

강우유출수의 유입에 의한 해안지역 수질변화에 관한 수치연구

The Numerical Analysis on Water Quality Variation by inflow of Rainfall Runoff at the Sea Shore

최계운*, 변성준**, 김종영*** 조상욱****

Gye Woon Choi, Seong Joon Byeon, Jung Young Kim, Sang Uk Cho

요 지

해안지역은 해수욕, 어패류의 수집 등의 각종 레크리에이션에 있어 많은 사람들이 이용하는 공간이며, 해수는 해안지역에서 각종 활동 중 섭취할 가능성이 있으므로, 수질이 매우 중요하다고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 실제 해수욕장의 수치 모의(수리, 수문, 수질)를 통하여 우수 및 오수가 지표층을 통해 해안으로 유입될 경우의 해안지역의 수질에의 영향에 관하여 연구하였다. 지표에서의 우수 유출 및 오수의 흐름을 수치해석은 MOUSE 모델을 사용하였으며 해안지역의 수치해석은 MIKE 3 모델을 사용하였다. 또한 수질 분석을 위하여 미생물의 증감에 영향을 주는 해당 지역의 기온, 수온, 일조량 등의 각종 인자를 구성하여 MIKE 3의 ECOLAB 모듈을 통하여 생물학적 분석을 수행하였다.

그 결과, 해수의 오염이 발생하면, 해수욕이 가능한 기간을 위주로 확인하였을 시, 미생물이 해수에 존재하는 시간은 연간 총 200시간 가량인 것으로 나타났으며, 강우시 해수의 오염이 발생할 시, 강우가 그친 뒤에도 미생물이 완전히 사멸할 때 까지 4~6시간의 정화기간이 필요한 것으로 나타났다. 그리고 침투 오염 부하량은 비가 그친 직후에 나타나는 것으로 나타났으며 미생물의 해수 유입은 5mm 이상의 강우일 경우에 기준치 이상의 미생물이 발생하며, 해당 지역에 합류식 하수관거가 있을 시에 더욱 많이 발생하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 미생물, 강우유출, 해안지역수질, 수치해석, ECOLAB, MIKE3FM

1. 서 론

해안 지역은 레크리에이션과 해수욕, 어패류의 수집 등에 있어 많은 사람들이 이용하며, 이용 중 섭취의 가능성이 있어, 먹는 물과 함께 그 수질의 중요성이 국내외에서 인정받고 있다. 하지만 해수욕장의 경우에는 수질에 문제가 있을 시 이용 통제 등 즉각적인 대처가 가능하여 국내외에서 연구조사들을 통하여 수질 지표와 이에대한 모니터링 방안을 개발하고 있다.

최근 국내 연구조사에 따르면 해수욕장의 병원성 미생물 농도는 건기시에 10(count/100ml) 이하로 매우 낮으나 강우시 지표수가 유입될 경우에 크게 증가하는 것으로 조사되었다.

* 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수 · E-mail : gyewoon@incheon.ac.kr
** 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : seongjoon@incheon.ac.kr
*** 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정 · E-mail : Jungyoung.kim@gmail.com
**** 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정 · E-mail : chosanguk@gmail.com

따라서 본 연구에서는 연구 대상지역의 실제 해수욕장 지역의 수리 수문학적 및 수질 모델링을 통하여, 해수욕장으로 유입되는 지표수의 해수로의 유입을 해석하고, 해석결과를 토대로 지표수의 수질에 대한 모니터링 시스템 개발의 기초자료 확립 및 추후연구에 대한 방향 제시 하였다.

2. 이론적 배경

본 연구에서는 강우-유출에 대한 부정류 해석이 가능하도록, 하수관망 및 지표유출에 대한 1차원 부정류 해석 프로그램인 MOUSE와, 3차원 해양 수치해석 모형인 MIKE3 FM(Flexible Mesh)을 이용하였다.

