으로 선정하였다.

Abstract A water pipeline buried under the riverbed could be exposed by bed erosion, therefore safe crossing sections should be analyzed for preventing damages due to the exposure of pipelines. In this study, flow and bed changes have been simulated using a two-dimensional numerical model for selecting the optimized section of pipeline crossing in the Geum River. As a result of simulation with the 20-year recurrence flood, sediment deposition has been distributed overall in the channel and bed erosion over 2 m has occurred near bridge piers. For the extreme flood simulation, the channel bed near the bridge piers has been eroded down to the buried depth. Therefore, within 140 m upstream of the bridge piers, bed erosion affects a buried pipeline in safety due to bridge pier effects and the crossing section over 150 m upstream of bridge piers is selected as a safe zone of a water pipeline.

Key Words : Bed Change, CCHE2D, Numerical Analysis, Pipeline Crossing, River Crossing Structure

1. 서론

최근 하천을 횡단하는 관로가 하상바닥으로부터 드러

나는 사고로 인해 단수, 오염 물질 및 유해 물질 누수 등의 피해가 빈번히 발생하고 있다. 2011년 6월 발생한 구미지역의 낙동강 횡단 송수관 누수 사고로 인해 일대 주

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Un Ji(Korea Institute of Construction Technology)

Tel: +82-31-910-0229 email: jjuincivil@gmail.com

Received January 14, 2014

Revised (1st February 3, 2014, 2nd February 10, 2014)

Accepted March 6, 2014

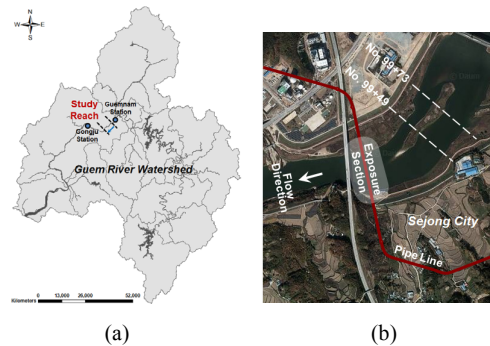
민 5만 여명이 단수 피해를 겪는 문제가 발생하였으며, 같은 해 11월에 발생한 나주지역 영산강 횡단 하수관로의 누수로 인해 수질오염 문제가 우려되기도 하였다. 관로사고에 의한 피해는 단수 피해뿐만 아니라 복구비용으로도 막대한 비용이 지출되므로 사고를 미연에 방지하는 것이 반드시 필요하다. 특히 하천을 횡단하는 관로를 매설할 경우, 강바닥으로부터 약 2 m 내외의 깊이로 관로를 매설하도록 되어 있어 홍수시 유속 증가로 인한 하상의 세굴현상이 횡단관로 깊이까지 발생할 가능성에 대한 정량적 평가가 반드시 수행되어야 할 것이다.

관로 매설에 대한 기술적 검토는 주로 해저 관로 세굴 특성에 대한 내용이 많았으며 하상 밑에 매설된 경우보다는 하상에 노출되어 관로가 설치된 경우에 대한 검토가 주를 이루었다. 특히 오현식 등[1]이 파에 노출된 관로의 세굴특성을 실험적으로 분석하여 세굴 매개변수들 간의 상관관계를 제시한 바 있다. 김경호 등[2]은 사질성 해저 바닥에 관로가 설치되는 경우의 국부 세굴 특성을 실험적으로 고찰하여 세굴에 큰 영향을 미치는 인자를 분석하였고, 김성덕 등[3]은 흐름에 의한 관로의 세굴 특성을 수리모형실험을 통해 분석하여 관경과 유속 변화에 따른 평형세굴심을 관찰하였다. Arya and Shingan[4]은 해저에 설치되는 관로에 대한 일반적인 세굴양상을 분석하고 이를 대처하기 위한 세굴보호대책을 제시하였으며, Van Beek and Wing[5]은 관로에 의한 세굴 및 하상변동양상을 ODYSSEE 수치모형을 활용하여 Kjeldsen[6]의 실험 데이터와 비교분석하였다. 그러나 이와 같은 연구들은 관로가 하상 밑에 매립되는 경우가 아닌 해저 바닥에 놓인 관로 주변에서 관로로 인한 세굴 양상을 분석한 것이다. 해저에 관로가 놓이는 경우에는 관로가 직접적으로 흐름의 영향을 받으며 해저 특성 상 파에 의한 영향도 관로 세굴에 큰 영향을 미치는 요소로 작용하지만 바닥으로부터 2 m 밑에 매설되어 흐름에는 직접적으로 영향을 받지 않는 관로의 경우에는 하상침식에 의해 관로가 노출되는 경우에 문제가 발생하게 된다. 특히 홍수시의 빠른 유속 등에 의해 하상이 침식되는 현상이 반복 될 경우 관로가 흐름에 노출되는 문제가 발생하여 관로 사고로 이어질 수 있다. 따라서 하천을 횡단하여 하상 밑에 매설되는 도수 관로에 대해서는 하천에서의 하상변동으로 인한 관로의 안정성에 대해 반드시 사전 검토할 필요하며 이를 기초로 최적 매설 구간을 선정 할 필요가 있다.

