

수질모델링을 위한 하천수리특성 추정방법 개선: QualKo 모형을 중심으로

한 수 회* / 신 현 석** / 김 상 단***⁺

Improvement in Stream Hydraulic Characteristics Estimation Method for Modeling Water Quality: Focusing on QualKo

Han, Suhee* / Shin, Hyun-Suk** / Kim, Sangdan***⁺

요약 : 본 연구에서는 수질모형의 적용 시 유량계수들의 적절한 추정방안을 살펴보았다. 유량계수들의 추정 시에 수리학적 유사구간의 최하류 단면을 기준으로 산정하는 것(기존의 관습적인 방법) 보다는 수리학적 유사구간 전체 단면을 고려하여 산정하는 것이 하천의 유속분포 또는 이동시간의 측면에서 보다 더 하천 유수의 흐름을 정확하게 표현할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 어떤 특정 구간에서의 잘못된 유량계수의 추정은 수질 항목에 따라서는 해당구간 수질예측의 정확도뿐만 아니라 그 하류구간에서의 수질 예측에서도 오차가 계속 누적되는 것으로 나타남에 따라 유량계수의 산정에 보다 더 세심한 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다.

핵심용어 : QualKo, 하천수리특성, 수질모델링

Abstract : In this study the estimation method for stream hydraulic characteristics which is served as the input data set for running QualKo water quality model is investigated. The conventional approach for estimating such hydraulic parameters is to use the data set from the last cross section in each reach. However, it is shown that in order to represent correctly flow velocity profiles or the travel time in streams, hydraulic parameters of QualKo model should be estimated with all cross section data set within the corresponding reach. In addition, the unsuitable estimation of hydraulic parameters at some reaches has influence on the water quality predictions at the corresponding reaches, and the errors of water quality predictions are propagated toward the downstream without any error attenuation.

Keywords : QualKo, stream hydraulic characteristics, water quality modeling

1. 서 론

오염총량관리를 비롯한 여러 가지 수질관리 대책을 수립하기 위해서는 수질모형을 구축하여 다양한 수질개선노력이 수질에 미치는 영향을 파악하는 것이 필수적인 사안이다. 이러한 목적의 수질모형 구축 시에는 Qual2E, QualKo, WASP 등 수질 모델링 프로그램을 주로 이용하게 되는

데, 이때 사용된 수질모형이 해당 지역의 수질 상황을 올바르게 표현하기 위해서는 사용된 모형의 매개변수를 적절히 추정하는 것이 무엇보다도 중요한 사항으로 대두된다. 이에 따라 모형의 매개변수를 적절하게 추정하기 위한 여러 가지 연구가 진행되어 왔으며, 또한 모형의 여러 가지 매개변수들에 대한 각각의 민감도 분석도 다각도로 연구되고 있다(Melching과 Yoon, 1996; Salas와

+ Corresponding author : skim@pknu.ac.kr

* 부경대학교 환경시스템공학부 석사과정

** 부산대학교 토목공학과 부교수

*** 교신전자부경대학교 환경시스템공학부 조교수

Shin, 1999; Benaman과 Shoemaker, 2004). 이러한 연구들의 대부분은 수질모형의 매개변수 중 특히 수질 메커니즘에 관련된 매개변수들(예를 들어, DO, BOD, N, P 등에 대한 반응계수)에 대한 연구에 집중되어 있다. 그러나 하천의 수질을 적절하게 모델링하기 위해서는 이러한 수질에 직접적으로 관련한 매개변수들 이외에 하천의 수리특성에 관한 올바른 이해를 바탕으로 그와 관련된 수리학적 매개변수들에 대한 연구가 뒷받침되어야 한다.

그동안 수행되어온 수질 모델링의 적용 사례를 살펴본 바에 따르면 하천을 모델링하기 위해서는 현장 특성 자료의 중요성, 특히 하천수리특성에 관련된 기초 자료의 가용성 여부가 모형의 성패에 매우 중요한 역할을 함을 알 수 있다. 유량, 유속 및 폭과 깊이로 대변되는 하천 지형은 물질 이송에 대한 주요 외력 함수이며, 다른 모든 예측치들은 이들에 의존적일 수밖에 없다. 따라서 이들의 정확한 표현은 올바른 수질 예측에 있어서 필수적이다. 많은 모형 매개변수들이 유속과 깊이에 의존적이나(특히 reaeration과 sediment oxygen demand는 아마도 가장 민감할 것임), 이들에 관한 정보는 종종 현장관측에서 조차 무시되는 경우가 많다.

이에 본 연구에서는 수질모형의 매개변수 중 특히 수리특성에 관련된 매개변수들이 수질에 미치는 영향을 파악하는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위해 적용된 수리 및 수질모형은 각각 HEC-RAS 및 QualKo를 사용하였으며, 대상 하천은 낙동강 본류 경남구간 시점 부근인 회천 합류 전부터 낙동강 본류 경남구간 중점 부근인 밀양강 합류 전까지이다.

