

## 홍수기 만경강 및 동진강 유입 유사량 특성분석\*

김형산, 맹승진\*\*, 정세웅, 김태우

본 연구에서는 새만금호 만경강유역의 대천 수위관측소 지점과 동진강유역인 신태인 수위관측소 지점에서 유량조사, 유사량 조사, 하상 퇴적물 조사 및 장기유출량 분석을 실시하여, 홍수재난 방지대책 수립을 위한 기초자료인 새만금호내로 유입되는 총유사량과 비유사량을 유역면적비를 이용하여 분석하였다. 총유사량은 수정 아인쉬타인 방법을 적용하였으며, 홍수기를 포함한 장기간 유입 유사량 산정을 위한 유출량 자료는 HSPF 모형을 사용하여 7년(2002~2008년)간 모의하였다. 2002년부터 2008년까지 모의된 장기유출량과 지점별 유량-총유사량 관계 곡선식을 이용하여 산정된 대천 수위관측소 지점의 7년 평균 유입 유사량은 141,923(ton/yr), 신태인 수위관측소 지점은 96,716(ton/yr)로 나타났다. 홍수기인 6월~8월까지의 평균 유입 유사량은 대천 수위관측소 지점에서 132,650.3(ton/yr), 신태인 수위관측소 지점에서 77,046.9(ton/yr)로 산정되었다. 대천과 신태인 수위관측소 지점 실측자료를 바탕으로 개발된 유량-총유사량 관계식과 장기유출량 분석으로부터 산정된 새만금호의 비유사량은 276(ton/km<sup>2</sup>/yr)이며, 유입 유사량은 연평균 916,005(ton/yr)로 추정되었다. 향후 홍수재난 방지대책 수립을 위해 새만금호 유입 유사량 특성분석은 본 연구를 통해 제시된 대천 및 신태인 수위관측소 지점에서 조사된 총유사량 자료를 활용한다면 보다 신뢰성 있는 결과를 도출 할 수 있을 것으로 판단된다.

**주제어:** 만경강, 동진강, 유사량, 수정 아인쉬타인, 비유사량

### 1. 서론

호소에 퇴적된 유사는 새만금호 내의 수리/수질특성을 변화시킬 뿐 만 아니라 하구폐색, 항로 매몰 및 담수호 내용적 감소 등 내부 지형변화의 원인이 된다. 이러한 영향은 홍수기 담수호의 홍수조절용량 감소뿐만 아니라 최적 물관리의 방법과 담수호의 수질관리 방법을 도출하는 데까지 영향을 미치는 중요한 수문인자이기 때문에 유사에 대한 조사, 분석에 대한 연구가 필요하게 되었다(농어촌진흥공사, 1995). 한국농어촌공사에서는 1990년 이후부터 만경강과 동진강유역에 대한 유사에 대한 연구를 실시

\* 본 논문은 2010년 국가위기관리학회 하계학술대회에서 발표되었던 논문과 1저자의 석사학위논문을 수정 보완한 것임. 또한 이 논문은 2010년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

\*\* 교신저자.

하였으나 단기간에 걸친 연구로 인하여 과거의 실측자료가 부족한 실정이다(김형산, 2011). 본 연구에서는 장기간 모니터링이 필요한 유사량 분석의 필요성을 인식하고 만경강유역 대천 수위관측소 지점과 동진강유역 신태인 수위관측소 지점에서 측정된 유사량 자료와 과거 측정 사례를 분석하여 신뢰성 있는 유사량을 추정하고자 한다. 유사량 추정을 위해서 외국, 특히 미국에서 보편적으로 사용되며 국내에서 비교적 널리 적용되고 있는 실측에 의한 하천 총유사량 추정방법인 수정 아인슈타인 방법을 적용하여 새만금호의 상류유역인 만경강의 대천 수위관측소 지점과 동진강 유역의 신태인 수위관측소 지점을 대상으로 실제 측정된 유량과 유사량을 통해 유량-총유사량 관계식을 산정하고 측정 지점별 2002년부터 2008년까지 7개년간 유출량을 장기 모의한 후, 유량-총유사량 곡선을 이용하여 지점별 유입되는 총유사량과 비유사량을 산정하였다. 이러한 분석 결과는 향후 새만금호의 홍수재해방지대책 수립 시 기초자료로 활용될 것이다.