본 연구에서는 하천을 횡단하는 도수관로의 최적 매설 구간 선정을 위해 2차원 흐름 및 하상변동 수치모의를 수행하여 여러 흐름 조건에서의 흐름 양상 및 하상변화를 정량적으로 평가하였다. 특히, 2차원 수치모형으로는 지운 등[7], 이지완 등[8], 그리고 안정민과 류시완[9]의 선

행연구에서 국내 하상변동에 대한 모형 검증이 수행된 CCHE2D 모형을 활용하였다. 따라서 본 연구의 목적은 첫째, CCHE2D 모형을 활용하여 금강 횡단 도수관로 구간의 흐름특성 및 하상변동에 대한 수치모의 연구를 수행하고, 둘째, 이를 분석하여 대상구간 내 매설 예정구간에 대해 하상침식으로 인한 도수관로 노출 위험성을 평가하고자 한다. 이러한 연구결과는 관로 부설을 통한 복선화 구간 선정에 위한 기초자료로 적극 활용할 수 있을 것으로 판단되며 단순히 2 m의 관로 매설 깊이에만 한정되었던 매설 기준이 평면적인 범위까지도 확대될 수 있는 연구자료 될 것이다.

2. 대상 구간 및 수치모형의 개요



[Fig. 1] Guem River Watershed and Study Reach
(a) Guem River Watershed (b) Study Reach

본 연구의 대상 구간은 충남 연기군 남면 송원리 인근 금강 횡단 도수관로 설치 구간으로 선정하였다. 이 구간은 Fig. 1과 같이 금강교 교각 상류 인근에 하상으로부터 약 2 m 아래 충남 중부권 광역상수도관이 매설되어 있으며, 횡단관로의 직경은 2,400 mm, 관 보호공 폭은 1,800 mm이다. 그러나 관 보호공 및 금강교 주변을 제외하고 2010년 수행된 상하류 구간 하상 준설로 인해 2011년 홍수기 때 하류측 하상고가 전체적으로 낮아짐에 따라 하상 침식 속도가 빨라져 금강 횡단부 우안쪽 관보호공이 노출되었으며 이로 인한 관보호공 파손에 따른 단수발생이 우려되고 있다. 이에 대해 위험 발생 예상구간에 대한 장단기적인 대책방안이 검토되고 있으며 단기적으로는 세굴에 대해 안정성 확보가 가능한 하상보호공이 설치될 예정이고 장기적으로는 관로 부설을 통한 복선화로 비상시 안정적인 용수공급 체계를 구축할 예정이다. 본 연구에서는 관로 부설을 통한 복선화를 위한 안정적이고 최적의 구간을 선정하기 위해 풍수량 및 극한 사상 발생 시

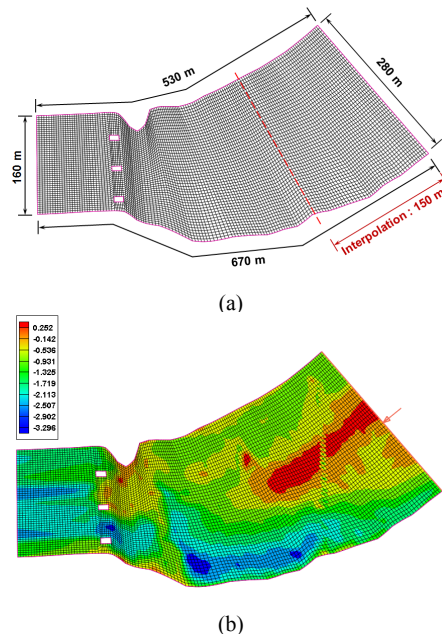
예상되는 하상변동 양상을 2차원 수치모형을 활용하여 분석하였다.

