강우발생 시 해안지역 대장균 유출에 관한 연구

A Study on Discharged Coliform into Coastal Bathing Water after Rainfall Event

변성준* · 최계운** · 조형근***

Byeon, Seong Joon · Choi, Gye Woon · Jo, Hyoung Geun

Abstract

Coastal areas are excellent venues for tourism and recreational activities promoting health and therapeutic benefits for its users. Thus, needless to say, it is very important to ensure good water quality in these bathing areas to protect people's health. Various guidelines regarding beach water quality exist throughout the world. However, proper monitoring systems for efficient collection and analysis of water quality and up-to-date dissemination of information are yet to be widely implemented. In this study, bathing water quality modeling and analysis is performed through the conjunctive use of several powerful modeling softwares. MOUSE, a physically-based model, was used to represent a one-dimensional pipe network model simulating the hydrodynamic and water quality behavior of the urban drainage system of Gentofte, Denmark. MIKE 3 FM was also applied to simulate coastal hydraulics and bacterial advection-dispersion considering biological decay. For the simulated rain events, checking exceedance (where concentration is greater than 500 counts per 100 ml) in defined bathing points identified a maximum total duration of 58 hours in Bellevue beach. However, checking for the entire coastal area revealed a maximum exceedance duration of 212.5 hours. This indicates the importance of comprehensive determination of bathing water quality in the area.

Key words : E.Coli, Bathing Water Quality, MOUSE, MIKE3, ECOLAB

요 지

해안지역은 해수욕, 어패류의 수집 등의 각종 레크레이션에 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 해안지역에서 수질의 영향에 관하여 연구하였다. 지표에서의 우수 유출 및 오수의 흐름 수치해석은 MOUSE 모델을 사용하였으며 해안지역의 수치해석은 MIKE 3 모델을 사용하였다. 또한 수질 분석을 위하여 대장균의 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, 대장균이 해수에 존재하는 시간은 연간 총 200시간 가량인 것으로 나타났으며, 강우 시 해수의 오염이 발생하면 강우가 그친 뒤에도 대장균이 완전히 사멸할 때 까지 4~6시간의 정화기간이 필요한 것으로 나타났다. 그리고 침투 오염 부하량은 비가 그친 직후에 나타나는 것으로 나타났으며 대장균의 해수 유입은 5 mm 이상의 강우일 경우에 기준치 이상의 대장균이 발생하고, 해당 지역에 합류식 하수관거가 있을 시에 더욱 많이 발생하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 대장균, 해수욕장수질, MOUSE, MIKE3, ECOLAB

1. 서 론

해안 지역은 레크레이션과 해수욕, 어패류의 수집 등에 있어 많은 사람들이 이용하며, 이용 중 섭취의 가능성이 있어, 먹는 물과 함께 그 수질의 중요성이 국내외에서 인정받고 있다.

특히 미국, 일본 등의 선진국에서는 최근 해수의 수질에서 병원성 미생물의 중요성을 인식하여, 관리의 향상 방안으로

기존의 해수욕장 내에 깃발을 설치함으로써, 깃발의 색에 따라 당일의 해수의 수질을 표현하는 방법에서 인터넷과 핸드폰을 사용한 실시간 알람 시스템으로의 혁신을 꾀하고 있다 (Mark 등, 2007; 이장흠, 2011).

최근 유럽에서는 삶의 질 향상에 따라 시민들이 더 잘 살 권리를 주장하면서 먹는 물과 해수욕장의 수질에 대한 기준을 강화하게 되었다. 유럽연합에서는 1976년 해수욕장에 관한 수질 기준을 유럽 전역에 대하여 발표하였으며(US EPA,

*정회원 · (재)국제도시물정보과학연구원 연구원 (E-mail : seongjoon@incheon.ac.kr, 교신저자)

**정회원 · 인천대학교 도시과학대학 건설환경공학전공 교수

*** (주) 유퍼스텍 사장

1976), 유럽연합의 환경위원회에서는 2006년 7월 새로운 해수욕장 수질기준을 발표하여 시민 건강 증진과 삶의 질 향상을 도모하게 되었다(EC, 2000; 2007). 이에 따라 유럽 전역에서 해수욕장 수질에 대한 모니터링을 실시하고, 일부 지역에 대해 모니터링 결과를 보다 편리하게 확인할 수 있는 시스템과 기상예보와 연계한 수질의 예측을 통한 실시간 예보 시스템을 도입하였다(Mark 등, 2007; 이장흠, 2011).

