

한강하류부에서의 확산계수에 따른 오염물질 거동 특성 분석

An Analysis of pollutant behavior characteristics with variation of dispersion coefficients in the downstream part of Han River

고재형* 류택희* 김수열* 윤세의**

1. 서론

우리나라에서 현재 당면하고 있는 수량부족과 수질악화로 인한 물문제는 근본적으로 하천 오염에서 기인한다. 물론 일부지역에서는 가뭄으로 수량자체가 부족하여 문제가 되고 있는 곳도 있지만 대부분의 지역에서는 인근의 하천에 물은 있어도 안심하고 마실수 있고, 수용할 수 있는 물은 부족한 실정이다. 또한, 경제성장에 따른 도시화 및 산업화 사회로의 변모와 국민생활 수준 향상에 따른 급격한 용수수요 증가로 인하여 수자원의 적정이용 문제가 심각하게 제기되고 있다.

한강은 생활용수, 산업용수 등의 중요한 용수 공급원 및 시민들의 친수 활동에도 활용되어 왔다. 산업화와 도시화로 인한 경제 성장에 따라 한강을 중심으로 수도권 지역에 산업시설 및 대단위 주택단지가 집중 되었으며, 이에 따라 하천으로의 오염물질의 유입은 불가피한 실정이다. 이러한 오염물질이 어떻게 이동하며 어떤 확산과정을 거치게 되는가에 대한 해석 및 예측은 순환되는 수자원을 계속적으로 이용하는 데에 필수 적이라 할 수 있다. 수계 내에서의 오염물질의 거동특성을 파악하기 위해서는 합리적인 확산계수의 산정이 필요하다. 연속적으로 투입된 오염부하량은 확산계수의 영향이 별로 없지만 순간적으로 오염물질이 유입되었을 때는 확산계수의 변동에 따라 오염물질의 거동특성이 많은 차이를 나타낸다. 또한, 한강 중·하류부에는 많은 취수장들과 시민들의 위락시설이 위치하고있어 오염물질이 순간적으로 유입되었을때의 대처 방안은 더욱더 중요한 문제점으로 부각되고 있다. 그러나 국내에서는 오염물질이 연속적으로 투입되었을때의 연구는 활발히 진행되고 있으나 순간적으로 오염물질이 유입되었을때의 거동 특성에 대한 연구는 극히 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 한강하류부의 확산계수의 범위를 합리적으로 산정하고, 이 범위의 확산계수 변동이 한강하류부의 오염물질 거동에 미치는 영향을 분석하였다. 대상 구간으로는 잠실수중보 직하류로부터 한강 인도교 지점까지의 구간을 선정하였다. 연속적인 오염 물질의 투여 조건으로 볼수 있는 갈수기를 대상으로 RMA-2 모형을 적용하여 하천의 흐름 상태를 파악하였고, RMA-4 모형을 이용하여 계산된 값과 현장에서 실측한 값을 비교 검토하였다. 또한 확산계수를 3가지로 구분하고, 종확산계수에 대한 횡확산계수의 비를 일정하다고 가정하여 연구 대상구역에서의 각각의 경우에 대한 오염물질 거동 특성을 분석하였다.

* 경기대학교 토목공학과 석사과정

** 경기대학교 토목·환경공학부 토목공학전공, 교수

2. 한강하류부에서의 확산계수 추정

확산계수를 산정하는데 있어서 가장 합리적인 방법은 실제 하천에서 추적자(tracer)를 통한 확산계수를 산정하는 방법이나 이는 시간적·경제적인 문제와 하천오염으로 인하여 현실적으로 불가능하다. 따라서 여러 실험자료를 통계처리하여 제시된 경험식들에 의존하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 표1에서와 같이 한강하류부에 비교적 적용성이 크다고 발표된 McQuivey & Keefer(1974), Magazine등(1988), Fischer(1975), Seo & Cheong(1998)식과 최근에 발표된 Zhi-Qiang Deng등(2001)식을 이용하여 확산계수의 범위를 추정하였다.(윤세의(2001), 배덕효(2000))