2.1 MOUSE

MOUSE의 기본 프로그램인 하수 관로해석 프로그램에서는 1차원 유한차분 해석 모델을 활용하여 배수효과를 반영한 상태로 상류, 사류 계산을 할 수 있다. MOUSE 내에서 관거의 해석을 행하는 방법은 크게 운동파 방정식(Kinematic Wave Equation), 확산파 방정식(Diffusion Wave Equation), 그리고 동역학과 방정식(Dynamic Wave Equation) 등의 3가지 방법으로 대별된다. 지표면 유출해석 프로그램은 시간-면적 곡선 해석(Time-Area Method) 방법과 비선형 저류지 해석(Kinematic Wave, Non-linear reservoir), 선형 저류지 해석(Surface Runoff model "C") 방법을 활용할 수 있다. 본 연구에서는 지표면 유출 해석 방법으로 도심지역에서 쉽게 적용이 가능한 시간-면적 곡선 해석방법을 이용하였으며, 관거 해석을 위한 방법으로 동역학과 방정식을 적용하였다.

2.2 MIKE3 FM

MIKE3 FM은 3차원 개수로 해석 프로그램으로 3차원 비압축성 흐름에 대한 난류모델인 RANS(Reynolds averaged Navier-Stokes equation)과 운동량방정식, 연속방정식 등을 사용하여 FVM 음해법으로 풀어낸다. 안정성 등의 문제로 해석시간이 많이 소요되며 발산할 가능성이 높은 동수역학 해석과 비교적 해석시간이 짧고 안정적인 이송, 확산 모델링(수질, 유사, 생물학모델)이 분리되어 한번의 동수역학 해석으로 많은 시뮬레이션 결과를 도출 할 수 있도록 분리 해석이 가능하게 되어있다. 또한, 번식 및 사멸이 가능한 각종 박테리아와 수중생물 등의 개체 해석이 가능하도록 빛, 수온, 염도, 수질 등을 활용한 생물학적 모델링이 가능하다.

3. 모델의 구성

3.1 지표유출 및 하수관망 해석

본 연구에서는 지표유출 및 하수관망 해석을 위해 MOUSE 모델을 활용하였으며 대상지역의 하수관망은 총 연장 148km로 1,750개의 관과 1,587개의 맨홀 그리고 14개의 유출관으로 아래 그림 2와 같이 구성되어 있다.

또한 각 우수맨홀에 위치하는 소유역은 900개로 구성되어 있으며 녹지, 학교, 공원, 주거지 그리고 산업지역의

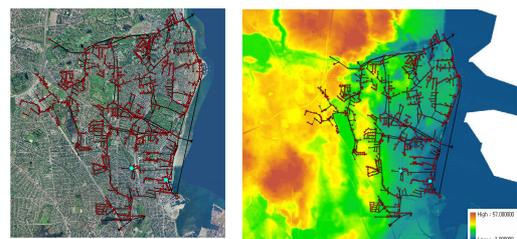


그림 2. 하수관망의 구성

로 표 1과 같이 구성되어 있다.

표 1. 소유역 구분

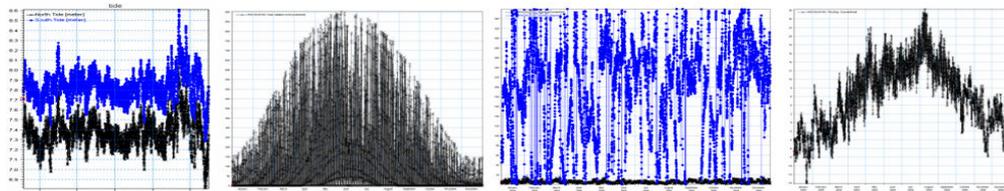
유역 구분	불투수면적 비율(%)	유역면적(ha)	총유역 면적 대비 비율(%)
녹지	<20	111.71	6.35
	20-40	1181.27	67.18
학교 및 공원	40-50	217.07	12.35
주거지역	50-60	99.58	5.66
	60-70	68.19	3.88
산업지역	70-80	20.33	1.16
	80<	60.10	3.42

수질자료는 강우시 토구로 배출되는 수질자료중 병원성 박테리아인 대장균과 장구균을 활용하는데 이는 Gentoftte 지방청에서 기 조사 결과로 제시된 통계자료를 사용하였으며 이는 토구에 배출되는 유량을 미처리 오수와 지표유출수로 나누어 구성되어 있다.

3.2 해안 및 생물학적 모델

본 연구에서는 해양 모델링을 위하여 MIKE 3 FM 모델을 사용하였으며, GIS 및 Gentoftte 지방청에서 제공받은 자료를 활용하여 Flexible Mesh망을 구축하였다.