국내에서도 이에 관하여 지속적인 연구조사를 통하여 해양수산부에서 보건환경연구원의 연구를 토대로 2004년 해수욕장 수질에 대한 가이드라인을 법으로 제정하여, 1~3 등급으로 분류하고 해양수산부 홈페이지를 통하여 해수욕장 별 등급을 알리고 있으나, 수질항목 중 미생물 부분은 최근 대두되는 장구균과 대장균, 분원성 대장균군 등이 아닌 종래의 방법에 따라서 대장균군에 대해서만 조사하고 있다. 이를 토대로 부산지역의 해수욕장에 대하여 대장균군과 대장균, 장구균 등을 조사하여 수질항목으로 대장균과 장구균을 추가할 것을 고려하였다(이주용, 2005).

국내에서는 강우발생 이외에도 하수처리장 등 해안으로 물이 유입되는 경우에 따른 오염물 분포에 관한 연구 등이 수치해석의 형태로 활발히 이루어 지고 있고(최계운 등, 2007), 이러한 연구들을 토대로 해외 유역에 대한 해수욕장 박테리아 발생 특성이 연구된 바 있다(변성준, 2007).

따라서 본 연구에서는 연구 대상지역의 실제 해수욕장 지역의 수리 수문학적 및 수질 모델링을 수행하였다. 또한 모델링 결과를 바탕으로 강우 발생량과 이를 통하여 발생하는 지표 유출량, 그리고 해수욕장으로 유출되는 미생물의 발생 및 분포 특성을 규명하고자 한다. 이를 바탕으로 해수욕장으로 유입되는 지표수의 해수로의 유입을 해석하고, 해석결과를 토대로 지표수의 수질에 대한 모니터링 시스템 개발의 기초 자료 확립 및 추후연구에 대한 방향 제시 하고자 한다.

2. 수치모형 및 이론적 배경

본 연구대상지역은 덴마크의 전형적 도시유역으로서 하류부 유수지의 역류에 의한 영향과 도시유역의 특성을 효과적으로 분석할 필요가 있다. 따라서, 1차원 하수관거 해석모델로 MOUSE 모델을 적용하였고, 이는 복잡한 해안의 형상과 해양의 흐름해석이 가능하다. 또한 MOUSE 모델과의 효율적인 연계와 분석을 위하여 Fig. 1과 같이 동일 개발회사에서 개발된 3차원 불규칙 삼각망기반 유한체적해석 모형인 MIKE3 FM(Flexible Mesh)을 함께 사용하였다.

도시의 배수관거에 대해서는 1차원 해석, 해안으로 우수수가 유입되었을 경우에 대한 부분은 3차원 해석을 수행하며, 본 연구에서 해석할 수질 항목인 대장균의 생물학적 특성을 반영할 수 있도록 ECOLAB 모듈을 활용하였다.

2.1 연구대상지역

본 연구의 대상지역은 Fig. 2에 표시된 덴마크의 Gentofte 지역으로, 코펜하겐시의 북부에 위치한 도시지역이다. 덴마크 동부의 섬인 질랜드(Zealand)의 동부 해안에 위치한 코펜하겐

Fig. 1. Overall study Framework

Fig. 2. Study area

군(郡)의 남동부에 위치한 해안도시이며, 면적은 25 km²이고 대략 69,000명의 인구가 주둔한다. 합류식과 분류식 하수관이 혼용되어 설치되어 있고 해안가에 수많은 유출구(토구)가 설치되어 있으므로 강우 시 상당량의 오수와 우수가 바다로 방류되고 있다.

해안선을 따라 다수의 해수욕장과 테마파크가 개발되어 있어 관광이 발달되어 있고 2007년 Gentofte Plan을 발표하면서 환경 개선을 선언하였으며, 그 일환으로 해수욕장 수질의 개선 및 예보 시스템을 구축 중에 있다.

2.2 MOUSE 모형의 개요

MOUSE 모델은 덴마크 DH1사에서 개발한 1차원 하수관거 부정류 해석모델로서 강우에 의한 영향을 고려하여 지표면 유출해석을 수행하고 이를 관망해석과 연계하여 각종 관거내 수리구조물을 고려할 수 있는 모델로서 도시지역 내 하수관망 해석에 적합한 모델이다.

