

강우-유출로 인한 달천 하도내 수질 변화와 2차원 해석

연인성[†] · 이재근* · 이호진**

충북대학교 건설기술연구소 · *대전발전연구원 · **강원도립대학

(2008년 1월 16일 접수, 2008년 5월 15일 채택)

2-Dimensional Analysis and the Changes of Water Quality in the Channel at Dal Stream due to Rainfall-Runoff

In-Sung Yeon[†] · Jae-Kune Lee* · Ho-Jin Lee**

Institute of Construction Technology, Chungbuk National University

**Daejeon Development Institute · **Kangwon Provincial College*

ABSTRACT : Water quality in the longitudinal and cross section was measured and analyzed at Dal stream. The change of water quality was compared with the change of discharge at the important points. When discharge was increased by rainfall, the concentration of BOD was decreased and the concentrations of TN and TP were increased. The correlation coefficient of BOD, TN, TP showed large with the water velocity and depth in the Case 2 that discharge was increased. Rainfall had much influenced in water quality because of moving the nonpoint source to the channel. Water velocity was analyzed by numerical model(Surface water Modeling System). Velocity was comparatively fast in the upstream that had a steep slope and narrow channel. The characteristics of pollution transfer was simulated in 2-dimensional channel, the pollution diffused rapidly to the center of flow in the main channel. Flow had much influenced in diffusion of pollution.

Key Words : *Water Quality, Discharge, Velocity, Depth, Surface Water Modeling System*

요약 : 달천의 하도내에서 중횡단의 수질조사 및 하천특성에 대한 분석을 수행하였으며, 주요 지점을 중심으로 유량변화에 따른 수질변화를 검토하였다. 강우의 발생으로 유량이 증가한 경우에 BOD의 농도는 감소하였으며, TN과 TP의 농도는 증가한 것으로 나타났다. 유량이 증가하였던 Case 2에서 BOD, TN, TP는 모두 유속과 수심에 대하여 큰 상관계수를 보였다. 강우가 비점오염원의 유입을 유도하여 하도내 수질변화에 많은 영향을 미치고 있는 것으로 분석되었다. 하도내의 유속은 수치모형(SMS)을 통해서 분석할 수 있었으며, 경사가 크고, 하도의 폭이 좁은 상류 구간에서 비교적 유속이 큰 것으로 나타났다. 2차원 하도내에서 오염원의 거동특성이 모의되었으며, 주수로인 흐름의 중앙부분으로 오염원이 빠르게 확산되는 것으로 나타났다. 오염 확산은 흐름에 큰 영향을 받고 있는 것으로 모의되었다.

주제어 : 수질, 유량, 유속, 수심, SMS

1. 서론

수환경 변화는 수질오염을 일으키는 원인 중에 하나이다. 수환경 변화는 하천의 유량과 직접적인 관계가 있다고 할 수 있다. 유지유량 및 환경개선용수와 같이 양이 적어서 발생하는 질적인 문제도 있지만, 강우로 인해 증가된 유량으로 발생하는 수질 변화 문제도 있다.

강우가 발생되면 초기에는 유역 내에 산재되어 있는 비점오염원이 노면배수를 통해 하도내로 유입된다. 이렇게 강우초기에 유입된 유량은 하도 내의 수질변화를 일으킨다. 그러나 강우의 중반부, 중반부로 갈수록 증가된 유량에 의해 용존산소가 증가하고, 희석작용으로 인해 유기물

의 오염농도가 낮아지는 경향이 있다.

강우의 발생과 소멸이 반복되는 장마철에는 오염부하량의 배출특성에 따라 유역별로 수질변화 양상이 다를 것으로 판단된다. 또한 유속, 경사 등의 하도내 수리특성은 자정작용에 영향을 주어 수질변화에 영향을 미친다고 할 수 있다.

한강 하류부의 도시하천 부근에서는 수질관리 방안을 검토하기위해 2차원 유한요소모형을 적용하여 하천의 수리학적 특성¹⁾에 따른 오염물질의 거동특성을 모의한 연구^{2~4)}가 진행된 바 있다. 이번 연구는 남한강 상류인 달천을 중심으로 강우와 수리특성이 수질에 미치는 영향을 검토하고자 한다. 달천 본류로 음성천 등 17개의 제 1지류가 유입되고 있으며, 상류에 음성공단이 위치하고 있다. 연구대상구간은 쌍천과의 합류 이후부터 최소 90 m에서 최대 340 m 정도의 하폭이 유지되고 있으며, 주변은 산지와 논,

[†] Corresponding author

E-mail: isyeon@chungbuk.ac.kr

Tel: 043-261-3669

Fax: 043-271-6503

밭이 분포해 있다.