표 1 종합확산계수 추정에 사용되는 경험식

연구자	경험식 및 특징
McQuivey & Keefer(1974)	$E_x = 0.058 dU/S$ · 측정된 자료를 이용한 회귀방정식 .
Magazine등 (1988)	$E_x/RU = 75.86 P^{-1.632}$ · P는 저항에 대한 통합적인개념 (하상조도, 폐색효과) · P를 사용함으로써 자연하천에 적용 가능하게함.
Fischer(1975)	$E_x = 0.011 U^2 W^2/(dU^*)$ · 하폭대수심비가 큰 자연하천에서 사용. · 횡방향의 속도분포를 고려함.
Seo & Cheong(1998)	$E_x/dU^* = 5.915 (W/d)^{0.62} (U/U^*)^{1.428}$ · 기존의 경험식들을 정리 분석. · One-step Huber method를 이용하여 새로운 경험식을 제시.
Zhi-QiangDeng 등(2001)	$E_x/dU^* = (0.15/8\epsilon_0)(W/d)^{5/3} (U/U^*)^2$ · B/H > 10인 하천에서 사용 · 수로의 불규칙성(만곡,사수역,이차류)을 반영하기 위해 변수 도입 · 횡방향혼합계수의 경험식 사용.

※ d:수심, U:단면평균유속, W:단면폭, S:에너지경사, R:동수반경

U*:전단유속, P:일반화된 조도계수, ϵ_0 :횡방향 혼합계수

경험식들에 필요한 수리인자는 유속, 단면폭, 수심등으로 1998년, 2000년 2회에 걸쳐서 실측한 자료를 이용하였다.

그림1,2는 McQuivey & Keefer(1974), Magazine등(1988), Fischer(1975), Seo & Cheong(1998)식과 최근에 발표된 Zhi-Qiang Deng등(2001)식을 이용하여 확산계수의 범위를 추정하였다. 그림1,2는 한강하류부에서 확산계수의 값이 어느 특정한 값을 갖는게 아니라 단면과 유량에 따라 차이가 남을 알수 있었고, 갈수시의 확산계수의 범위는 50~150 m²/s로 추정된다.

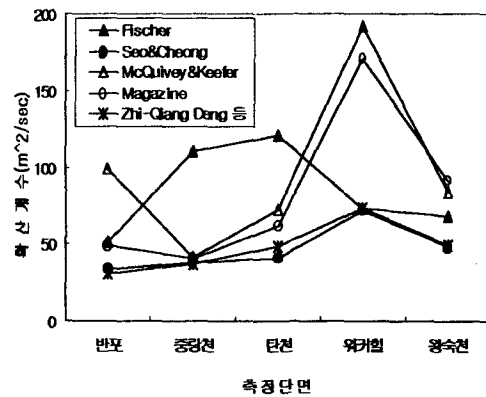
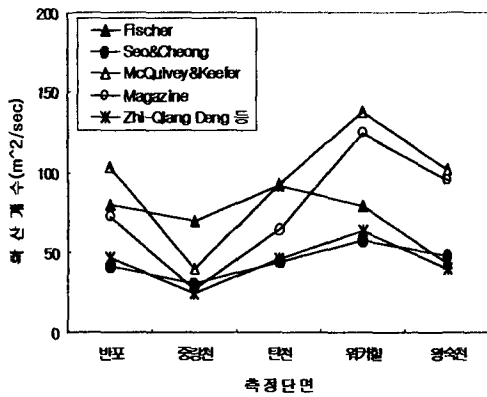


그림 1 단면별, 경험식별 종확산계수(1998) 그림 2 단면별, 경험식별 종확산계수(1998)

3. 연속투입된 오염물질의 거동 특성 분석

한강하류부의 갈수시를 대상으로 오염물질의 연속투여시 탄천 합류부와 중랑천 합류부 단면에서의 실측값과 RMA-4 모형을 이용한 결과치와 비교하였다. 여기에 사용된 확산계수의 값은 Seo & Cheong(1998), Zhi-Qiang Deng 등(2001)식에 의해 계산된 평균값 50m²/s를 사용하였다. 오염원은 각각 탄천과 중랑천 지류부분에서 유입되는 경계조건을 적용하였다. (환경부, 1998년)