관망해석은 1차원 부정류에 대한 해석을 배수효과와 중력 및 압력흐름에 대한 고려가 가능하도록 구성하여 맨홀, 펌프, 저류지 등의 내부경계조건고려가 가능하고 다양한 형태의 횡단면 입력이 가능하다. 또한, 지표면유출해석은 시간-면적 곡선해석, 비선형 저류지 해석, 선형 저류지 해석, 수문단위도해석이 가능하도록 되어 있다.

본 연구에서는 지표면 유출 해석 방법으로 도심지역에서

쉽게 적용이 가능한 시간-면적 곡선 해석방법을 이용하였으며, 관저 해석을 위한 방법으로 식 (1)과 같이 동역학과 방정식을 적용하였다. (DHI, 2000; 2004)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \frac{Q^2}{A})}{\partial x} + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gAI_f = gAI_0 \quad (1)$$

여기서, Q 는 유량(CMS), A 는 유량단면적(m^2), y 는 수심(m), g 는 중력가속도(m/s^2), x 는 흐름방향 길이(m), t 는 시간(sec), α 는 유속분포계수, I_0 는 하상경사, I_f 는 에너지경사이다.

2.3 MIKE3 FM 모형의 개요

MIKE3 FM은 3차원 개수로 해석 프로그램으로 3차원 비압축성 흐름에 대한 난류모델인 RANS (Reynolds averaged Navier-Stokes equation)와 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 도출할 수 있도록 분리 해석(Decoupling)이 가능하게 되어 있다. 또한, 번식 및 사멸이 가능한 각종 박테리아와 수중생물 등의 개체 해석이 가능하도록 빛, 수온, 염도, 수질 등을 활용한 생물학적 모델링이 가능하다(DHI, 2007).

2.4 ECOLAB(생태학적 모델)

ECOLAB은 수질에 대한 생태학적 수치모형으로써 생태계 및 생물학적 과정에 대한 해석을 수행할 수 있도록 생태 및 생물에 대한 각종 매개변수를 사용하여 사용자가 직접 프로그래밍을 하거나 기본적으로 주어진 템플릿을 활용하여 수질 모델링을 수행할 때에 연계할 수 있도록 되어 있다.

이는 물고기, 해초, 패류 등의 양식 및 수환경에 대한 환경영향평가(EIA) 등의 일환으로 수질모델링을 할 때에 활용될 수 있다(DHI, 2007).

본 연구에서는 ECOLAB을 이용하여, 대장균의 생물학적 반응에 대하여 해석을 하였으며, 해석을 위한 기본적인 변수로서 주간의 대장균 감소(K_1 , day^{-1}), 야간의 대장균 감소(K_m , day^{-1}), 감소계수(η , m^{-1}), 빛의 수중연직분포(I_L , W/m^2), 빛의 수중 평균연직분포(I_{av} , W/m^2) 등이 있으며 각 변수는 다음 수식 (2)~(6)을 통하여 계산된다.

$$K_1 = S_m \times \frac{b_t \times T \times K_{L0}}{a \times S_m - (a-1) \times S} \quad (2)$$

$$K_m = at \times T - K_{m0} \quad (3)$$

$$\eta = \frac{\ln(\hat{\eta})}{SD} \quad (4)$$

$$I_L = \text{Lambert Beer } 1^{st} (I_0, d_z, \eta) \quad (5)$$

$$I_{av} = I_L \times \frac{1 - \exp(-\eta \times dz)}{\eta \times dz} \quad (6)$$

여기서, S_m 은 기준염도(psu), b_t 는 온도에 따른 주간의 반응($m^2/W \cdot day \cdot degree$), T 는 온도(degree), K_{L0} 는 초기 미생물 감소율($m^2/W \cdot day$), a 는 염도 보정계수, S 는 염도(psu), I_0 는 온도에 따른 야간의 반응($m^2/W \cdot day \cdot degree$), K_{m0} 는 야간의 초기 미생물 감소율($m^2/W \cdot day$), SD 는 투명도판 가시 깊이 (Secchi Disk, m), $\hat{\eta}$ 는 빛의 세기에 따른 투명도판 가시깊이 보정계수, I_0 는 수면의 일사량(W/m^2), d_z 는 깊이의 변위(m)를 뜻한다. 미생물의 감소량은 위에서 계산된 변수를 사용하여 식 (7)과 같이 계산될 수 있다.

$$\text{Coliform decay}(day^{-1}) = (K_m + K_1 \times I_{av}) \times E.Coli \quad (7)$$

3. 모델의 구성

본 연구에서는 모델의 구성을 위하여 하수관망 및 토지이용, 수질자료 등에 대하여 Gentofte와 덴마크 수리연구원에서 제공받은 GIS 자료와 각종 통계 및 조사자료를 활용하였으며, 2004년 6월부터 9월까지 해석하였다. 모델 구성에 관한 자세한 사항은 다음과 같다.