2. 재료 및 방법

2.1 HEC-RAS 하천수리모형

하천의 수질 특성은 물리적 특성, 즉 수리·수문학적 특성에 의해 많은 영향을 받는다. 따라서 수

질을 모델링할 경우에는 하천수리특성이 수질 예측에 미치는 중대성을 감안하여 시간과 거리에 따른 하천 유량, 유속, 수심 등의 수리특성을 적절하게 계산하여 적용하여야 한다.

하천수리특성 분석을 위해 우리나라에서 가장 광범위하게 사용되는 하천수리모형은 HEC-RAS 모형(Hydrologic Engineering Center, 2004)으로 이 모형은 1970년대 미 육군공병단 수문공학센터에서 자연하천이나 인공하천에서 1차원흐름이며 하도경사가 비교적 완만하다는 가정 하에 정상류 상태의 점변류 수면곡선을 계산하기 위해서 개발된 HEC-2 모형의 윈도우 버전이다.

HEC-RAS 모형에 입력되는 자료는 하천 단면의 표고-측점좌표, 주요지점별 유량, 교량 및 암거시설 등 하천 수리구조물이고 단면적, 유속, 횡단면, 종단면, 한계수심, 수심, 에너지 경사 등이 그 결과물로 산출된다. Fig. 1은 HEC-RAS 모형의 전형적인 단면 입력형태를 보여주고 있다.

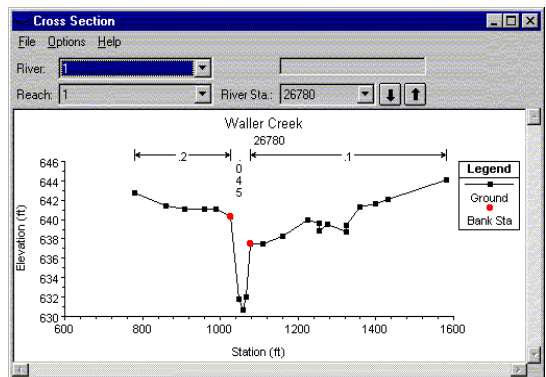


Fig. 1. Cross Section in HEC-RAS stream hydraulic model

HEC-RAS 모형의 분석 결과는 하천의 지형 및 수리학적 특성과 유량변동을 고려하여 수질 모형의 적용구간을 구분하고, 수질 모형에 적용되는 유량-유속, 유량-수심 관련 하천 수리계수(특히 QualKo 모형의 경우 수리 매개변수 a, b, c, d)를 도출하는데 주로 이용된다. 수리 매개변수 a, b, c, d는 각각 아래의 식과 같이 정의된다.

$$V = aQ^b \quad (1)$$

$$D = cQ^d \quad (2)$$

여기서, V , D 및 Q 는 각각 유속(m/s), 수심(m) 및 유량(m³/s)을 의미한다.

2.2 QualKo 하천수질모형

Qual 모형은 미국 TWDB(Texas Water Development Board)에서 Masch 등(1971)이 개발한 Qual1에서 시작하여 지속적으로 연구 개발되어 현재 하천수질예측에 가장 널리 사용되고 있는 모형으로 하천 하류방향의 1차 확산과 이류를 고려하고 지점에 있어서 오염부하, 지류유입, 취수, 유출 등을 정상상태에서 고려할 수 있다. 그러나 Qual 계열의 모형 중 지금까지 우리나라의 하천수질모의에 많이 사용되어 온 Qual2E 모형은 조류에 의한 BOD 내 생산과 Bottle BOD를 모의할 수 없으므로 조류가 수질에 미치는 영향이 큰 수계에서는 현상 수질을 재현하기 어려운 단점이 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위하여 조류 생산 및 사멸에 의한 내부생산 유기물 증가를 고려하도록 국내에서는 1999년 낙동강수계 물관리종합대책(환경부, 1999) 등에서 언급된 바와 같이 QualKo 모형을 개발하여 현재 시행 중인 오염총량관리

획 등 주요 하천수질관리계획을 위한 수질예측에 적극 이용하고 있다. QualKo 모형은 Qual2E 모형(Brown과 Barnwell, 1985)을 근간으로 WASP5의 장점을 접목시켜 bottle BOD의 반응 메커니즘, 조류의 생산에 의한 유기물의 증가, 탈질화 반응 등 실제 정체수역이 많은 우리나라 하천에서 일어날 수 있는 반응 메커니즘을 모의할 수 있도록 보완한 모형이다. 또한 구조적으로 Qual2E 모형에서 운영상 제한되어 있는 오염원의 수, 하천구간의 수, 상류경계조건, 계산요소 등을 확장하여 대형하천이나 지류가 많은 하천에서도 운영될 수 있도록 보완하였다. QualKo 모형은 전 대상 수역을 수리학적 유사구간에 따라 크게 n 개의 구간(reach)으로 나누고, 각 구간 내부를 소 구간요소(element)로 다시 나누어 농도를 소 구간별로 계산하는 방식을 이용하고 있다(Fig. 2).