그림3,4는 1998년에 실측한 BOD값과 RMA-4를 적용한 계산치로서 탄천은 좌안, 중랑천은 우안의 오염물질의 농도가 더 높게 나왔으며, 이는 지류 위치에 의한 영향으로 파악되고, 실측치와 유사한 경향을 나타내는 것을 알수 있었다. 즉 탄천과 중랑천에서 유입되는 BOD의 농도는 매우 크게 나타나고 있었으며 단면의 중앙부에서는 2~4 ppm 정도로 3급수 수질을 나타내고 있다. 또한, 한강하류부에서는 1차원 수질모형보다는 2차원 수질모형이 필요함을 확인하였다.

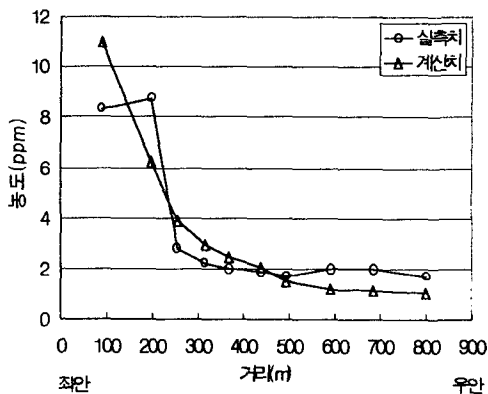


그림 3 탄천 합류부 지점에서의 BOD 실측치와 계산치의 비교(1998)

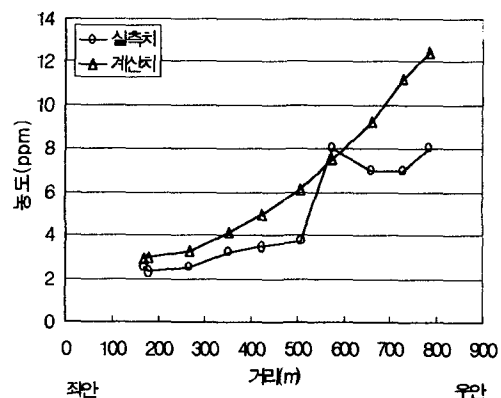


그림 4 중랑천 합류부 지점에서의 BOD 실측치와 계산치의 비교(1998)

4. 순간 투입된 오염물질의 거동 특성 분석

본 절에서는 한강하류부의 갈수기때 종확산계수를 50, 100, 150 m^2/s 으로 변동 시키고, 횡확산계수의 값은 이에 1/20로 선정하여 순간적으로 오염물질이 유입되었을 때 오염물질의 거동 특성을 파악하였다. 오염원은 탄천 합류부의 중앙지점에서 BOD 2000ppm을 가진 오염물질이 1분간 유입되었을 때 12시간 후에 나타나는 한강하류부 지점에서의 농도분포를 예측하였다.