3.1 도시지역 지표유출 및 하수관망 해석 자료

본 연구에서는 지표유출 및 하수관망 해석을 위해 MOUSE 모델을 활용하였으며 대상지역의 하수관망은 총 연장 148 km로 1,750개의 관과 1,587개의 맨홀 그리고 14개의 유출관으로 Fig. 3과 같이 구성되어 있다.

또한 각 우수맨홀에 위치하는 소유역은 900개로 구성되어 있으며 녹지, 학교, 공원, 주거지 그리고 산업지역으로 Table 1과 같이 구성되어 있다.

그리고 수질자료로써 강우 시 토구로 배출되는 수질자료 중 병원성 박테리아인 대장균과 장구균을 활용하는데 이는 Gentofte 지방청에서 기 조사 결과로 Table 2에서 제시된 통계자료를 사용하였으며, 이는 토구에 배출되는 유량을 미처리 오수와 지표유출수로 나누어 구성되어 있다.

이와 같이 구성된 자료의 결과를 토대로 Fig. 5에서 표시된 각 토구 및 펌프장 지역의 유량을 MIKE3 FM의 해양모델링의 입력자료로 구성된다.

Fig. 3. Map of drainage system

Table 1. Summerized sub-catchments

Index	Impervious Area (%)	Area(ha)	Rate(%)
Green	<20	111.71	6.35
Park	20-40	1181.27	67.18
School	40-50	217.07	12.35
Residential Residential	50-60	99.58	5.66
	60-70	68.19	3.88
Industrial Industrial	70-80	20.33	1.16
	80<	60.10	3.42

Table 2. Wastewater information in Denmark

Type of Water	E.coli (count/100 ml)	Enterococci (count/100 ml)
Untreated Sewage water	4.5×10^7	3.4×10^6
Rainfall runoff water	2.0×10^4	8.0×10^3
Overflows from sewer	9.0×10^6	6.8×10^5

Fig. 4. Map of MOUSE out-flow systems

3.2 해안의 해수흐름 및 수질해석 자료

본 연구에서는 해양 모델링을 위하여 MIKE 3 FM 모델을 사용하였으며, GIS 및 Gentofte 지방청에서 제공받은 자료를 활용하여 Fig. 5와 같은 메시망을 구축하였다.

해석지역의 경계조건으로써 조위, 수온, 염도 등은 Fig. 6과 같이 더욱 큰 지점에 대한 수치해석을 통하여 취득하였으며 풍향, 기온, 일사량 등의 자료는 측정자료를 활용하였고, 여기에 3.1절에서 언급한 바와 같이 MOUSE의 해석 결과를

Fig. 5. Generated flexible mesh

Fig. 6. Pre-Simulations to get boundary conditions

Fig. 7. Extracted boundary conditions

Fig. 8. Boundary conditions

삽입하여 모델을 구성하였다. Fig. 7과 8은 모델 및 측정자료를 통하여 구축된 경계조건의 예시이다.

3.3 모델의 검증

본 연구에서 사용한 모델의 구성자료는 Gentofte 지방청의 의뢰로 DH사에서 구성하였으며, 이를 바탕으로 여러 수행한 바 있다. 현재 준비 중인 Gentofte 지방의 여러 모니터링 시스템의 기반이 되고 있는 것으로써 수차례의 검증을 거쳤으나 본 연구성과를 위하여 모델의 해석결과를 실측자료와 비

Fig. 9. Calibrated MOUSE model

Fig. 10. Calibrated MIKE3 FM Model

교를 통하여 재검증 하였다.

MOUSE 모델의 검증은 실측자료가 존재하는 우수관의 유출구 지점의 수위에 대하여 실시하였고 Fig. 9와 같이 해석 결과가 실측자료보다 다소 높게 나왔으나 수치해석의 특성상 순간적인 변화에 대한 결과를 잡아내기 어렵다는 사실을 감안하면 대체로 일치하는 것으로 나타났다.

또한 MIKE3 FM 모델의 경우에는 Fig. 10과 같이 실측 자료와 모델 해석결과가 대체로 일치하는 것을 확인할 수 있다.