강우로 인한 오염물질 유입비가 큰 경우에는 강우성 오염물질의 유입관리가 상수원 수질관리에서 중요하게 대두된다.⁵⁾ 산지개발, 과도한 비료사용, 잦은 객토, 환경 훼손형 영농들이 비점오염물질 유출의 주원인이다. 강우시 유출되는 토사로 인해 수체의 혼탁도 증가, 다량의 비료성분 유출, 토사 퇴적으로 인한 하천 건천화, 수생태계 교란, 상수도 취수장 기능상실, 주민의 수질에 대한 불신이 증가하고 있어 이에 대한 대책이 시급한 실정이다.⁶⁾

강우와 하천특성인자가 수질에 미치는 영향을 검토하기 위해 수질조사와 유량조사를 병행하였으며, 유량변화에 따른 BOD, TN, TP의 변화를 살펴보고, 강우발생 이전과 이후의 수질 특성을 분석하였다. 유속 및 경사 등의 하천특성인자에 의한 영향을 고려하여 중단 및 횡단의 수질 분석을 수행하고, 하도내 흐름특성에 따른 오염원의 확산양상을 살펴보고자 한다.

2. 연구 방법

연구 진행은 현장조사와 수치모형에 의한 모의로 크게 나눌 수 있으며, 연구의 흐름도는 Fig. 1과 같다.

현장조사로는 유량조사와 수질조사가 진행되었는데, 주요 지점에서는 유량과 수질의 변화관계를 분석하기 위해 채수와 유속 측정이 동시에 이루어졌다. Fig. 2에 현장조사 과정을 나타내었다. 유량 및 수질조사는 강우 발생이 현저한 장마철을 중심으로 진행되었으며, 강우 발생에 따른 유량 변화의 영향을 고려하였다. 또한 흐름에 따른 오염농도 변화를 고려하여 중단 및 횡단지점별 조사를 수행하였다.

실험실 수질 분석 항목은 하천내의 유기물 농도를 파악하기 위한 BOD, 영양염류 항목인 TN, TP를 중심으로 진

행되었으며, 각 항목에 대한 조사, 분석방법은 국내에서 일반적으로 사용하는 수질오염 공정 시험법에 의하여 수행되었다.

현장 조사된 측정 자료를 바탕으로 SMS(Surface water Modeling System, version 9.2) 패키지를 통해 수치모의를 수행하였다. 수치모의는 SMS내에 포함된 RMA2와 RMA4 모형을 이용하였다. RMA2는 수리학적 흐름특성을 모의할 수 있으며, RMA4는 오염확산을 모의할 수 있다.

흐름특성의 모의를 위해서는 식 (1)의 연속방정식과 식 (2) 및 (3)과 같은 운동량방정식을 지배방정식으로 하며, 2차원 천수방정식은 Galerkin의 가중잔차법(weighted residual method)에 의하여 해석이 가능하다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{1}{\rho} (\epsilon_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \epsilon_{yy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}) \\ + g \frac{\partial a}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + \tau_x = 0 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{\rho} (\epsilon_{xx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \epsilon_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}) \\ + g \frac{\partial a}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} + \tau_y = 0 \end{aligned} \tag{3}$$

여기서, a : 하상표고(m), g : 중력가속도(m/sec), h : 수심(m), t : 시간(sec), u, v : x, y 방향의 유속성분, ϵ : 확산계수, ρ : 밀도(kg/m³), τ_x, τ_y : x, y 방향으로 작용하는 마찰응력항.

마찰응력항은 식 (4), (5)와 같이 바닥마찰, 바람영향 및 Coriolis 효과를 나타낸다.

$$\tau_x = -\frac{gu}{C^2 h} (u^2 + v^2)^{1/2} - \frac{\zeta}{h} V_a^2 \cos \psi - 2\omega v \sin \phi \tag{4}$$

$$\tau_y = -\frac{gv}{C^2 h} (u^2 + v^2)^{1/2} - \frac{\zeta}{h} V_a^2 \cos \psi - 2\omega u \sin \phi \tag{5}$$

여기서, C : Chezy 계수, ζ : 경험적인 바람응력계수, V_a : 풍속, ψ : 풍향, ω : 지구의 각속도, ϕ : 적용대상 지역의 평균위도.

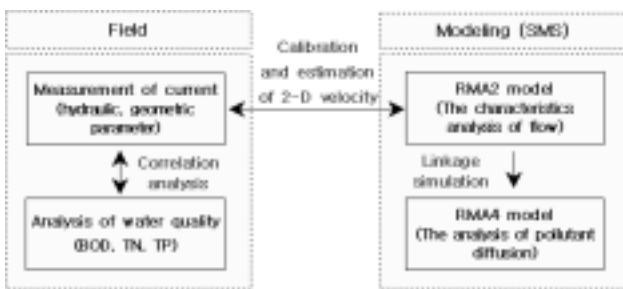


Fig. 1. Flow chart of research.



Fig. 2. Measurement of current and water quality.