3. 결과 및 고찰

3.1 하천단면 및 유량자료 구축

수리해석을 위한 모델링 프로그램은 미공병단의 HEC-RAS 모형을 이용하여 수행하였다. 하천의 횡단면별 유량-유속 관계를 얻기 위한 HEC-RAS 모형의 입력 자료는 하천의 횡단면과 다양한 규모의 유량 자료가 필요하다. 하천 횡단면 자료는 대상하천의 하천정비기본계획(건설교통부,

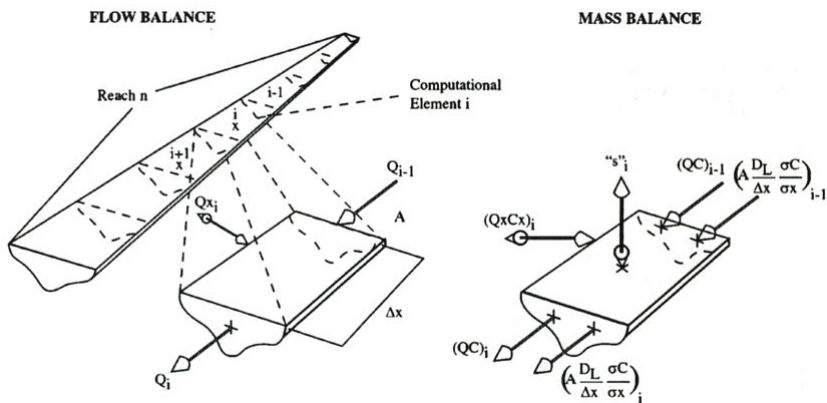


Fig. 2. Conceptual representation of a stream in QualKo stream water quality model

1992, 1993)을 이용하여 구축하였다. 유량 자료는 낙동강 물 환경 연구소에서 관측한 주요지점별 유량자료들과 낙동강 유황분석 결과 산출된 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량 등 총 27개 규모의 유황자료를 사용하였다. 사용된 자료에 대한 보다 상세한 정보는 낙동강수계관리위원회(2004)를 참조할 수 있다.

3.2 단면분석

조도계수의 재 산정 후 수행된 단면분석의 목적은 유량-유속 관계곡선의 획득에 있으며, 이는 직접적으로는 수질 모델링 프로그램인 QualKo의 입력자료로 사용하기 위함이다. QualKo에서는 전술한 바와 같이 하천을 수리학적 유사구간(reach)으로 분할하여 각 구간에서는 동일한 유량-수심 및 유량-유속 관계를 갖는 것으로 가정하고 있다. 수리학적 유사구간의 길이는 보통 2~10km 정도인데, 문제는 수리학적 유사구간을 대표할 수 있는 유량-유속 관계를 찾는 것이 용이하지 않다는 데 있다. 지금까지 수행되어온 여러 연구들을 살펴본 결과 각각의 수리학적 유사구간의 최하류에 해당하는 하천단면을 이용한 유량-유속 관계가 해당 수리학적 유사구간 전체를 대표하는 것으로

가정하고 사용하는 것이 일반적인 관례인 것으로 조사되었다(한강수계관리위원회, 2003; 경기도, 2004; 환경부, 2005). 이에 본 연구에서는 지금까지 관습적으로 적용하고 있는 이러한 예가 과연 어느 정도의 오차를 보일 수 있는 지에 대한 분석을 실시하고자 하였다. 이를 위하여 수질 모델링 프로그램인 QualKo의 실행을 위한 수리학적 유사구간의 분할은 추후 비교를 목적으로 경상남도 오염총량관리 기본계획 시에 구획된 구간을 그대로 전용하였다. Table 1은 단면분석을 통하여 획득된 수리학적 유사구간별 유량-유속 관계를 보여주고 있으며, Fig. 3은 단면분석을 통하여 획득된 특정 수리학적 유사구간에 대한 유량-유속 관계를 보여주고 있다. Table 1에서 K-N은 경상남도 오염총량관리 기본계획 수립 시에 산정되어 있는 수리학적 유사구간별 유량계수들을 의미하며, Case 1과 2는 본 연구에서 HEC-RAS의 결과로부터 재 산정한 수리학적 유사구간별 유량계수들로서 Case 1은 각각의 수리학적 유사구간의 최하류 단면에서의 유량-수심 및 유량-유속 관계를 이용하여 산정한 결과이며 Case 2는 각각의 수리학적 유사구간의 모든 단면에서의 유량-수심 및 유량-유속 관계를 이용하여 산정한 결과이다.