박테리아의 발생에 대한 검증을 위하여 해당 지역에서 15 일 간격으로 채수하여 박테리아의 검출 여부를 측정한 결과를 이용하였다. 본 연구결과에서 나타난 박테리아 검출 시기와 비교하였을 경우 Table 3과 같이 검출 시기가 일치함을 알 수 있다.

강우발생 시 해안지역 대장균 유출에 관한 연구

Table 3. Comparison of Bacterial detection

Time of event (starting time)	Duration (hr)	Detection (O/X)
2004-05-22 15:29	13.75	O
2004-06-19 05:14	23	O
2004-06-23 14:29	13.5	O
2004-07-10 16:44	17	O
2004-07-11 17:29	13.25	O
2004-07-20 22:59	14.25	O
2004-08-16 17:44	12.75	O
2004-08-24 21:59	32	O
2004-09-15 16:14	7	O

4. 해석 결과

해석 기간 중에는 총 20회의 강우가 발생하였으며, 그 중 가장 박테리아 농도가 높았던 날씨는 2004년 6월 19일과 8월 24일이다. 본 연구에서는 두 기간을 중심으로 해석 결과를 분석하였으며, 총 해석기간에 대하여 강우량과 유입량, 총 부하량, 농도 등 간의 관계를 분석하였다.

4.1 주요 강우 발생 기간의 해석 결과

연구 대상지역이 속해있는 유럽의 해수욕장 수질기준에 따르면 대장균과 장구균의 농도는 500(count/100 ml)이 넘을 시 위험상태로 간주하여 반드시 해수욕장 이용객의 출입을 금지하여야 한다. 따라서 본 절에서는 500(count/100 ml) 이상인 경우에 분석의 초점을 맞추었고 Fig. 11과 같이 연구 대상지역에 위치한 4개소의 주요 해수욕장 지점에 초점을 맞추었다.

4.1.1 2004년 6월 19일 강우에 의한 결과 분석(1차 발생)

2004년 6월 19일에는 20시간 동안 총 19.4 mm의 강우가

Fig. 11. Main bathing zones in the study area

Fig. 12. Bacteria map (peak time)

Fig. 13. The variation of bacteria concentration at the 1st event

Fig. 14. Bacteria map (peak time)

Fig. 15. The variation of bacteria concentration at the 2nd event

발생하였고(최대 강우강도 8.64 mm/h), 이 날 강우에 의한 박테리아 농도의 발생특성은 Fig. 12와 같으며 확산면적이 넓게 분포되어 비교적 균등한 농도로 발생하였다.

또한 각 해수욕장 지점별 농도 변화는 Fig. 13과 같이 나타났다, 각 지점별 최대 농도는 강우가 종료된 이후에 발생한 것을 알 수 있다. 또한 강우 종료 이후 박테리아 농도가 500(count/100 ml)이하가 될 때까지 소요시간은 약 8~10 시간이며 박테리아가 완전히 사멸하는 데에는 약 24시간 가량이 소요되는 것을 확인할 수 있다.

Table 4. Summary of bacterial load and duration at different Rainfall event

		19th of June	24th of August
Amount	Rainfall(mm)	19.4	39.0
	Total Runoff (m ³)	68,803	139,514
	Duration(hr)	23	32
	Total Load (counts)	1.890×10^{15}	1.996×10^{15}
Rainfall Start		6-19 AM 04:40	8-24 PM 12:30
Rainfall End		6-19 PM 12:40	8-25 AM 00:00

4.1.2 2004년 8월 24일 강우에 의한 결과 분석(2차 발생)

2004년 8월 24일은 10시간 동안 총 39 mm의 강우가 발생하였고(최대 강우강도 22.52 mm/h), 이날 강우에 의한 박테리아 농도 발생 특성은 Fig. 14와 같으며 확산면적이 좁지만 해수욕장이 위치한 해안가에서 매우 높은 농도가 발생하였다.

각 해수욕장 지점별 농도 변화는 Fig. 15와 같으며 각 지점별 최대 농도는 강우가 종료된 이후에 발생한 것을 알 수 있다. 또한 강우 종료 이후 박테리아 농도가 500(count/100 ml)이하가 될 때까지 소요시간은 약 6~9 시간이며, 박테리아가 완전히 사멸하는 데에는 약 30시간 가량이 소요되는 것을 확인할 수 있다.