오염확산의 분석을 위해서는 비압축성난류 전단흐름에서 보존물질에 대하여 3차원 이송확산방정식을 수심방향으로 적분한 2차원 이송확산방정식을 지배방정식으로 사용하며, 이는 식 (6)과 같다.

$$h \left(\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} - D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - \sigma + kc \right) = 0 \quad (6)$$

여기서, c 는 오염물질 농도, σ 는 오염원의 생성 또는 소멸, k 는 감소계수, D_x, D_y 는 x, y 방향으로의 난류확산계수이다.

3. 분석결과 및 고찰

3.1. 현장조사 분석

현장조사는 달천 팔봉교 부근의 11개 지점에서 수행되었으며, 각 지점별로 유량조사와 수질조사가 동시에 이루어졌다. 채수와 수심 및 유속 측정을 실시한 각 측정지점의 위치를 Fig. 3에 나타내었다.

수질조사는 장마철이 시작되기 직전인 2007년 6월 13일과 여러 차례의 강우발생으로 유량이 증가했던 2007년 7월 6일에 실시되었다. 수질조사의 주요 항목은 BOD, TN, TP이며, 하도내 2차원적 흐름특성과 수질변화 양상을 분석하기 위해 중, 횡단으로 조사되었다. 몇 주간 무강우가

지속된 6월 13일 사상을 Case 1으로, 유량이 증가했던 7월 6일 사상을 Case 2로 나타내었으며, 강우의 유무에 따른 각 항목별 분석 결과를 Fig. 4~6에 나타내었다. 중, 횡단 수질 농도는 주수로의 흐름을 기준으로 개략적인 채수위치에 도시하였다.

분류 하도내의 BOD 농도는 유량이 작았던 Case 1의 경우가 2.3~4.5 mg/L의 범위를 보였으며, 오염원의 유입으로 상류에서 하류까지 점진적으로 오염농도가 증가하는 경향을 보였다. 유량이 증가한 Case 2에서 낮은 BOD 농도를 보였으며, 1.1~1.9 mg/L의 범위로 나타났다. 분류로 유입되는 석문동천(중단좌표 9, 횡단좌표 1)에서는 Case 1과 Case 2에서 각각 4.0 mg/L, 2.9 mg/L로 나타났다. 유량증가로 인해서 BOD 농도는 낮아진 것으로 분석되었다.

TN 농도는 Case 1에서 1.4~1.9 mg/L의 범위를 보였으며, Case 2에서 2.6~3.2 mg/L의 범위를 보였다. TN 농도는 유량이 증가한 Case 2에서 증가된 것으로 나타났으며, 하도내 TN 농도는 상류에서 하류까지 비교적 일정한 분포를 보였다. 석문동천에서는 Case 1과 Case 2에서 각각 1.9 mg/L, 4.5 mg/L로 나타나 유량증가에 따라 TN 농도는 높아진 것으로 분석되었다.

TP 농도는 Case 1에서 0.01~0.03 mg/L의 범위를 보였으며, Case 2에서 0.03~0.05 mg/L의 범위를 보였다. TP 농도는 TN의 변화와 같이 유량이 증가한 Case 2에서 증가된 것으로 나타났다. 석문동천에서는 Case 1과 Case 2에서 모

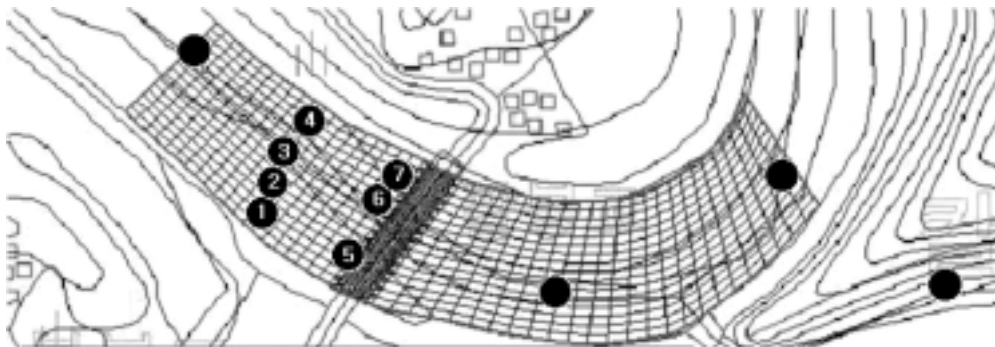
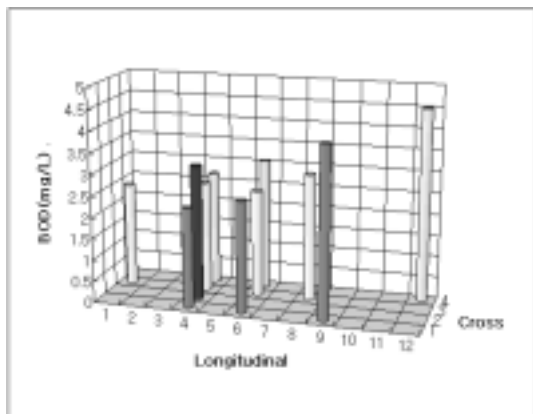
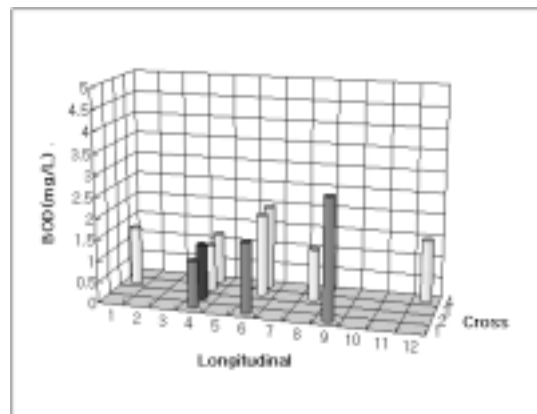