Table 1. Flow rate - Flow velocity ($V = a \cdot Q^b$)

Reach	Dist. km	K-N		Case 1			Case 2		
		a	b	a	b	R ²	a	b	R ²
1	6	0.0631	0.4531	0.0382	0.4259	0.8286	0.0189	0.5294	0.7344
2	3	0.1018	0.3172	0.1324	0.2116	0.7147	0.1108	0.2571	0.8308
3	5	0.0142	0.6729	0.0607	0.3843	0.9283	0.0294	0.4665	0.6931
5	4	0.0523	0.4978	0.0605	0.3668	0.8485	0.0990	0.2856	0.4032
6	8	0.1332	0.3350	0.0153	0.5704	0.9665	0.1012	0.2779	0.6205
7	9	0.0714	0.4742	0.0538	0.3759	0.9261	0.0379	0.4226	0.7476
8	5	0.0115	0.7559	0.0058	0.6477	0.9943	0.0084	0.6048	0.8175
9	5	0.0140	0.7169	0.0794	0.3028	0.8469	0.0126	0.5292	0.4269
10	8	0.0801	0.5576	0.0014	0.8465	0.9900	0.0218	0.4655	0.3534
11	5	0.0423	0.5660	0.0348	0.3767	0.9156	0.0344	0.3849	0.6910
12	3	0.0689	0.4424	0.0459	0.3852	0.9223	0.0672	0.3056	0.7334
13	7	0.0688	0.5142	0.0756	0.2931	0.6232	0.0297	0.4101	0.4151
14	5	0.1006	0.4916	0.1869	0.1812	0.1700	0.0772	0.3010	0.2696
15	4	0.0132	0.6690	0.0391	0.4860	0.4462	0.0483	0.3990	0.1753

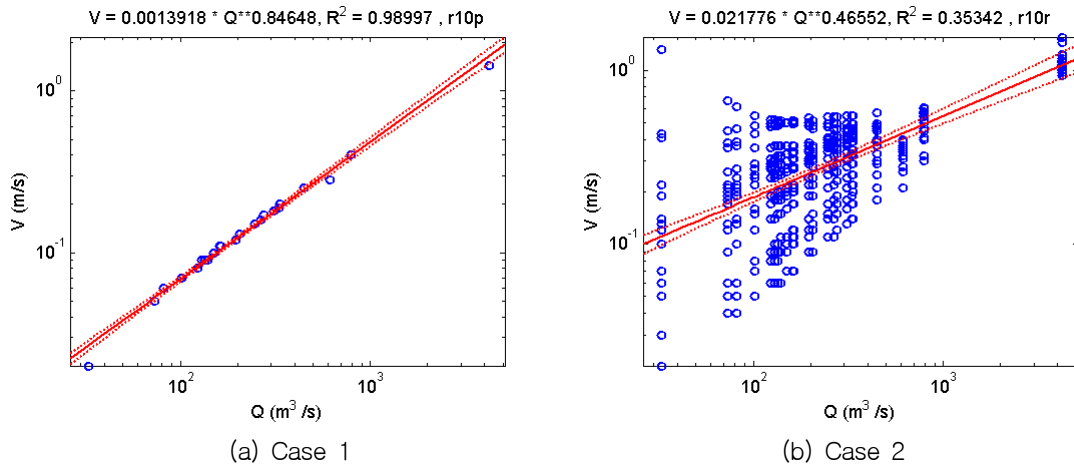


Fig. 3. Flow rate – Flow velocity

Fig. 3(a)은 Case 1로 어떤 특정 수리학적 유사구간의 최하류 단면에서의 유량-유속 관계이며, Fig. 3(b)은 Case 2로 위와 같은 수리학적 유사구간 내의 모든 단면을 고려한 유량-유속 관계를 의미한다. Fig. 3의 결과를 살펴보면 Case 2의 경우 결정계수 값이 Case 1의 경우보다 상당히 작은 값을 나오고 있음을 알 수 있는데, 이는 Case 1의 경우 하천 단면 하나에서의 유량-유속 관계이며, Case 2는 여러 단면에서의 유량-유속 관계의 평균적인 관계이기 때문에 발생하는 현상으로 이해할 수 있다. 수리학적 유사구간을 대표할 수 있는 유량-유속 관계곡선이라 함은 수리학적 유사구간 내에 있는 모든 단면에서의 관계곡선의 평균적인 특성을 대변할 수 있어야 하므로 (Fig. 4) 비록 회귀분석의 정도를 결정하는 결정계수 값이 Case 2가 Case 1의 경우에 비해 작은 값을 갖더라도 Case 2의 경우가 보다 더 하천의 특성을 잘 표현한 것이라 볼 수 있다. 이에 대한 보다 상세한 분석이 수리분석에서 이어진다.

또한 Case 2의 경우를 살펴보면 관계곡선의 패턴이 수리학적 유사구간 내에서 상이하게 구분되고 있는 예를 살펴볼 수 있는데, 이러한 수리학적 유사구간의 경우에는 QualKo 모형의 구축 시 추가적으로 더 세밀한 수리학적 유사구간으로 분할될 필요가 있음을 알 수 있으며, 이는 본 연구에서 수행한 단면분석이 QualKo 모형의 수리학적

유사구간의 분할 시에 하나의 기준으로 사용될 수 있음을 나타내는 것이라 할 수 있다.