## II. 이론분석

본 연구의 분석에 사용되는 것은 총유사량 산정과 장기유출모의모형에 의한 유량 산정이다. 총유사량 산정에 적용된 공식은 실측에 의한 방법과 간접계산에 의한 방법을 절충한 방법으로 주로 모래로 이루어진 충적하천에 이용되는 수정 아인슈타인 방법(Modified Einstein Procedure, MEP)이며 분석은 한국건설기술연구원에서 1990년 개발된 MODEIN 프로그램을 이용하였다(한국건설기술연구원, 1990).

장기유출모의모형으로는 TANK, SSARR, HSPF, NWSRFS, MIKE-11, PRMS, ILLUDAS, SWRRB 등이 있으나 한국농어촌공사에서 동진강과 만경강 등에 많은 적용 사례가 있는 HSPF 모형으로 선정하였다.

### 1. 총유사량 산정

총유사량을 추정하는 방법으로는 실측을 통한 직접적인 방법과 몇 가지 유사 및 수리량 자료를 이용한 계산에 의한 간접적인 방법이 있다. 전자는 직접 유사량과 수리량을 측정하는 방법으로 가장 신뢰도가 높은 방법이나 시간, 노력, 비용이 많이 소요되며, 충분한 신뢰도를 가진 소류사 측정에는 아직 측정방법의 개선이 요구된다. 또한 간접적인 계산에 의한 방법은 각 공식의 계산결과가 천차만별일 경우가 많아서 같은 자료를 적용시켜도 적용 공식에 따라 그 계산 결과는 수십 배에서 수백 배까지 차이가 나는 경우가 있다.

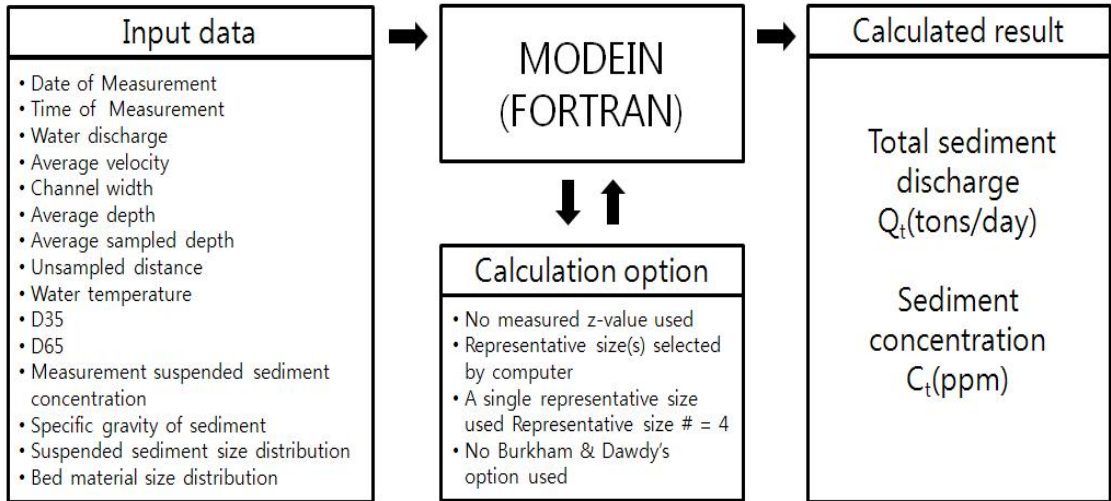
현재까지 국내·외적으로 하천의 유사량과 관련된 많은 경험식들이 제시되고 있지만 유체역학과 유량-유사량 관계 및 현장에서의 검증이 상당히 복잡하여 아직까지도 만족할 만한 관련 공식이 제시되어 있지는 않은 것이 현실이다. 이와 같은 유사량 관련 공식들의 한계를 인정하면서 기존의 유사량

공식들의 국내 적용사례를 살펴보면 미국에서 개발된 Einstein 공식과 Toffaleti 공식 및 유럽에서 개발된 Engelund & Hansen 공식 등이 주로 사용되어져 왔다. 그러나 외국의 총적하천에 기초하여 개발된 유사량 공식들을 한국의 하천에 무분별하게 적용하는 것은 위험하며, 하천유사량 산정 결과의 신뢰성을 높이기 위해서는 무엇보다도 대상 하천의 지형, 수리, 수문 및 유사 특성 등에 대한 이해가 필요하다.