Fig. 3. Sampling points and main points(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7).

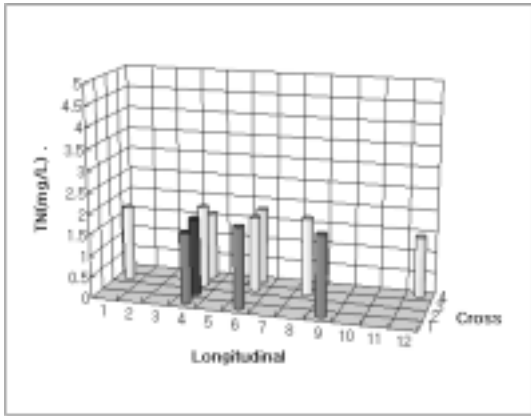


(a) Case 1

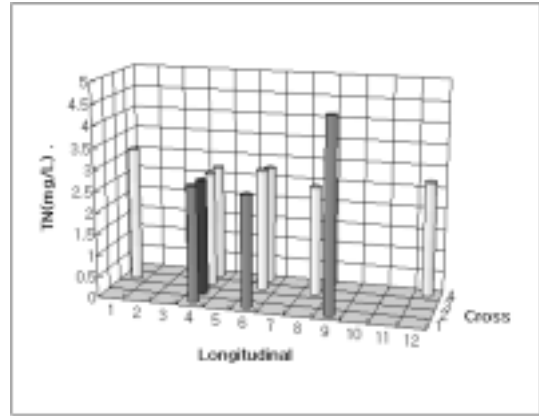


(b) Case 2

Fig. 4. The change of BOD in longitudinal and cross section.

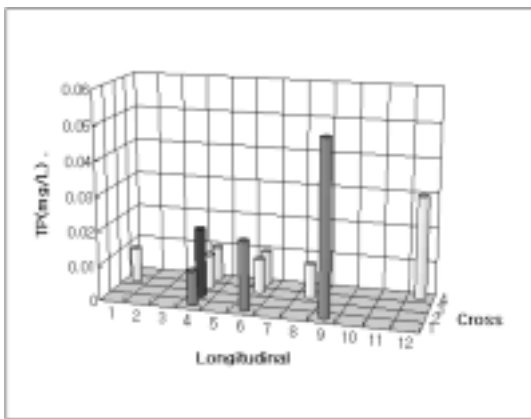


(a) Case 1

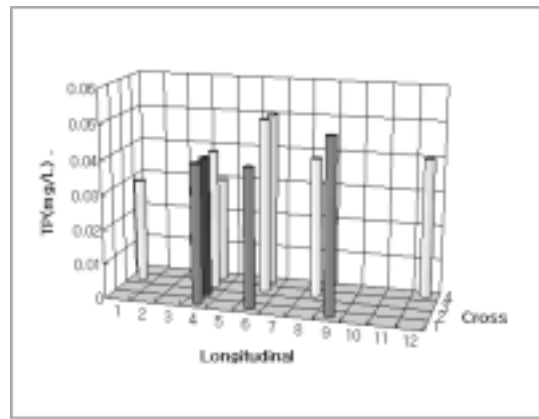


(b) Case 2

Fig. 5. The change of TN in longitudinal and cross section.



(a) Case 1



(b) Case 2

Fig. 6. The change of TP in longitudinal and cross section.

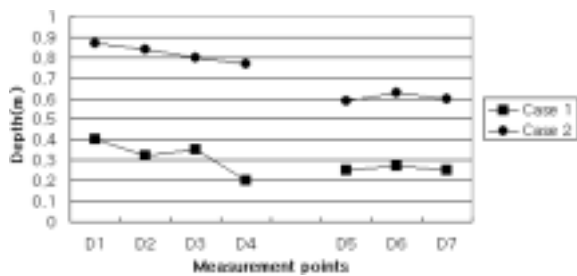
두 0.05 mg/L로 나타나 지속적인 오염원의 유입이 있는 것으로 분석되었다.