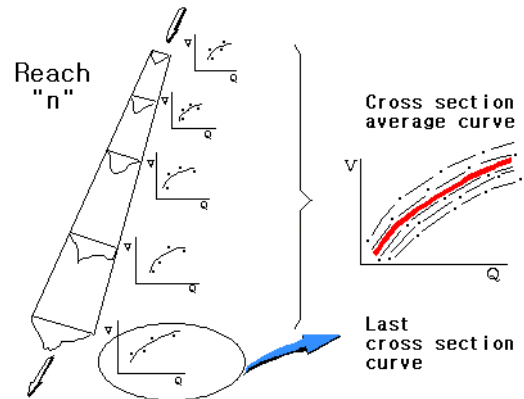


Fig. 4. Conceptual representation of cross section analysis

3.3 수리분석

본 절에서는 단면분석의 결과를 바탕으로 대상 하천 구간에서의 종단별 유속분포와 이동시간 등에 관한 수리분석을 수행하였다. Fig. 5는 대상 하천구간에서의 저수량 정도의 유량이 흐를 경우 종단별 유속분포를 보여주고 있다. Fig. 5에서 HEC-RAS는 HEC-RAS 모형의 실행 결과 얻어진 유속분포이며, K-N은 경남 오염총량관리 기본 계획 상에 제시된 유량계수를 이용하여 획득한 유속분포, Case 1과 Case 2는 전술한 바와 같이

본 연구에서 산정한 유량계수를 이용하여 산정한 유속분포를 각각 나타낸다.

본 연구에서는 HEC-RAS 모의 값을 기준으로 K-N과 Case 1 및 Case 2의 모의 값을 비교하는 과정을 통하여 각 경우 별 유량계수 산정의 정확도를 비교하는 방법을 취하였다. HEC-RAS 모의 시 사용된 단면자료가 비교적 과거의 자료임에 따라 HEC-RAS 모의 값에 대한 검증이 필요하나, 현재로서는 낙동강 하류부에 구축된 공식적인 하천수리특성 자료로는 가장 신뢰성이 높다고 판단되었으며, 또한 K-N이나 Case 1 및 Case 2와 비교할 때 HEC-RAS에 의한 모의 값이 상대적으로 보다 정확한 하천 유속 및 수심 자료를 제공한다는 관점에서 HEC-RAS에 의한 모의 값을 기준으로 비교분석하고자 하였다.

먼저 HEC-RAS의 결과와 K-N의 결과를 비교해보면 다른 경우의 값들보다 훨씬 큰 차이가 나고 있음을 알 수 있는데, 이는 HEC-RAS의 결과와 K-N의 결과가 서로 다른 조도계수를 사용하고 있기 때문이다. 본 연구에서는 실제 관측 자료를 바탕으로 이에 부합하는 저수기 또는 갈수기에 사용하기에 적합한 조도계수를 재 추정하여 사용하였기 때문에 기존의 홍수기에 사용하기에 적합한 조도계수를 이용한 K-N의 경우보다 더 느린 유속 분포를 보이고 있다. 이는 홍수기 시 보다 저수기 시에 하천 유속이 상대적으로 더 느리게 나타나는 것에 비추어 볼 때, 당연한 결과라고 할

수 있다.

또한 Case 1과 Case 2를 비교하여 보면 하천 수리모형인 HEC-RAS의 결과가 실제 하천의 유속분포를 가장 잘 대변한다고 보았을 때, Case 2의 경우가 보다 합리적으로 수리학적 유사구간을 대표할 수 있는 유량계수 값을 주고 있는 것으로 판단된다. 이는 Fig. 6을 통해서 보다 더 직접적으로 알아볼 수 있다. Fig. 6에서 K-N은 HEC-RAS 모형을 이용하여 산정한 유속과 경남오염총량관리 기본계획 상의 유량계수를 이용하여 산정한 유속과의 차이를 나타내며, 마찬가지로 Case 1과 Case 2는 각각 HEC-RAS 모형을 이용하여 산정한 유속과 본 연구에서 재 산정한 유량계수를 이용하여 산정한 유속과의 차이를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 Case 2의 경우가 하천의 중단 방향으로 변동하는 유속패턴의 구간별 평균적인 거동을 Case 1에 비하여 보다 우수하게 구현할 수 있는 것으로 볼 때, 앞서 언급한 바와 같이 유량계수 자체를 산정하는 회귀분석 시의 결정계수는 비록 Case 1의 결과가 훨씬 우수하더라도 전체적인 하천의 흐름양상을 모델링한다는 관점에서 본다면 Case 2와 같은 유량계수 산정방법이 보다 더 적절한 것으로 판단된다.

이러한 현상은 이동시간(Time of Travel)의 분석에서 보다 명확하게 나타낼 수 있다(Fig. 7과 8). 먼저 HEC-RAS를 이용한 결과를 K-N과 비교하여 보면 조도계수가 더 크게 재 산정되었으