모델의 해석 경계조건으로는 남측 및 북측 조위경계조건과 일사량, 풍속 및 풍향, 기온 등을 그림 2와 같이 시간 변화에 따라 시계열로 설정하였으며, 수온과 염도등은 격자망으로 설정하였다.



(a) 조위 (b) 일사량 (c) 풍속 및 풍향 (d) 기온

그림 3. 해석을 위한 시계열 경계조건

4. 해석 결과

해석 기간 중에는 총 20회의 강우가 발생하였으며, 그중 가장 박테리아 농도가 높았던 날짜는 2004년 6월 19일과 8월 24일로 본 연구에서는 두 기간을 중심으로 해석 결과를 분석하였다.

4.1 주요 강우 발생 기간의 해석 결과

본 절에서는 500(count/100ml) 이상인 경우에 분석의 초을 맞추었으며, 또한 그림 3과 같이 연구 대상지역에 위치한 4개소의 주요 해수욕장 지점에 대해서 수치 모의하였다.

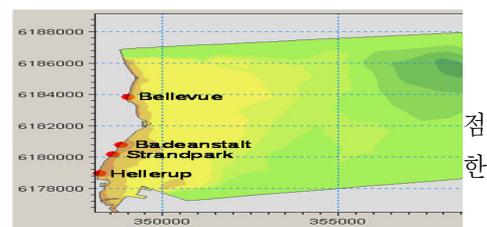


그림 4. 주요 해수욕장 지점

4.1.1 2004년 6월 19일 강우에 의한 해석 결과 분석

본 날짜에서는 20시간 동안 총 19.4mm의 강우가 발생하였으며(최대 강우강도 8.64mm/h), 이날 강우에 의한 박테리아 발생의 최대 농도는 그림 4와 같으며, 확산면적이 넓게 분포되어 있으며 비교적 균등한 농도로 발생하였다.

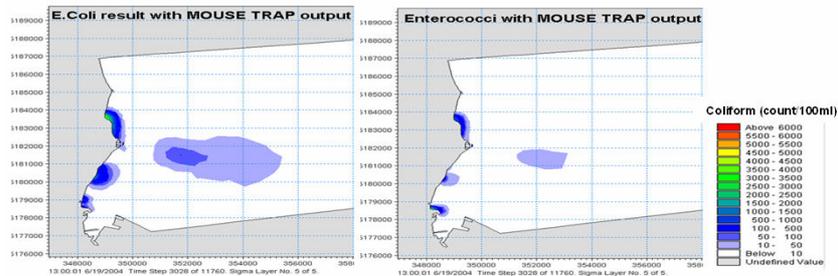


그림 5. 2004년 6월 19일 강우에 의한 박테리아 농도의 최대치

또한 각 지점별 최대 농도는 강우가 종료된 이후에 발생하였으며 강우 종료 이후 박테리아 농도가 500(count/100ml)이하가 될 때까지 소요시간은 약 8~10 시간이며, 박테리아가 완전히 사멸하는 데에는 약 24시간 가량이 소요되었다.

4.1.2 2004년 8월 24일 강우에 의한 해석 결과 분석

본 날짜에서는 10시간 동안 총 39mm의 강우가 발생하였으며(최대 강우강도 22.52mm/h), 이날 강우에 의한 박테리아 발생 최대 농도는 그림 5와 같으며 확산면적이 좁지만 해수욕장이 위치한 해안가에서 매우 높은 농도가 발생하였다.