이번 조사에서 BOD, TN, TP의 농도는 강우로 인해 증가된 유량에 의해 많은 영향을 받는 것으로 분석되었다. 유량이 증가한 경우에 BOD는 감소한 것으로 나타났으며, 유속 및 수심의 증가가 자정계수에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 그러나 연구대상 구간의 상류는 전형적인 농촌으로서 임야를 제외하면 전, 답 등의 농업적 토지이용이 주를 이루고 있으며 또한 주변 지역에 비해 가축밀도가 높다. TN, TP의 농도는 강우에 의해 유입된 비점오염원의 영향으로 증가되었을 것으로 판단된다. 또한 지류인 석문동천

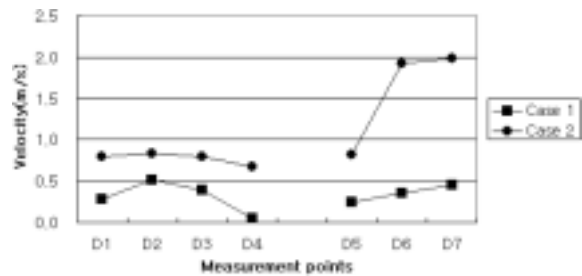
의 상류에는 위락시설과 농경지 및 축사가 산재해 있어 달천 본류로 유입되는 유량이 많지는 않으나, 수질관리 차원에서 꾸준한 개선이 필요할 것으로 판단된다.

달천은 상수원 보호구역으로 비교적 관리가 잘 되고 있는 하천 중 하나이다. 이번 조사에서 무강우 시기의 BOD의 농도는 달천의 평균수질⁷⁾에 비해 높은 것으로 나타났는데, 측정지점 주변으로 여름철 출입이 잦은 행락객들의 영향이 있었을 것으로 판단되며, 환경개선용수로서 상류에 있는 괴산댐의 방류량을 적절히 고려해 볼 수 있을 것이다.

상류부의 인접한 두 횡단면을 중심으로 측정된 지점별 수심과 유속을 Fig. 7에 나타내었다. 달천 1, 2, 3, 4 지점



(a) Water depth



(b) Velocity

Fig. 7. Comparison of the changes of water depth and velocity in each sampling points.

(D1, D2, D3, D4)은 일정한 간격으로 같은 횡단선상에 위치한 지점이며, 달천 5, 6, 7의 상류지점이다. 달천 5, 6, 7 지점(D5, D6, D7)도 동일 횡단면에 위치한 지점이다. Case 1과 Case 2는 각각 장마철 강우로 영향을 받기 전후의 사상이다.

두 사상을 지점별로 비교해보면, 달천 1, 2, 3, 4 지점에서는 유속의 증가에 비해 수심의 증가가 컸고, 달천 5, 6, 7 지점에서는 수심의 증가에 비해 유속의 증가가 매우 큰 것으로 나타났다. 이것은 하도의 지형특성에 따라 수심과 유속은 다르지만, 식 (7)과 같이 일정한 유량이 유지되고 있음을 설명한다. 또한 유속은 조도계수에 반비례하고, 하상경사의 제곱근에 비례한다. Manning의 유속 계산식에서 하폭이 넓은 광폭하천이라면 식 (8)과 같이 가정할 수 있으며, 유속은 수심에도 영향을 받는 함수임을 알 수 있다.

Q는 유량, A는 통수 단면적, B는 하폭, H는 수심, V는 유속, n은 조도계수, R은 경심(통수반경), P는 윤변, I는 하상경사일 때 다음과 같은 관계식으로 표현된다.⁸⁾

$$Q = AV = BHV \tag{7}$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n} \left(\frac{A}{P}\right)^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n} (H)^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \tag{8}$$

달천 5, 6, 7 지점에서는 결과적으로 수심보다 조도계수와 하상경사가 유속의 증가에 큰 영향을 미쳤다고 볼 수 있다. 달천 5, 6, 7 횡단면의 하상경사는 달천 1, 2, 3, 4 횡단면의 하상경사보다 크며, 하상이 잘 정리되어 있어 조도계수 또한 작았기 때문으로 판단된다.

주요 지점을 중심으로 Case 1에서 Case 2로 유량이 증가하였을 때, 유량변화에 영향을 주는 유속과 수심에 대하여 수질과의 상관계수를 분석하여 Table 1에 나타내었다. 한 변수의 값이 증가할 때 다른 변수의 값도 증가하면 양의 상관관계, 한 변수의 값은 감소하는데 다른 변수의 값은 증가하면 음의 상관관계를 갖고, 두 변수 값이 서로 관계가 없으면 상관관계는 0에 가깝게 된다. Table 1에서 보는 바와 같이 BOD, TN, TP는 유량의 증가와 함께 유속과 수심이 증가하였던 Case 2에서 높은 상관계수를 보였으며, 오염원의 농도는 강우로 인해 유량이 증가