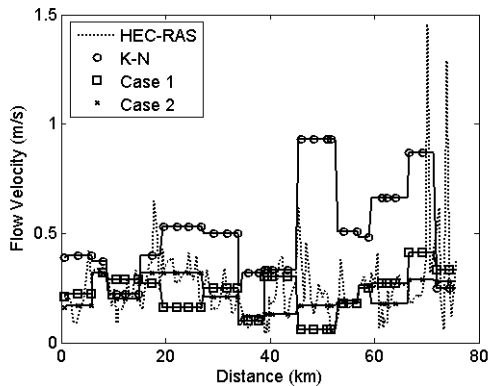


Fig. 5. Velocity profile

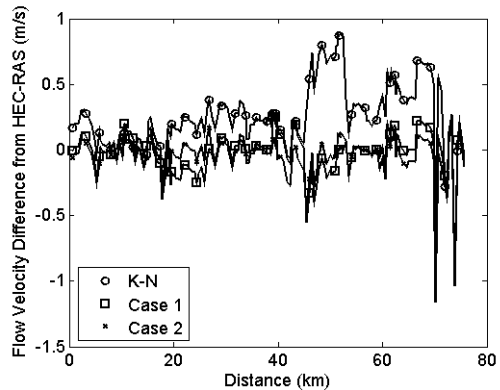


Fig. 6. Flow velocity difference from HEC-RAS

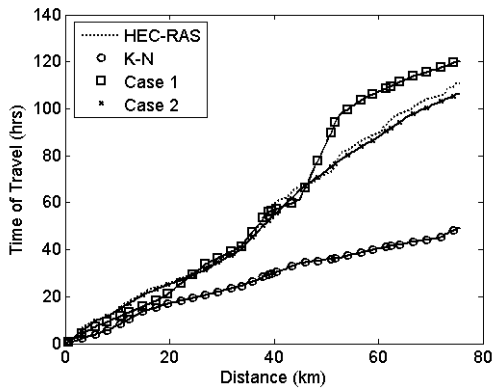


Fig. 7. Time of travel

로 이동시간은 HEC-RAS의 경우가 역시 더 크게 산정되었음을 알 수 있다. 즉 저수기 또는 갈수기의 하천 흐름을 반영하여 하천수리특성의 대표격인 조도계수를 산정한 결과 하천을 유하하는데 필요한 이동시간이 보다 더 많이 필요한 것으로 계산되었으며, 이는 이후 수질 예측에도 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

또한 Fig. 7과 8에 나타난 바와 같이 Case 2의 경우가 HEC-RAS를 이용하여 모의한 이동시간을 보다 잘 재현하고 있음을 알 수 있다. Case 1의 경우는 수리학적 유사구간의 최하류 단면의 특성만을 반영하여 전체 구간을 대표하였기 때문에 수리학적 유사구간이 잘못 분할되었거나 또는 최하류 단면이 전체 구간을 대표하지 못할 경우에는 이동시간을 정확히 재현할 수 없는 단점을 가지고 있게 된다. Case 1의 경우 대략적으로 45~55km 구간에서의 유량계수 오차가 전체적인 오차의 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 45~55km 구간은 남강 합류부 구간이며 또한 조위의 영향이 미치는 최상류지역으로서 확인할 수는 없으나 이 구간에서의 Case 1의 오차가 크게 산정된 것으로 볼 때 상대적으로 큰 지류의 영향 또는 조위의 영향으로 분석될 수도 있을 것이다. 즉 지류가 크게 유입하는 구간 또는 조위의 영향을 받는 구간일 경우 특히 더 유량계수의 산정에 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다.

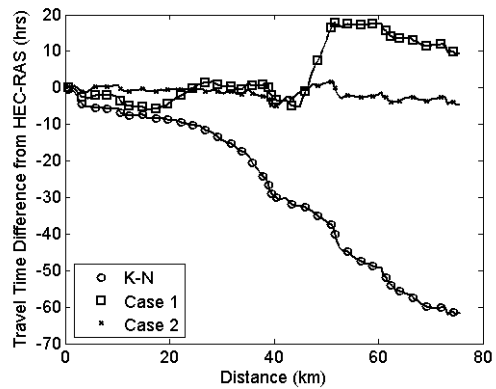


Fig. 8. Travel time difference from HEC-RAS

3.4 수질분석

QualKo 모형을 이용한 분석방법은 다른 모든 모형 매개변수들을 고정시킨 채, 수리 매개변수들을 변경시키면서 수질을 모의하여 수리 매개변수가 수질 예측에 미치는 영향을 개략적으로 파악하고자 하였다. 대상 하천구간의 QualKo 모형은 경남 오염총량관리 기본계획에서 구축한 모형을 그대로 전용하여 수질 매개변수는 변경 없이 사용하였고, 수리 매개변수들(a, b, c, d)을 본 연구에서 시나리오별(K-N, Case 1, Case 2)로 산정한 값을 취하여 분석하였다. Fig. 9는 연구 대상 구간에 대한 QualKo 모형 실행 시 구축한 하천 모식도이다.