일반적으로 2차원 하천 흐름해석 및 하상변동 수치모형으로 널리 알려져 있는 프로그램으로는 SMS와 CCHE2D, Flumen, USGS 등이 있다. 본 연구에서는 하상 토 입도분포 입력이 가능하며 유사량 공식을 Ackers and White[10], Engelund and Hansen[11], Wu et al.[12], SEDTRA Module[13]들 중 선정하여 모의할 수 있고 유사이송 형태는 소류사와 부유사, 총유사 이송 형태에 대해서 각각 모의가 가능한 CCHE2D 모형 선정하였다.

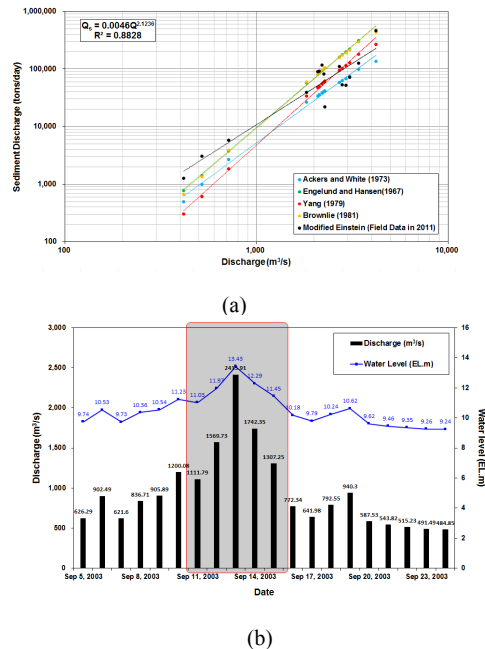
3. 입력자료 및 모의 조건

본 연구에서의 2차원 수치모의에 활용한 지형자료는 K-water 충남중부권 광역상수도 금강형단 도수관로 복선화 실시설계 측량자료를 활용하였으며, 이 자료는 지도상의 등고선을 고려하여 요소망의 각 절점에서 선형 보간하였다[Fig. 2]. 선형 보간된 지형자료는 가로 50개, 세로 150개로 총 7,500개의 격자망으로 구성하였으며, 유량과 수위 값에 대하여 모의시간 간격 60 sec(1,440회/day)으로 모의를 수행하였다. 또한 2차원 수치모의를 위한 필수 자료인 하상토 자료 및 조도계수는 금강수계 하천기본계획[14]을 활용하였으며 중앙입경은 0.62 mm, 조도계수는 0.027을 적용하였다.

유사량 자료는 국토교통부에서 제시한 2011년 수문조사 보고서의 공중 지점 유량-유사량 관계식을 활용하였다[15]. 또한 수치모의 조건 중 적합한 유사량 산정 공식 선정을 위해 2011년 홍수기에 발생한 실제 유사량 자료를 활용하여 Alonso[16], Brownlie[17], van Rijn[18], Stevens and Yang[19]등의 연구에서 우수하다고 평가하고 있는 Ackers and White[10], Brownlie[20], Engelund and Hansen[11], Yang[21] 유사량 공식의 공식별 민감도 분석을 수행하였다. 그 결과 저유량과 고유량 조건에서 실제 발생 유사량과 가장 패턴이 유사한 Ackers and White[10]을 유사량 산정 공식으로 적용하였다[Fig. 3(a)]. 또한 유사이송 형태 선정시 유량 조건별 지배적인 유사이송 형태를 고려하여 풍수량 모의시에는 소류사, 극한 호우 및 빈도 유량 모의시에는 부유사 이송형태를 선정하여 모의를 수행하였다.



[Fig. 2] Initial Channel Geometry (a) Composition of Finite Element Net (b) Initial Bed Elevation (EL.m)



[Fig. 3] Input Data (a) Flow Discharge-Sediment Discharge Relation at the Gongju Station (b) Discharge and Water Surface Level at the Guemnam Station in 2003