Table 1. Correlation water quality with velocity and depth

Item	Case 1			Case 2		
	BOD	TN	TP	BOD	TN	TP
Velocity	0.55	0.56	0.23	0.88	0.80	0.89
Depth	-0.30	0.13	-0.06	0.88	0.80	0.88

되었을 때에 수리학적 인자로부터 보다 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

이번 연구는 강우가 빈번히 발생되었던 장마철 조사를 통해 이루어져 초기강우에 대한 영향보다는 강우의 유무와 유량 변동에 따른 하도내 수질변화에 주안점을 두었다. 마을 등으로부터의 측방유입량은 작아서 분석에 대한 영향이 크지 않을 것으로 판단하여 모형의 모의에 고려되지 않았으며, 이를 고려한다면 보다 세밀한 흐름특성과 수질의 상관성을 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2. 수치 모의

연구 대상구간의 지점별 흐름에 따라 오염원이 거동하는 특성을 모의하였으며, 이를 위해 SMS(Surface water Modeling System)를 이용하였다. SMS를 이용하여 흐름특성과 오염확산에 대한 수치모의를 수행하며, 전처리를 통한 2차원적 지형파일 및 기초자료 변환, 유한요소망의 구축, 동수역학적 흐름해석인 RMA2 수행, 오염확산에 대한 RMA4 수행, 후처리과정을 통한 가시화 과정을 거친다.^{9,10)}

하천의 흐름특성 및 오염물질의 확산을 분석하기 위해서는 지형학적 자료가 필요하다. 이번 연구에서는 1/5000 수치지도상에 표시된 표고(Elevation) 기준점으로 하여 하도내 표고를 입력하였으며, 등고선(Contour)을 통해 표현된 하도내의 하상고를 Fig. 8에 나타내었다. 이를 토대로 Fig. 9와 같이 격자망(Mesh)을 구성하고, 흐름분석을 수행하였다. 경계조건으로 상류에는 유량 60 cms, 하류에는 수위 1.2~1.6 m를 적용하였다. 모델링에 있어 초기에는 상류의 하상고보다 높은 수위(E.L)를 입력하고, 시행착오법에 의해서 실측치에 가깝도록 모형의 보정 과정을 거친다. 횡단면별로 실측된 ①~⑦ 지점의 유속을 이용하여 Fig. 10에서와 같이 모형을 검증하고, Fig. 11에서와 같이 Case 2에 대한 BOD의 거동을 모의하였다. 수리특성에 따른 오염원의 순간적 거동 양상을 분석하기 위해 기저 농도는 고려하지 않고, 상류단 경계조건으로 측정값인 BOD 1.38 mg/L

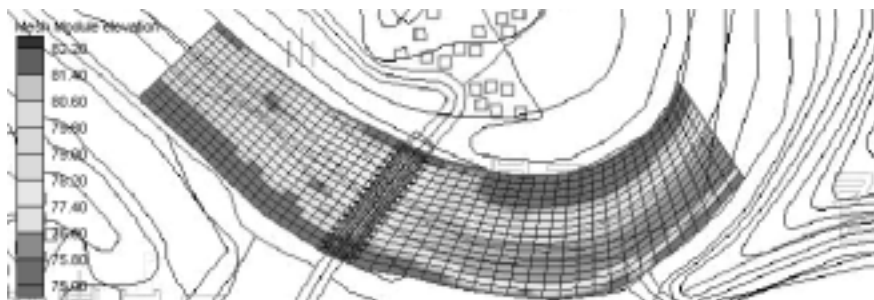


Fig. 8. Channel elevation in mesh module.