4.2 박테리아 농도와 강우와의 관계 분석

본 절에서는 해석 기간중 20회의 강우에 대하여 강우 발생 시의 박테리아 농도, 총 부하량, 발생지속시간 등과 비교하였으며 Table 3에서 정리된 바와 같이 모든 사항은 강우량과 관련이 있음을 판단할 수 있었다. 이를 토대로 Fig. 16과 같이 비교분석 하여 강우량과 박테리아 농도 간의 관계를 분석하였다.

강우와 박테리아 발생 특성 간에는 밀접한 관계가 있음을 알 수 있으며 강우와 박테리아 위험 지속시간, 부하량 등은 강우량 증가에 따라서 증가하는 경향이 있고 박테리아 농도는 반비례하는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 MOUSE와 MIKE 3 FM 모형을 구축하여, 강우시 해수욕장의 대장균, 장구균 농도를 분석하였으며, 다

Fig. 16. Relationship of rainfall depth with (a)exceedance duration; (b)coliform load; (c) discharge and (d) concentration

음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 강우량이 작으나 강우지속시간이 길었던 6월 19일 강우 시에는 강우강도가 크고 지속시간이 짧은 8월 24일 강우 시 보다 박테리아의 농도는 작으나 확산 면적이 크게 나타났다.
- 2) 해석결과 4개의 주요 해수욕장에 박테리아가 500(count/100 ml) 이상으로 발생한 총 시간은 58시간이나 전체 해석 지역에 발생한 시간은 총 212 시간으로, 박테리아가 해수욕장 지점 밖에 존재하는 시간이 더 길게 나타났다. 해수욕장 범위 밖에 발생한 박테리아라고 해도, 조류나 바람 등 다른 환경 변수의 영향으로 해수욕장에 유입될 수도 있기 때문에 이 또한 숙고되어야 한다.
- 3) 해수욕장의 박테리아 농도는 강우 종료 이후에 최대값이 나타났으며, 박테리아가 장시간 존재한다. 그러므로 강우 종료 이후에 날씨가 좋아지더라도 정확한 예보로 이용을 통제해야 한다.
- 4) 강우량과 박테리아 발생 농도와는 반비례 관계가 나타나지만, 지속시간과 총 부하량과는 비례하는 것으로 나타났다.

본 연구는 강우에 의한 오염물질의 수영구역 확산에 대한 기본적인 방법론에 관하여 해외의 수영구역에 대하여 수행되었으나, 이를 국내에 도입하는 경우 기초자료로 다양한 추후 연구의 가능성을 제공할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 “차세대핵심환경기술개발사업” 과제의 연구개발비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- 변성준 (2007) 우수 유출을 고려한 해수욕장 수질 영향 분석, 석사학위논문, 인천대학교.
- 이장흠 (2011) 유럽의 수영구역 수질(Bathing Water Quality) 관리 정책, 연구보고서, 해외 환경관 국제동향 보고 2011년도 1/4분기 보고서, 환경부 국제협력관실.
- 최계운, 이호선, 이승우, 권용현 (2007) MIKE 21 모형을 이용한 인천연안의 수질 확산 모의에 관한 연구, 2007 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 565-569.
- 최계운, 이승우, 이호선, 변성준 (2007) 하수처리장 증설에 따른 해양오염 변화 분석, 2007 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 594-597.
- DHI Water&Environment (2007) “MIKE 21 & 3 Flow Model FM-Hydrodynamic and Transport Module Scientific Documentation.” *DHI Water and Environment*.
- DHI Water&Environment (2004) “MOUSE Reference Manual(Pipe Flow).” *DHI Water and Environment*.
- DHI Water&Environment (2000) “MOUSE Reference Manual(Run-off).” *DHI Water and Environment*.
- 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*
- European Commission-Environment (2007) “Water Quality of European Union-Bathing Water.” http://ec.europa.eu/water/water-bathing/index_en.html
- Lee, J.Y. (2005) Enterococci and E.coli As Safety Indexes of Recreation Water Quality, Master Thesis, *Sungkyunkwan University*, Seoul, South Korea.
- Ole Mark and Anders Erichsen (2007) Towards Implementation of the new EU Bathing Water Directive - Case studies : Copenhagen & Arhus, Denmark, *NOVATECH-2007*.
- U.S. Environmental Protection Agency (1976) Quality Criteria for Water. *U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC*.

◎ 논문접수일 : 11년 09월 28일

◎ 심사의뢰일 : 11년 09월 29일

◎ 심사완료일 : 11년 10월 17일