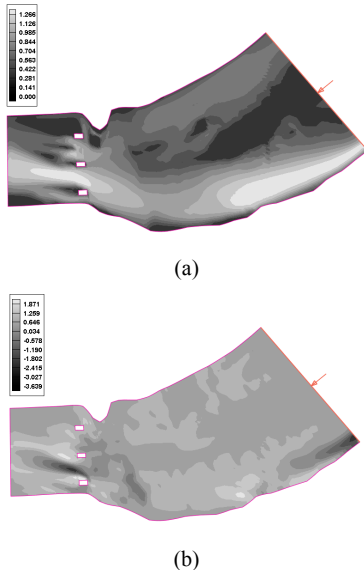
모의 조건은 연중 95일 초과하지 않는 유량인 풍수량 및 극한 호우 사상 모의를 위해 Fig. 3(b)와 같이 2003년 태풍 매미 발생 시 최대 유량이 발생한 5일 간의 유량을 활용하였다. 또한 매설되는 도수관로의 내구연한(20년)을 고려하여 20년 빈도 홍수량을 고려하여 모의를 수행하였으며 입력 조건은 Table 1과 같다.

[Table 1] Simulation Conditions for CCHE2D Modeling

CASE	Flow Condition	Station	Simulation Time	Sediment Transport Modes
CASE 1 (Steady Flow)	95 Days Occurrence Flow (144.45 m ³ /s)	Gongju	5 Days	Bed load
CASE 2 (Unsteady Flow)	Extreme Flood (Typhoon Maemi, 2003)	Guemnam	5 Days	Suspended load
CASE 3 (Steady Flow)	20-year Recurrence Flow (8,775 m ³ /s)	Guemnam	1 Days	Suspended load

4. 도수관로 매설구간에 대한 흐름 및 수치모의 결과

4.1 풍수량 모의 결과

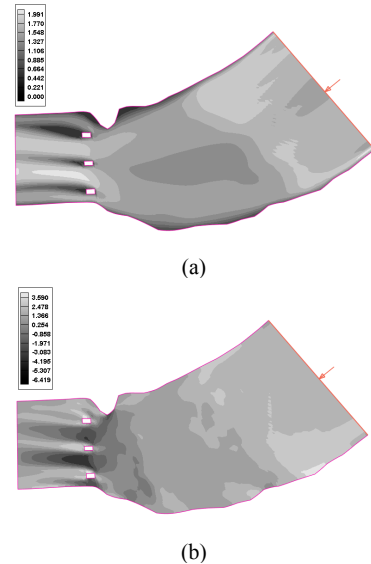


[Fig. 4] Simulation Results of 95 Days Occurrence Flow (a) Velocity Distribution (m/s) (b) Bed Change (m)

본 논문에서는 풍수량과 극한 호우 사상, 20년 빈도유

량 발생시 흐름 및 하상변동에 대해 모의를 수행하였다. 먼저 공주수위표의 풍수량(144.45 m³/s)을 적용하여 총 5일 간 흐름 및 하상변동 모의를 수행한 결과, 좌안에서 최대 1.27 m/s의 유속이 발생하였으며 교각 부근에서도 1.2 m/s 정도의 유속이 발생하였다[Fig. 4(a)]. 풍수량의 경우 대상구간의 하상고로 인해 흐름이 흐르지 않는 지형(Dry)이 발생하였으며, 전체 대상구간에 대해 평균 0.48 m/s의 유속이 발생하였다. 하상변동 모의 수행 결과는 Fig. 4(b)와 같으며 대부분의 구간에서 퇴적이 발생하였고 최대 1.87 m의 퇴적이 발생하였다. 또한 흐름 유입부와 교각 부근에서 최대 침식이 발생하였으며 전체 대상구간에 대해 평균 0.03 m의 침식이 발생한 것으로 나타났다으나 이는 교각 주변 국부적으로 발생한 최대 침식고가 평균값에 반영된 것으로 전체적인 하상변동은 미미한 것으로 나타났다.

4.2 극한 호우 사상을 적용한 모의 결과



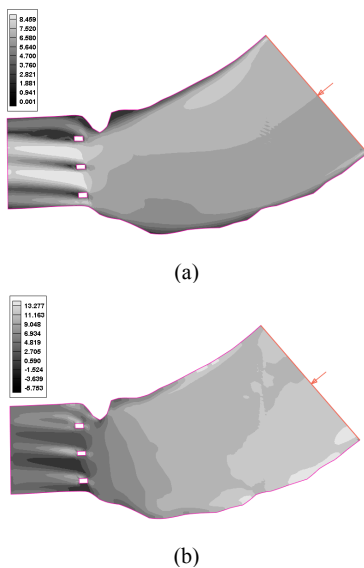
[Fig. 5] Simulation Results of Extreme Flood (m/s) (a) Velocity Distribution (m/s) (b) Bed Change (m)