수질모의 결과 DO, BOD5, CODMn, CHLA, TN, TP 등에 대한 예측치를 Fig. 10에 시나리오별로 비교하여 도시하였다. Fig. 10에서 K-N은 경남 오염총량관리 기본계획에서 제시된 수질예측 결과이며, Case 1은 경남 모형에서 유량계수들을 본 연구의 Case 1에서 산정한 값으로 변경한 후 실행한 수질예측결과이고, Case 2의 경우는 본 연구의 Case 2에서 산정한 유량계수들을 이용한 수질예측결과이다. Fig. 10에서 알 수 있듯이 BOD5, CODMn, CHLA 등의 수질항목은 비교적 유량계수에 민감하게 반응함을 알 수 있으며, DO, TN, TP 등은 유량계수와는 별다른 상관을 맺고 있지 않음을 알 수 있다. 유량계수들에 민감한

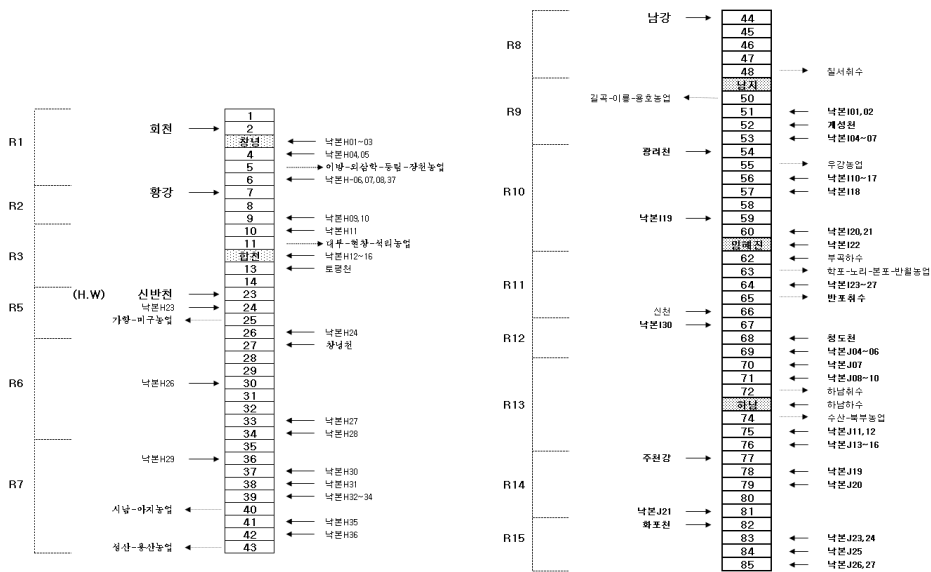


Fig. 9. Schematic representation of the study stream

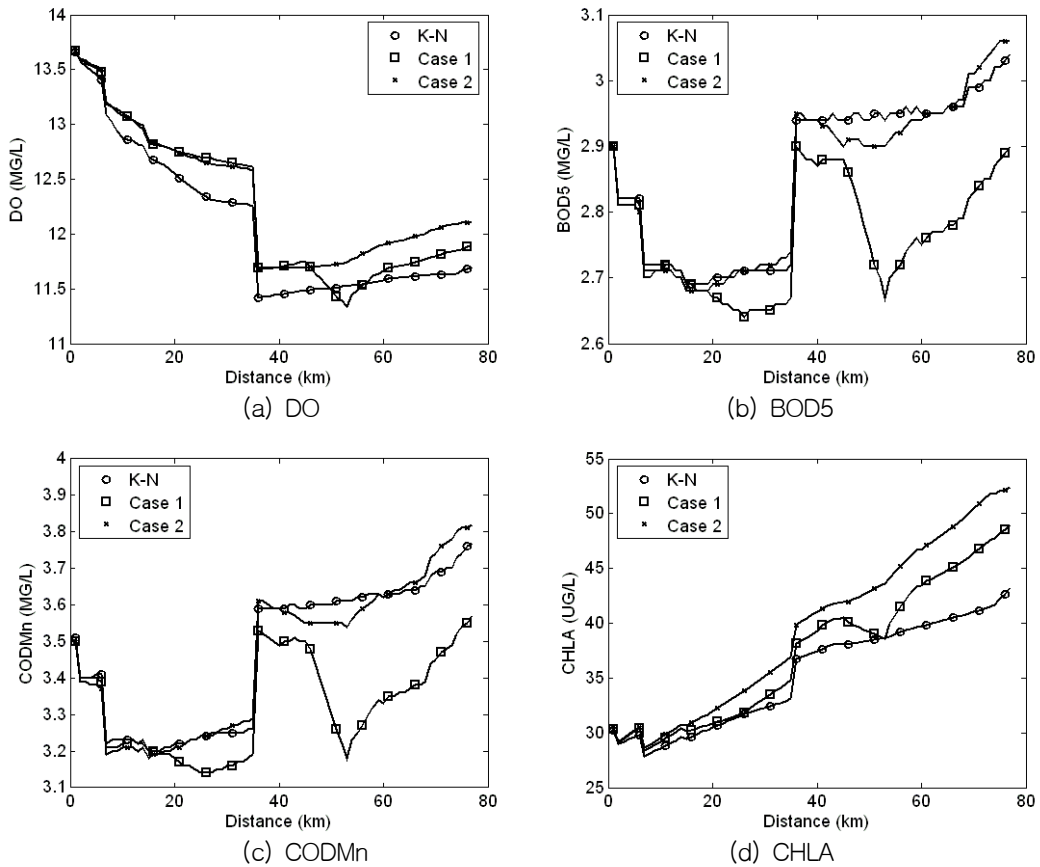


Fig. 10. Water quality predictions(Continued)