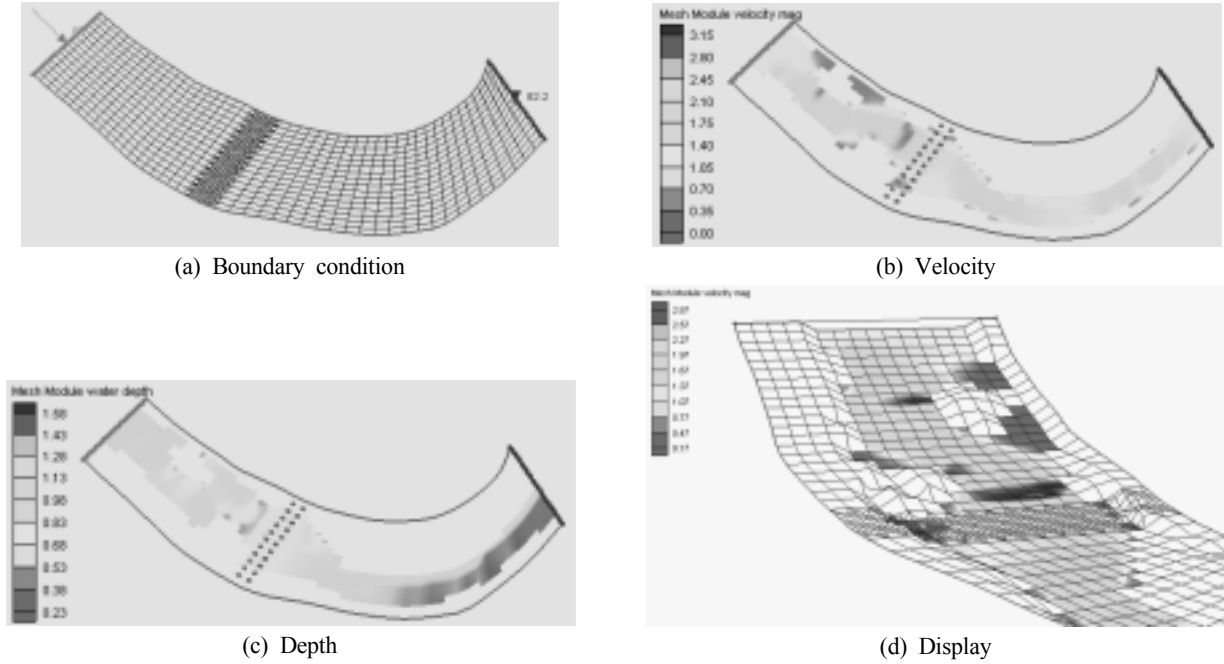


Fig. 9. The simulated results of the flow characteristics using RMA2 model (Flow 60 cms).

를 적용하였다. 적용 모형에서 확산을 고려하는 계수로 -1의 값은 재료상 정상류 흐름을 나타내고 양수 값(m²/s)은 난류를 표시하며, 자연하천에서의 범위⁸⁾를 고려하였다.

Fig. 9의 (d)에서 보는 바와 같이 연구 대상 구간의 상류에는 자연적으로 퇴사된 점이 있어 흐름에 영향을 미치고 있다. Fig. 9의 (b), (c)와 주요 지점을 나타낸 Fig. 10을 살펴보면 ①, ④, ⑤의 지점에서 지형적 영향으로 낮은 유속을 보이며, 흐름상 주수로인 ②, ③, 그리고 ⑥, ⑦의 지점에서는 비교적 빠른 유속을 보였다. 또한 ⑥, ⑦의 지점의 직상류는 경사가 커서 수심은 비교적 낮지만, 유속이 매우 큰 것으로 모의되었다. ⑥, ⑦의 지점의 직하류에서는 교각의 영향으로 인한 흐름 변화를 보였다.

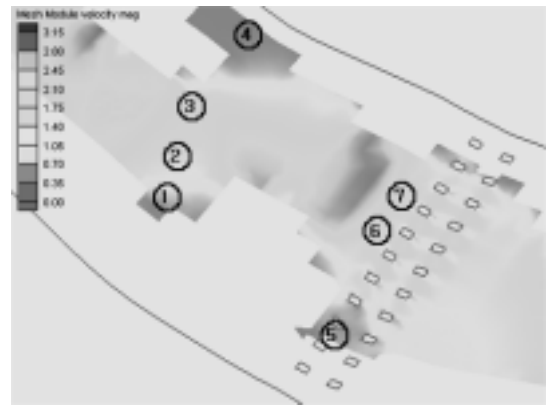


Fig. 10. Velocity distribution in the main points.