극한 호우 사상을 적용한 하상변동 모의를 위해 Fig. 2와 같이 금남수위표 기준 발생 최대 유량인 2003년의 태풍 매미 발생기간의 유량(5일)을 활용하여 흐름 및 하상변동 모의를 수행하였다. 흐름 모의 수행 결과 유속의 경우[Fig. 5(a)], 좌안에서 최대 1.99 m/s의 유속이 발생하였으며 전체 대상구간에 대해 평균 1.22 m/s의 유속이 발생하였다. 하상변동 모의 수행 결과(Fig. 5(b)) 대부분의 구간에서 퇴적이 발생하였으나 흐름 유입부와 교각 부근

에서 침식이 발생하였다. 전체 대상구간에 대해 평균 0.18 m의 침식이 발생한 것으로 나타났으나 이는 풍수량 모의 결과와 마찬가지로 국부적인 구간에서의 최대 침식 결과가 평균값에 반영된 것으로 판단된다. 따라서 도수관로의 횡단구간은 교각 주변의 하상세굴의 영향 범위를 검토하여 선정할 필요가 있다.

4.3 20년 빈도유량 모의 결과

매설되는 도수관로의 내구연한을 고려한 20년 빈도 홍수량 모의를 수행하였으며 흐름 모의 수행 결과 유속의 경우, 접근유속은 약 5 m/s 내외의 분포를 보였으며, 하상변동의 경우, 접근수로에서 5 m 이상의 퇴적이 발생하였다[Fig. 6(b)]. 또한 교각 주변에서는 침식이 발생하였으며 관로 매설 깊이인 2 m 보다 깊은 최대 5.75 m의 침식이 발생하는 것으로 나타났다.

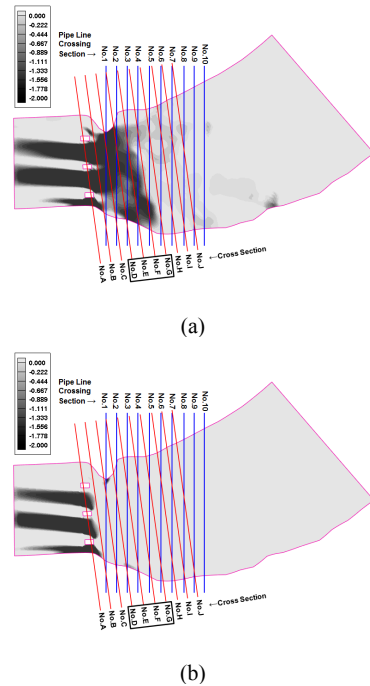


[Fig. 6] Simulation Results of 20-year Recurrence Flow (m/s)
(a) Velocity Distribution (m/s) (b) Bed Change (m)

5. 도수관로 횡단 구간의 안정성 평가

각각의 홍수사상에 대해 모의한 결과를 활용하여 도수관로 횡단 구간의 정량적인 안정성 분석을 수행하였다. 퇴적과 침식의 명확한 구분을 위해 하상변동 모의 결과에서 Legend를 0 m에서 -2 m로 변환하여 표기하였다. 하상변동 모의 결과, 변화가 미미한 것으로 나타난 풍수량 모의 결과는 분석에서 제외하였다. 도수관로 복선화 예정

구간은 Fig. 7과 같이 No. 1에서 No. 7과 같으며 이 구간을 지나는 하천 횡단면을 No. A에서 No. J로 표기하였다. 전체 구간 중 하천 횡단면 No. D, No. E, No. F 및 No. G 구간의 하천 횡단면을 초기하상과 홍수발생 후 하상고 및 관로위치와 비교 분석하였다[Fig. 7].

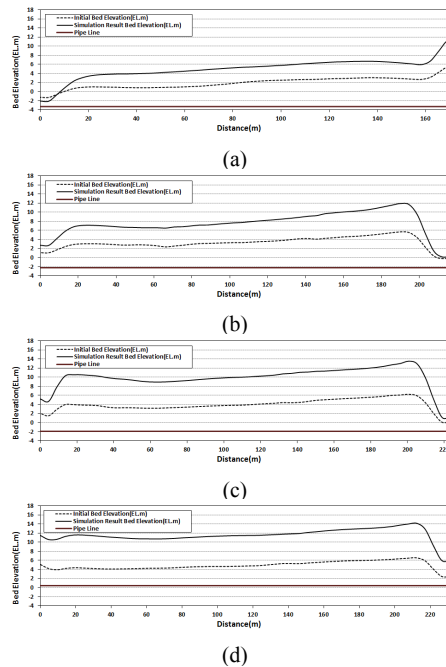


[Fig. 7] Section of Pipeline Crossing (a) Bed Change Result of Extreme Flood (b) Bed Change Result of 20 Year Frequency Flow