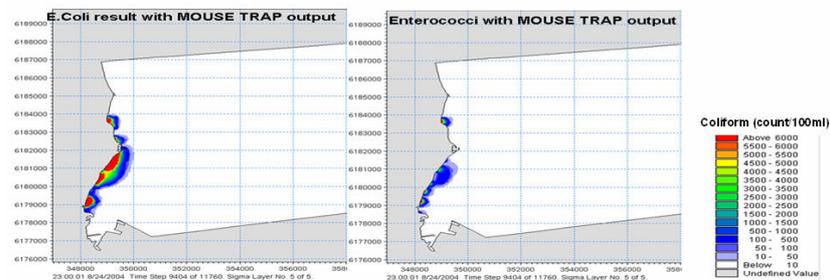
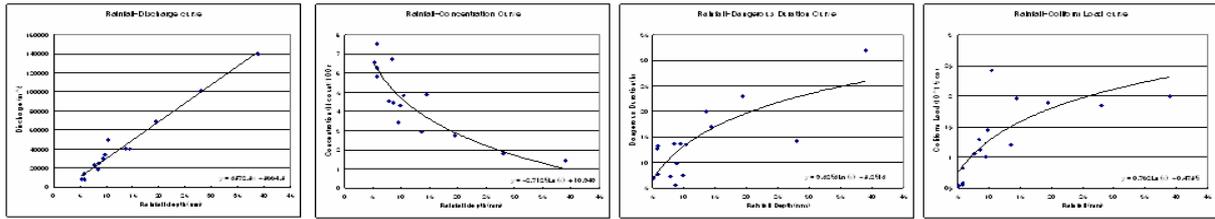


그림 6. 2004년 8월 24일 강우에 의한 박테리아 농도의 최대치

또한 각 지점별 최대 농도는 강우가 종료된 이후에 발생하였으며 강우 종료 이후 박테리아 농도가 500(count/100ml)이하가 될 때까지 소요시간은 약 6~9 시간이며, 박테리아가 완전히 사멸하는 데에는 약 30시간 가량이 소요되었다.

4.2 박테리아 농도와 강우와의 관계 분석

본 절에서는 해석 기간중 20회의 강우와 강우 발생 시의 박테리아 농도, 총 부하량, 발생지속시간 등과 비교하였으며, 해석 결과 강우량과 박테리아 농도 간에는 로그 관계가 있는 것으로 나타났다.



(a) 강우량-유출량 (b) 강우량-발생농도 (c) 강우량-지속시간 (d) 강우량-총 부하량

그림 7. 강우량-해석결과 관계 분석

5. 결론

본 연구에서는 MOUSE와 MIKE 3 FM 모형을 구축하여, 강우시 해수욕장의 대장균, 장구균 농도를 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 강우량이 작으나 강우지속시간이 길었던 6월 19일 강우시에는 강우강도가 크고 지속시간이 짧은 8월 24일 강우시에 보다 박테리아의 농도는 작으나 확산 면적이 크게 나타났다.

둘째, 해석결과 4개의 주요 해수욕장에 박테리아가 500(count/100ml) 이상으로 발생한 총 시간은 58시간이나 전체 해석 지역에 발생한 시간은 총 212 시간으로, 박테리아가 해수욕장 지점 밖에 존재하는 시간이 더 길게 나타났으며, 어떠한 환경 변수의 영향으로 해수욕장에 유입될 수도 있기 때문에 이또한 숙고되어야 한다.

셋째, 해수욕장의 박테리아 농도는 강우 종료 이후에 최대값이 나타났으며, 박테리아가 장시간 존재하게 된다. 그러므로 강우 종료 이후에 날씨가 좋아지더라도 정확한 예보로 이용을 통제해야 한다.

넷째, 강우량과 박테리아 발생 농도와는 반비례 관계가 나타나지만, 지속시간과 총 부하량과는 비례하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 최계운(2007), MIKE 21 모형을 이용한 인천연안의 수질 확산 모의에 관한 연구, 2007 한국수자원학회 학술발표회 논문집
2. 최계운(2007), 하수처리장 증설에 따른 해양오염 변화 분석, 2007 대한토목학회 학술발표회 논문집
3. DHI Water & Environment(2007), "MIKE 21 & 3 Flow Model FM - Hydrodynamic and Transport Module Scientific Documentation". DHI Water and Environment.
4. DHI Water & Environment(2004) "MOUSE Reference Manual". DHI Water and Environment.
5. DHI Water & Environment(2000) "MOUSE Reference Manual". DHI Water and Environment.
6. European Commission-Environment(2000) "DIRECTIVE 2000/60/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 October 2000 - establishing a framework for Community action in the field of water policy", Official Journal of the European Communities
7. European Commission-Environment(2007) "Water Quality of European Union-Bathing Water", http://ec.europa.eu/water/water-bathing/index_en.html
8. Ole Mark and Anders Erichsen(2007) Towards Implementation of the new EU Bathing Water Directive - Case studies : Copenhagen & Aarhus, Denmark, NOVATECH - 2007