본 연구에서는 1955년 미국지질조사국(USGS)에서 Colby와 Hembree가 제안한 방법으로 부유사량 실측과 기존의 아인슈타인 공식을 적절히 수정한 방법인 수정 아인슈타인 방법에 의해 총유사량을 산정하였다. 이 방법은 미국지질조사국, 개척국(USBR) 등 수자원 관련 연방정부 기관뿐 아니라 세계적으로 널리 보급되어 지금까지 하천에서 총유사량을 추정하는 대표적인 방법으로 알려져 있다. 이 방법이 1955년 Colby와 Hembree에 의해 소개된 이래, 1961년에 다시 Colby와 Hubbel에 의해 노모그래프들을 이용하여 간편히 계산할 수 있도록 제시된 바 있다. 그 후 1966년 미 개척국에서 Lara에 의해, 다시 1980년에 미지질조사국에서 Burkham과 Dawdy에 의해 수정 제안되었으며 1983년 Shen과 Hung에 의해 재수정되어 Remodified Einstein Procedure라는 이름으로 발표된 바 있다(한국건설기술연구원, 1990).

### 1) MODEIN 프로그램

수정 아인슈타인 방법을 이용하여 하천에서 총유사량을 결정하는 과정은 매우 복잡하기 때문에 상당한 노력이 필요하며, 계산 도중에 오류를 범하기 쉽다. 이를 위하여 Stevens(1985)는 Fortran과 Basic으로 MEP 적용 프로그램을 개발하였으며 한국건설기술연구원(1990)은 MEP을 이용하여 총유사량을 결정하는 Fortran 전산 프로그램(MODEIN)을 개발하였다. 이 프로그램은 수리 자료로 유량, 평균 유속, 하폭, 평균 수심, 부유사를 채취한 측정의 평균 수심, 미측정구간 높이, 수온 등, 하상토 자료로 D35, D65, 하상토의 입경 분포, 유사량 자료로 측정 부유사 농도, 부유사의 입경 분포 등을 요구한다. 기타 선택적인 입력 자료로 실측된 Z값, 대표입경 선정, Burkham과 Dawdy의 수정 방법 등이 포함되어 있다(우효섭, 2001). 공식의 적용을 위한 실제적인 계산은 한국건설기술연구원에서 개발한 MODEIN 프로그램을 이용하여 총유사량을 계산하였으며 MODEIN 프로그램의 입출력 구조는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> Flow chart of MODEIN program

## 2. 장기유출량 산정

장기유출모의모형을 선정하기 위해 고려되어야 할 사항은 비교적 자료기간이 길고 관측밀도가 높은 강우량을 수문모형에 입력하여 일단위의 유출을 연속적으로 모의 할 수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 장기유출량 모의가 가능하며 수량과 수질 모의를 동시에 수행할 수 있는 HSPF 모형을 기반 모형으로 선정하였으며 모형에 대한 내용은 다음과 같다(농림수산식품부, 2009).

### 1) 수문모의체계

HSPF에 의한 대상 유역에서의 총 유출량 모의는 투수층과 불투수층으로 나누어 각각 PWATER과 IWATER에서 물수지 분석에 의해 이루어진다. IWATER는 침투를 고려하지 않으므로, PWATER가 훨씬 복잡하고, 광범위한 모의를 수행하는데 사용된다. PWATER의 입력 자료는 용설모의 유무에 따라 달라진다. 투수지역에서 수문학적 구성요소는 강수, 식물차단, 저류, 증발산, 지표수 유출, 기저유출, 지하수 유출 등이 있으며, 각각의 요소는 토지이용, 토양피복 상태, 선행강우조건 등의 영향을 받는다. 일반적인 유역에서의 물수지를 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$P + SWI + GWI = ET + SWO + \Delta S \tag{1}$$

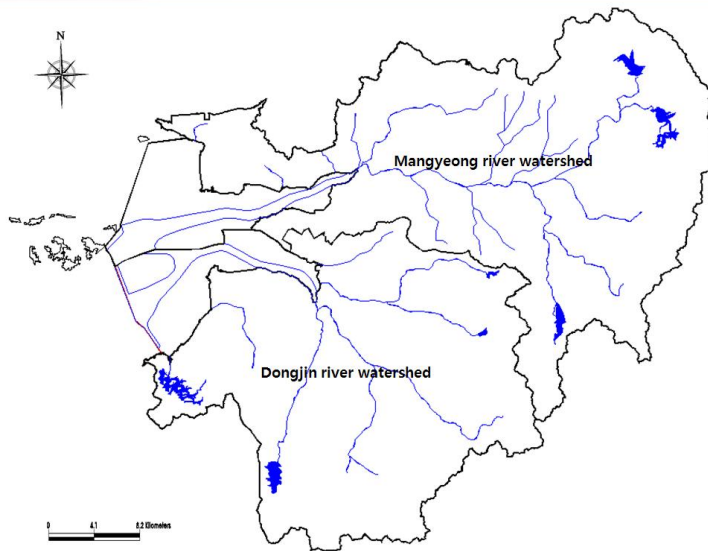
여기서, P는 강수, SWI는 지표수 유입량, SWO는 지표수 유출량, GWI는 지하수 유입량, GWO는 지하수 유출량, ET는 증발산량 그리고 ΔS는 저류변화이다.