2003년 실제 발생한 극한 호우 사상을 대상으로 한 하상변동 모의 결과와 초기하상을 비교한 결과, No. D와 No. E 단면에서는 침식이 발생하였고, No. F와 No. G 단면에서는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 교각 상류와 가장 근접한 No. D 단면에서는 좌안에서 도수관로 매설 예상구간에 거의 근접한 최대 2.42 m의 침식이 발생하였으며 평균 1.75 m의 침식이 발생하였다[Fig. 8(a)]. No. E 단면에서는 좌안에서 최대 침식 2.18 m가 발생하는 것으로 나타났으며 일부 구간에 대해 관로 매설 예상구간까지 침식이 발생할 것으로 나타났다[Fig. 8(b)]. No. F와 No. G 단면에서의 분석결과는 Fig. 8(c)와 Fig. 8(d)와 같으며 각각의 평균 하상변동고는 0.07 m와 0 m로 하상 변화가 크지 않은 것으로 나타나 No. F와 No. G에서는 홍수 발생 후 하상 침식이 관로 위치까지는 발생하지 않은 것으로 판단된다.

매설 도수관로의 내구연한을 고려한 20년 빈도유량을 기준으로 한 하상변동 모의 결과와 초기하상을 비교한 결과 모든 단면에 대해 퇴적이 발생하는 것으로 나타났다[Fig. 9]. 특히 교각과 근접한 No. D 단면과 No. E 단면보다 No. F와 No. G 단면에서의 퇴적이 더 크게 발생하였다. 전체 분석구간에 대해 평균 4.95 m의 퇴적이 발생하는 것으로 분석되어 수치모의 결과에 따르면 20년 빈도유량에 대해 홍수 발생 후 하상 침식으로 인한 관로 노출의 위험성은 미미할 것으로 판단된다. 그러나, 수치모의를 위해 20년 빈도유량(8,775 m³/s)이 발생하는 경우 상류에서 유입되는 유사량을 계산할 때 Fig. 3(a)에서와 같은 유량-유사량 관계식이 활용되었고 Fig. 3(a)의 현장에서 발생한 최대 홍수 크기는 약 4,000 m³/s에 해당한다는 점을 유념해야 한다. 따라서 20년 빈도유량(8,775 m³/s)에 해당하는 유사량은 400 m³/s에서 4,000 m³/s 유량 범위에서 관측된 유사량 자료를 활용하여 외삽한 결과를 활용한 것이므로 이에 따른 불확실성이 하상변동 수치모의 시 반영될 가능성이 크다. 20년 빈도유량이 발생할 경우의 수치모의 결과에서 하상 퇴적이 상당히 크게 계산된 결과도 이러한 불확실성이 내포된 결과임을 예상할 수 있다. 따라서 하상변동의 양상은 정성적으로 퇴적이 발생하는 것으로 판단할 수 있으나 정량적 퇴적고를 직

접적으로 활용하는 것에는 반드시 주의를 기할 필요가 있다.

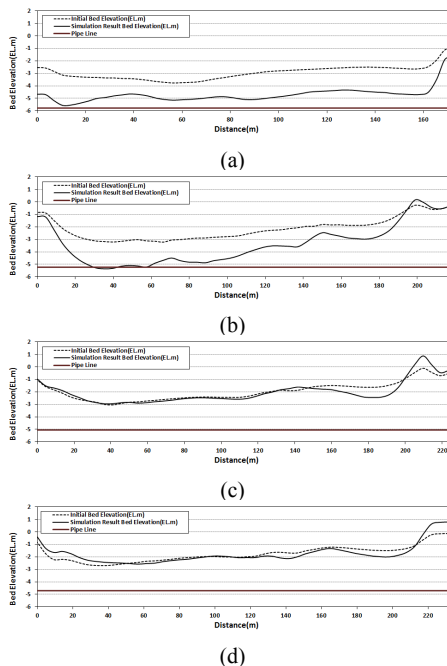


[Fig. 9] Comparison of Pipeline Crossing Section(20-year Recurrence Flow) (a) Cross Section(No. D) (b) Cross Section(No. E) (c) Cross Section(No. F) (d) Cross Section(No. G)