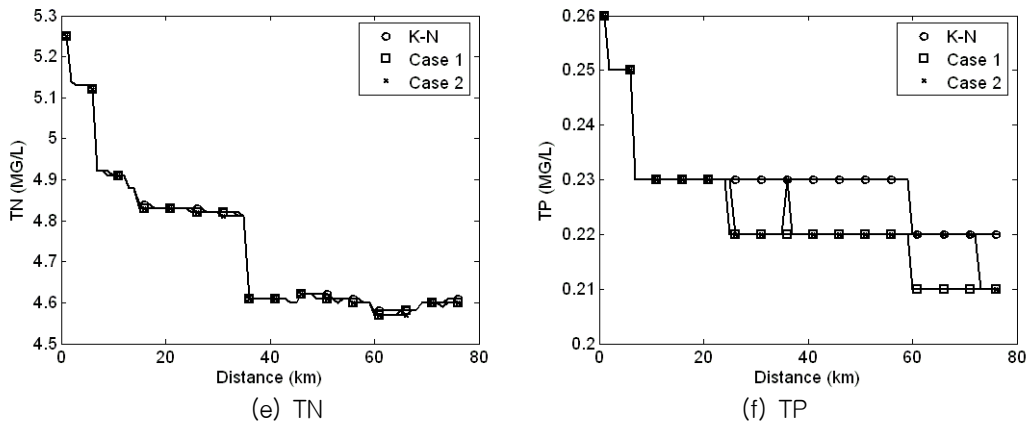


Fig. 10. Water quality predictions

BOD5, CODMn, CHLA에서 Case 1과 Case 2의 수질분포를 비교하여 볼 때, 한 가지 분명한 점은 Case 1에 있어서의 유량계수 오차가 크게 발생한 구간을 시점(50km 부근)으로 하여 수질편차가 커졌으며, 이는 하류방향으로 편차가 계속 유지되고 있음을 확인할 수 있다. 즉 특정구간에서의 잘못된 유량계수의 추정은 수질항목에 따라 해당구간 및 하류구간의 수질예측 시 오차가 누적됨을 알 수 있으며, 따라서 유량계수의 추정 시에 하천의 수리적 특성을 보다 면밀하게 반영할 필요가 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 수질모형의 적용 시 유량계수들의 적절한 추정방안을 살펴보았다. 유량계수들의 추정 시에 수리학적 유사구간의 최하류 단면을 기준으로 산정하는 것(기존의 관습적인 방법) 보다는 수리학적 유사구간 전체 단면을 고려하여 산정하는 것이 하천의 유속분포 또는 이동시간의 측면에서 보다 더 하천 유수의 흐름을 정확하게 표현할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 어떤 특정 구간에서의 잘못된 유량계수의 추정은 수질 항목에 따라서는 해당구간 수질예측의 정확도뿐만 아니라 그 하류구간에서의 수질 예측에서도 오차가 계속

누적되는 것으로 나타남에 따라 유량계수의 산정에 보다 더 세심한 주의가 기울여야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

건설교통부 (1992). 낙동강하천정비기본계획(보완 II) (남강, 남강합류부~밀양강 합류부).
 건설교통부 (1993). 낙동강하천정비기본계획(보완 III) (반변천합류부~남강합류부).
 경기도 (2004). 팔당상수원 수질개선 및 삶의 질 향상 대책.
 낙동강수계관리위원회 (2004). 낙동강 하천수리특성 분석 및 수리모의 예측기법 개발 (1차년도).
 한강수계관리위원회 (2003). 수질모델링을 위한 수리수문 인자분석.
 환경부 (1999). 낙동강수계 물 관리 종합대책.
 환경부 (2005). 경상남도 낙동강 오염총량관리 기본계획.
 Benaman, J. and Shoemaker, C.A. (2004). Methodology for analyzing ranges of uncertainty model parameters and their impact on total maximum daily load process, Journal of Environmental Engineering, 130, pp. 648-656.

- Brown, L.C. and Barnwell, T.O. (1985). Computer program documentation for the enhanced stream water quality model Qual2E, Rep. No. EPA-600/3-85/065, Environmental Research Laboratory, U.S. EPA, Athens, Ga.
- Hydrologic Engineering Center (2004). HEC-RAS, River analysis system, User's manual, ver. 3.1.2, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA.
- Masch, F.D., Narayanan, M. and Brandes, R.Y. (1971). A short-term conservative transport model for shallow estuaries, University of Texas Hydraulic Engr. Lab., Austin, TX. Technical Report HYD12-7104.
- Melching, C.S. and Yoon, C.G. (1996). Key sources of uncertainty in Qual2E model of Passaic river, Journal of Water Resources Planning Management, 122, pp. 105-113.
- Salas, J.D. and Shin, H.-S. (1999). Uncertainty analysis of reservoir sedimentation, Journal of Hydraulic Engineering, 125, pp. 339-350.