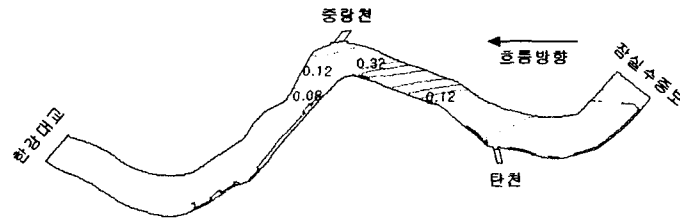


그림 5 순간 투입된 오염물질의 거동
(확산계수 $50m^2/s$) 단위:ppm

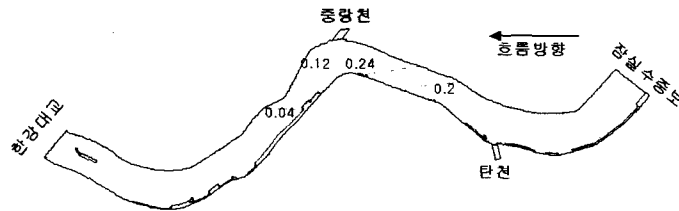


그림 6 순간 투입된 오염물질의 거동
(확산계수 $100m^2/s$) 단위:ppm

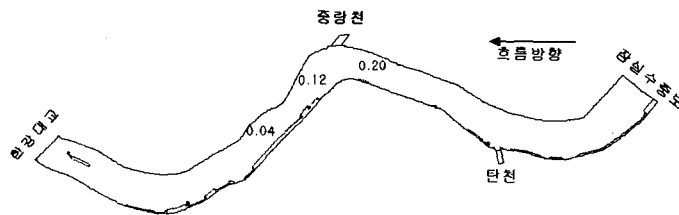


그림 7 순간 투입된 오염물질의 거동
(확산계수 $150m^2/s$) 단위:ppm

그림5,6,7을 보면 횡방향으로의 확산보다는 종방향으로의 확산이 두드러지는 것을 알 수 있다. 이것은 종방향의 유속이 횡방향의 유속보다 더 크므로해서 나타나는 결과라고 판단된다. 또한, 순간 투입된 오염물질의 투여 위치의 영향을 받아 탄천 직하류로부터 중랑천 합류구 간까지는 좌안의 농도값이 크게 분포되고 있으며, 중랑천 하류부로 부터는 반대로 우안의

농도가 크게 계산된 것은 만곡부의 유속분포의 변화에 기인하는 것으로 생각된다. 동일 지점에서 오염물질이 순간적으로 투여되었을 때 확산계수가 클수록 오염물질이 진행되는 범위가 크고 오염물질의 최고농도는 감소하는 현상을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

한강하류부를 대상으로 갈수기때의 오염물질의 거동특성을 파악하기 위하여 경험식으로 부터 확산계수의 범위를 추정하고, Seo & Cheong(1998), Zhi -Qiang Deng등(2001)식을 이용하여 계산된 평균값인 $50\text{m}^2/\text{s}$ 를 선정하였다. 연속투여 조건하에서 계산된 결과치와 현장 실측치를 비교하여 비교적 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다. 연속투여에서는 확산계수가 오염물질의 거동 특성에 미치는 영향은 미비하다고 판단된다. 한강 하류부에 순간적으로 오염물질이 유입되었을 경우에는 좌·우안의 농도의 차이, 확산범위, 최고농도 이동경로 등을 파악할 수 있었으며, 이는 오염물질의 투여 위치와 만곡부의 영향을 받는 것으로 판단된다. 확산계수가 증가할수록 오염물질의 확산규모는 증가되고 최고농도는 감소되고 있으나, 좌·우안으로 편위되는 농도분포는 비슷한 것을 확인할 수 있었다. 앞으로 실험과 실측을 통하여 순간적으로 유입된 오염물질의 거동 특성을 분석하는 노력이 필요하며, 유류와 같이 용해되지 않고 부유상태로 하천을 통하여 이동되는 오염물질에 대한 연구가 절실하다.

6. 참고문헌

1. 김형일, 이종설, 허준행, 조원철(1998) "한강 하류부에서의 오염물질의 거동특성 연구", 한국수자원학회논문집, 제31권. 제1호. pp85-93
2. 박무중, 김중훈, 윤용남(1994). "RMA-4에 의한 한강하류부에서의 오염물 확산이송 특성 연구", 대한토목학회학술발표논문집(Ⅱ), 대한토목학회, pp89-92
3. 서일원, 정태성(1995). "중확산계수에 관한 연구: I. 기존 중확산계수 추정식 비교." 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제28권. 제3호, pp205-216
4. 서일원, 유대영(1997). "오염물질의 이동역학 및 확산거동 해석." 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제30권, 제4호, pp21-27
5. 최철관, 배덕효, 한건연, 윤세의(2000) "GIS를 이용한 중확산계수 산정에 관한 연구" 대한토목학회학술발표논문집(Ⅱ), 대한토목학회, pp157-160.
6. 한정석, 이준호, 김정수, 윤세의(2001) "한강 하류부 확산계수 추정" 대한토목학회학술발표논문집. DD1333752.pdf
7. Seo, I.W. and Cheong, T.S. (1998). "Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol,124, No.1, pp25-32.
8. Zhi-Qiang Deng, Vijay P. Singh. Lars Bengtsson. (2001) "Longitudinal dispersion coefficient in stream river." *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE, Vol 127 No pp919-927