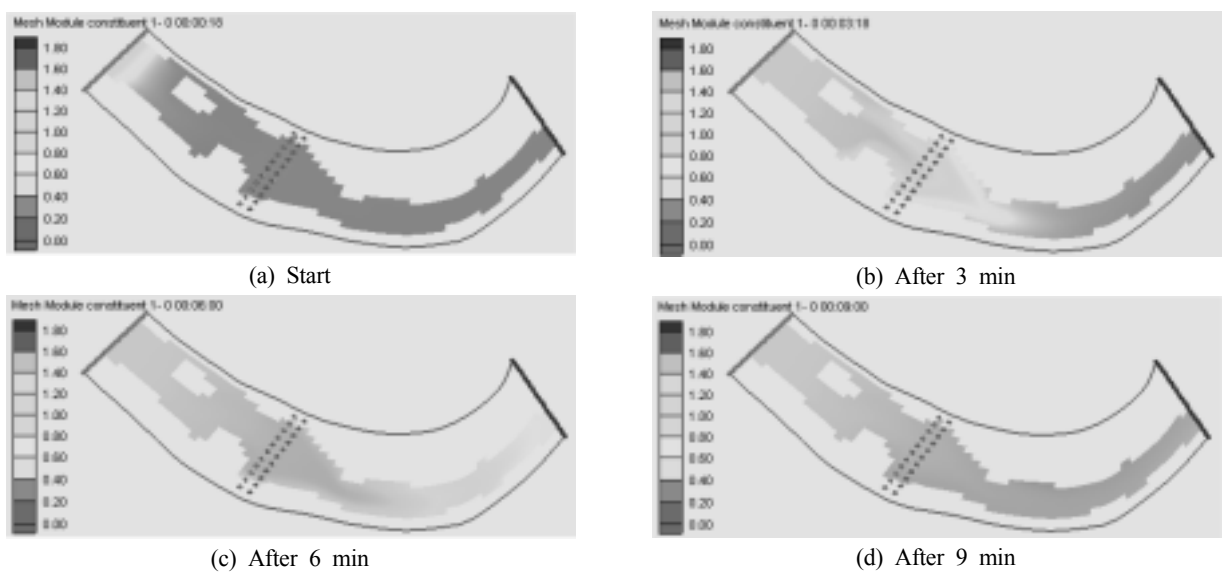


Fig. 11. The analysis of moving pollution in the channel(BOD 1.38 mg/L).

이러한 흐름 속도에 따라 오염원이 이동하는 거동특성을 모의하였으며, Fig. 11에서와 같이 9분이 경과되면서 모의구간 상류에서 하류까지 완전히 도달하는 것으로 나타났다.

주요 지점에서는 흐름의 중앙부분으로 오염원이 빠르게 확산되었다. 1, 2, 3, 4 횡단면에서는 흐름속도로 인해 오염원은 1, 2, 3 지점 도달 후 4번에 도달되었다. 5, 6, 7번 횡단면에서는 오염원이 중앙부인 6번 지점으로 도달된 후 7, 5번순으로 확산되는 경향을 보였다. 오염 확산은 흐름에 큰 영향을 받고 있는 것으로 분석되었다.

4. 결론

달천의 하도내에서 종횡단의 수질조사 및 하천특성에 대한 분석을 수행하였으며, 주요 지점을 중심으로 강우의 유무에 따른 수질변화 분석과 하도내 2차원 해석으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

강우의 유무에 따라 분석한 결과, 강우의 발생으로 유량이 증가한 경우에 BOD의 농도는 감소하였으며, TN과 TP의 농도는 증가한 것으로 나타났다. 조사된 수질 자료와 유속 및 수심의 관계는 무강우 시기인 Case 1에 비하여 강우 시기인 Case 2에서 높은 상관성을 보였다.

강우로부터 유량이 증가된 것은 유속과 수심의 증가에서 기인된 것이며, 조도계수와 하상경사는 유속에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 유량 증가에 따른 BOD 농도의 감소를 통해서 자정작용에 영향을 미치는 하도내 수리학적 특성이 수질변화에도 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 강우로 인한 TN과 TP의 농도 증가는 비점오염원의 유입으로 인한 것이며, 강우가 하도내 수질변화에 많은 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

하도내의 종횡단 유량측정 및 수질조사를 통해서 2차원적인 수질변화 성향을 살펴 볼 수 있었으며, 흐름해석을 통한 수질변화를 모의할 수 있었다. 수치모형을 통해서 하도내의 유속을 분석할 수 있었으며, 경사가 크고, 하도의 폭이 좁은 상류 구간에서 비교적 유속이 큰 것으로 나타났다. 2차원 하도내에서 오염원이 거동하는 특성을 모의한 결과, 주수로인 흐름의 중앙부분으로 오염원이 빠르게 확산되었으며, 오염확산은 흐름에 큰 영향을 받고 있는 것으로 모의되었다.

사 사

이 논문은 2006년도 교육인적자원부의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-353-D00036).

참고문헌

1. 최계운, 김기형, 조준범, 한현준, “2차원 수치모형에 의한 남한강 합류흐름 해석,” 한국수자원학회 학술발표회논문집, pp. 589~594(2004).
2. 유영진, 박창배, 구자용, 조용모, 조항문, “동적 2차원 모형을 이용한 왕숙천이 한강수질에 미치는 영향에 대한 연구,” 대한환경공학회지, **24**(8), 1405~1413(2002).
3. 김형일, 이종설, 허준행, 조원철, “한강 하류부에서의 오염물질의 거동특성 연구,” 한국수자원학회 논문집, **31**(1), 85~93(1998).
4. 송창근, 서일원, 이명은, “한강 하류부에서의 조석에 의한 역류 및 확산,” 한국수자원학회 학술발표회논문집, pp. 418~422(2007).
5. 김종민, 김현구, 김용석, 이종천, 류성호, 장남익, “강우가 상수원의 오염물질유입에 미치는 영향”, 대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문집, pp. 350~357(2004).
6. 환경부, 물환경관리 기본계획(2006).
7. 충북지역환경기술개발센터, 충주호 유역의 수질오염 발생 특성 분석 및 관리방안 연구(2002).
8. Steven C. C., Surface Water-quality Modeling, McGraw-Hill, pp. 149~152, 235~257(1997).
9. 한국수자원학회, 제10회 수공학워크샵(2002).
10. Environmental Modeling Research Laboratory, SMS tutorials version 9.2, Brigham Young University(2006).