### III. 대상유역 선정 및 연구방법

#### 1. 대상유역 선정 및 특성

##### 1) 대상유역의 개황

새만금 유역은 만경강 유역, 동진강 유역, 인근의 서해안 일부 유역, 직소천 유역 및 새만금 간척개발지로 구분된다. 유역의 면적은 3,319km<sup>2</sup>이고, 만경강과 동진강의 유역면적은 각각 1,571km<sup>2</sup>와 1,034km<sup>2</sup>이며 전체 유역면적의 78.5%를 차지하고 있다. 서해안 유역은 전체 유역면적의 9.4%인 313km<sup>2</sup>를 차지하며, 새만금 내부 간척개발지는 401km<sup>2</sup>로써 12.1%를 차지하고 있다. 새만금유역은 전주시를 비롯한 5개시와 3개 군으로 구성되고, 완주군이 전체 유역의 21.7%인 719.3km<sup>2</sup>, 정읍시가 19.9%인 661.8km<sup>2</sup>를 차지하며, 고창군이 1.5%인 51.29km<sup>2</sup>로 가장 작은 구성비를 갖고 있다. 새만금 전체 유역의 유역도는 <그림 2>와 같다.



<그림 2> Map of watershed

##### 2) 유역특성

유역의 특성에서 유역면적은 유출의 크기를 결정하는 절대적인 인자임과 동시에 강우량의 크기에 따라 유출에 미치는 영향이 큰 인자이다. 유로연장은 첨두유출량이 발생하는 시간을 제어한다. 유출수 문곡선의 집중시간은 유로연장뿐만 아니라 유역의 경사, 형상과도 연관이 되어 있는 복합적인 물리적

변수라고 할 수 있다. 유출에 영향을 미치는 상기의 인자들은 국토해양부의 국가수자원관리종합정보 시스템(WAMIS)에서 공개한 자료를 사용하였다.

신뢰성 있는 총유수량의 산정을 위한 기반자료를 <표 1>과 같이 연구의 대상 하천인 만경강과 동진강의 유역면적 및 유로연장, 유역평균폭, 형상계수와 같은 유역의 평면적 특성을 산정하였다. 유역의 형상계수를 살펴보면 만경강과 동진강의 각 2개 지점의 형상계수가 0.5이하인 0.31~0.46으로 비교적 가늘고 긴 유역의 형상을 갖는 것으로 나타났다. 이는 상대적으로 유출기간이 길며 첨두유출량이 작게 발생하는 특징이 있다.

<표 1> Characteristics of watershed

Watershed	Station	Area (km <sup>2</sup> )	Length (km)	A/L (km)	A/L <sup>2</sup>
Mangyeong River	Daecheon	879.2	45.0	19.5	0.43
	Estuary	1,571.0	67.1	23.4	0.35
Dongjin River	Sintaein	218.0	26.4	8.3	0.31
	Estuary	1,034.0	47.3	21.9	0.46

### 3) 기상 및 강수량

기상청, 국토해양부 및 한국농어촌공사는 새만금 유역내에서 기상관측을 시행하고 있다. 기상청 관할의 관측소는 장기간의 강수량자료를 기록하고 있으나 AWS 및 한국농어촌공사에서 관리하는 강수량 자료는 90년대 이후의 자료가 대부분이다. 본 연구에서는 대천 및 신태인 수위관측소 지점을 비롯하여 만경강 및 동진강 유역내 장기유출량 산정을 위해 장기간의 강수량 자료를 기상청 관할의 군산, 부안, 전주 및 정읍 기상관측소의 월별 강수량을 <표 2>와 같이 나타내었다. <표 2>와 같이 각 관측소 모두 6월에서 9월 사이에 연평균강수량의 2/3가 집중되어 월별 강수량의 편차가 크며 관측소별 연평균 강수량은 정읍관측소가 1,305.6mm로 가장 많았고 군산관측소가 1,208.5mm로 가장 적게 나타났다. 유역내 평균 강수량은 1,262.2mm 우리나라 연평균 강수량 1,245.0mm(건설교통부, 2006)보다 높게 나타났다.