6. 결론

본 연구에서는 하천을 횡단하는 도수관로의 최적 매설구간 선정을 위해 하상으로부터 2 m 밑에 관로가 매설되는 위치까지 하상침식이 발생하는 구간을 2차원 수치모형을 활용하여 평면적으로 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

CCHE2D 모형을 활용하여 금강 횡단 도수관로 구간의 흐름특성 및 하상변동에 대한 수치모의 연구를 수행한 결과, 풍수량(144.45 m³/s)을 적용하여 모의를 수행했을 때 전체적인 하상변동은 미미한 것으로 나타났다. 극한 호우 사상을 적용한 모의 결과 대부분의 구간에서 퇴적이 발생하였으나 교각 부근에서는 침식이 발생하는 것으로 나타났다. 도수관로의 내구연한을 고려한 20년 빈도 홍수량을 적용한 모의 결과, 상당히 큰 하상 퇴적이 발생하였으며 교각의 영향을 받는 구간에서 여전히 관로 매설 깊이 2 m 보다 큰 침식이 발생하는 것으로 나타났다



[Fig. 8] Section of Pipeline Crossing Analysis Results (Extreme Flood) (a) Cross Section(No. D) (b) Cross Section(No. E) (c) Cross Section(No. F) (d) Cross Section(No. G)

다.

대상구간 내 매설 예정구간에 대해 하상침식으로 인한 도수관로 노출 위험성에 대해 분석을 위해 수행하였으며 도수관로 복선화 예정구간과 하천 횡단면을 하상고 및 관로위치와 비교분석한 결과, 극한 호우 사상에서는 교각 상류와 근접한 부근에서 일부구간 관로매설 위치까지 침식이 발생하는 것으로 나타났으며, 교각 위치에서 멀어질수록 하상고의 변화가 미미한 것으로 나타났다. 또한 20년 빈도유량을 기준으로 한 분석 결과, 모든 단면에 대해 큰 퇴적이 발생하였으며 교각과 근접한 단면에 비해 교각에서 멀어질수록 더 큰 퇴적이 발생하는 것으로 나타나 관로 노출의 위험성이 적을 것으로 판단된다. 그러나 20년 빈도유량 조건에서는 상류유입 유수량 산정시 해당 유량 발생시 관측 유수량 값이 직접적으로 적용된 경우가 아니기 때문에 정량적인 퇴적고에 대한 신뢰도가 떨어지는 것으로 판단된다.

최종적으로 모든 분석 결과를 종합했을 때, 관로 매설 예정 구간인 No. 1에서 No. 10까지의 구간 중 No. 1부터 No. 4까지의 횡단 위치는 교각의 영향을 받아 하상이 침식될 것으로 예상되며, 안전치를 고려하여 교각으로부터 상류 150 m 이후에 위치한 관로 횡단경로(No. 7에서 No. 10)는 하상 침식에 대해 상대적으로 안전할 것으로 판단되어 이를 도수관로 횡단경로의 최적구간으로 선정하였다.

본 연구에서 수행된 수치모의는 현재까지 수집된 제한된 자료를 최대한 활용하여 모의를 수행한 결과이며 향후 연구에서는 일반적으로 하상변동 모의에 영향을 미칠 수 있는 하상입도 분포 및 다양한 유사이송공식 선택에 따른 하상변화 양상을 분석함으로써 유수량 및 하상변동 관측 자료가 부족하여 발생하는 모의 정확도를 보다 높일 수 있을 것으로 판단된다.

References

[1] H. S. Oh, H. J. Lee, K. H. Kim, "Local Scour Properties Below Submarine Pipeline in Waves", *Journal of Korean Society of Civil Engineering*, Vol. 22, No. 4-B, pp. 539-549, 2002.

[2] K. H. Kim, H. H. Kim, H. S. Oh, J. H. Yeum, "Characteristics of the Local Scour around Submarine Imbedded Pipelines due to Waves", *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, Vol. 17, No. 2, pp. 106-118, 2005.

[3] S. D. Kim, K. K. Ahn, H. J. Lee, S. M. Lee, "Characteristics of Scour around Pipeline in Current",

Journal of Korean Geo-environmental Society, Vol. 10, No. 7, pp. 117-123, 2009.

- [4] A. K. Arya, B. Shingan, "Scour-Mechanism, Detection and Mitigation for Subsea Pipeline Integrity", *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol. 1, No. 3, pp. 1-14, 2012.
- [5] F. A. Van Beek, H. G. Wind, "Numerical Modelling of Erosion and Sedimentation Around Offshore Pipelines", *Elsevier Science Publishers B. V.*, Vol. 14, pp. 107-128, 1990.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0378-3839\(90\)90013-M](http://dx.doi.org/10.1016/0378-3839(90)90013-M)
- [6] S. P. Kjeldsen, O. Gjorsvik, K. G. Bringaker, J. Jacobsen, "Local scour near offshore pipelines", *2nd Int. Conf. Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions*, Reykjavik. Univ. Iceland, Dep. Eng. Sci., pp. 308-331, 1973.
- [7] U. Ji, W. K. Yeo, S. W. Han, "Numerical Analysis for Bed Changes due to Sediment Transport Capacity Formulas and Sediment Transport Modes at the Upstream Approached Channel of the Nakdong River Estuary Barrage", *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 43, No. 6, pp. 543-557, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2010.43.6.543>
- [8] J. W. Lee, M. S. Lee, I. K. Jung, "Stream Type Classification and 2-Dimensional Hydraulic Characteristics and Bed Change in Anseongcheon Streams and Tributaries", *Journal of the Korea Association of Geographic Information Studies*, Vol. 14, No. 4, pp. 77-97, 2011.
- [9] J. M. Ahn, S. Lyu, "Analysis of Flow and Bed Change on Hydraulic Structure using CCHE2D :Focusing on Changnyong-Haman", *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 46, No. 7, pp. 707-717, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2013.46.7.707>
- [10] P. Ackers, W. R. White, "Sediment transport: A new approach and analysis", *Journal of Hydraulics Division*, 99(HY11), 1973.
- [11] F. A. Engelund, E. Hansen, *Monograph on sediment transport in alluvial streams*, Teknisk Forlag, Denmark, 1967.
- [12] W. Wu, S. S. Y. Wang, Y. Jia, "Nonuniform sediment transport in alluvial river", *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 38, No. 6, pp. 427-434, 2000.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00221680009498296>
- [13] J. Garbrecht, R. A. Kuhnle, C. V. Alonso, "A sediment transport formulation for large channel networks", *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 50, No. 5, pp. 517-579, 1995.

- [14] MOLIT, *River Master Plan Report of Guem River Basin*, Minister of Land, Infrastructure and Transport, 2011
- [15] MOLIT, *Hydrological Annual Report in 2011*, Minister of Land, Infrastructure and Transport, 2012.
- [16] C. V. Alonso, "Selecting a Formula to Estimate Sediment Transport: A New Approach and Analysis", *Journal of the Hydraulics Division*, 99(HY11), 1980.
- [17] W. R. Brownlie, *Prediction of Flow Depth and Sediment Discharge in Open Channels*, W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, Report No. KH-R-43A, California Institute of Technology, Pasadena, Calif., Nov., 1981a.
- [18] L. C. van Rijn, "Sediment Transport, Part II: Suspended Load Transport", *Journal of the Hydraulics Division*, Vol. 110, No. 11, 1984.
- [19] H. H. Jr. Stevens, C. T. Yang, *Summary and Use of Selected Sediment Transport Formulas*, Water Resources Investigation Report 89-4026, USGS, Washington, D. C., 1989.
- [20] W. R. Brownlie, *Compilation of Alluvial Channel Data: Laboratory and Field*, W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, Report No. KH-R-43B, California Institute of Technology, Pasadena, Calif., Nov., 1981b.
- [21] C. T. Yang, "Unit Stream Power Equation for Total Load". *Journal of Hydrology*, Vol. 40, pp. 123-138, 1979. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(79\)90092-1](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(79)90092-1)

지 윤(Un Ji)

[정회원]



- 2006년 12월 : Colorado State University, Dept. of Civil and Environmental Engineering(공학 박사)
- 2007년 3월 ~ 2012년 12월 : 명지대학교(박사후연구원, 연구교수)
- 2012년 12월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 하천해안연구실 수석연구원

<관심분야>

토목공학, 수리학, 하천복원

장 은 경(Eun-Kyung Jang)

[정회원]



- 2010년 2월 : 명지대학교 공과대학 토목환경공학과(공학사)
- 2012년 2월 : 명지대학교 대학원 공과대학 토목환경공학과(공학석사)
- 2013년 6월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 하천해안연구실 석사후연구원

<관심분야>

토목공학, 수리학