<표 2> Monthly mean precipitation

(unit: mm)

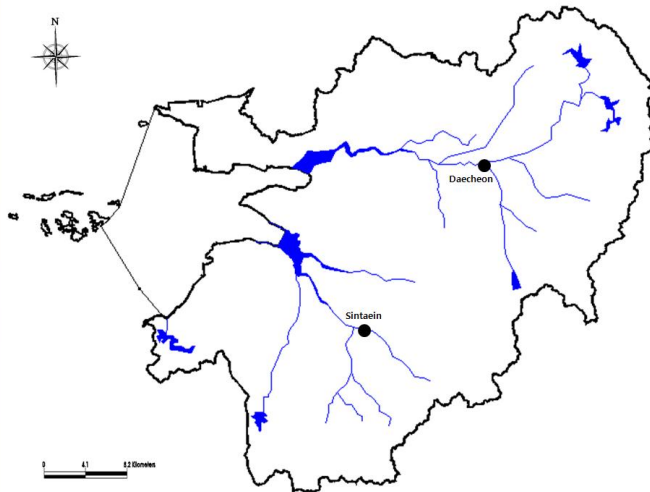
Weather station	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Gunsan	30.2	33.4	43.3	86.5	85.7	155.0	269.2	247.1	120.1	50.5	52.7	34.8	1,208.5
Buan	34.6	38.2	47.4	89.5	90.0	158.3	269.0	235.7	127.0	55.9	54.6	39.7	1,239.9
Jeonju	32.1	38.6	53.0	89.3	91.3	170.9	288.0	262.0	127.2	58.0	52.1	32.3	1,294.8
Jeongeup	41.9	39.4	53.5	89.1	91.0	160.0	268.1	264.5	137.5	58.6	59.3	42.7	1,305.6
Average	34.7	37.4	49.3	88.6	89.5	161.1	273.6	252.3	128.0	55.8	54.7	37.4	1,262.2

## 2. 연구방법

### 1) 유사채취

새만금 호 유역과 유입하천의 특성에 적합한 유량-유사량 관계식을 개발하기 위해서는 유량과 유사량의 실측이 필요하다. 본 연구에서는 2008년 7월부터 2009년 11월까지의 강우시와 비강우시 부유사를 채취하였다.

측정위치는 동진강 유역의 신태인 수위관측소 지점, 만경강 유역의 대천 수위관측소 지점으로 <그림 3>과 같다. 수위관측소 지점에서 부유사량과 더불어 유속, 단면, 수심 등 수리량을 동시에 측정하였다.



<그림 3> Location of sediment sampling

### 2) 총유사량 산정 및 분석

유사량 산정을 수행하기 위해서는 하천 단면을 통과하는 유량에 대한 부유사량 및 소류사량 등을 측정하거나 계산하여야 한다. 총유사량을 계산하기 위해서는 유사물 특성에 따라 <표 3>과 같이 분류된 개개의 유사량을 구하여 합산하는 방식에 의한다.

<표 3> Classification of river sedimentation

Classification	Move type		Relation hydraulic factor	Collection availability
Total Sediment load	Suspended load		Wash load	Sampled load
	Bed load	Saltation load	Bed material load	Unsampled load
		Contact load		

※ 자료: Korea Institute of Construction Technology(1989).

한국농어촌공사와 한국수자원공사 같은 물 관련 기관에서는 통상적으로 유사 측정 방법에 의해 부유사를 채취하고 유량과의 적분을 통해 부유사량을 산정하고, 소류사량은 실제 측정에 많은 제약조건이 수반되어 일반적으로 경험 공식에 의해 산정하는 방법을 택하고 있다. 이로 인해 채취 유사량과 총유사량은 일치하지 않는다고 할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 실측 부유사 자료를 사용하여 미채취된 구간을 고려한 측정지점의 하천 단면 전체의 총유사량을 추정하는 방법이 필요하여, 기 발표된 수정 아인쉬타인 방법에 의해 총유사량을 산정하였으며 공식의 적용을 위한 실제적인 계산은 한국건설기술연구원에서 개발한 MODEIN 프로그램을 이용하였다.

### 3) 장기유출량 모의 및 비유사량 산정

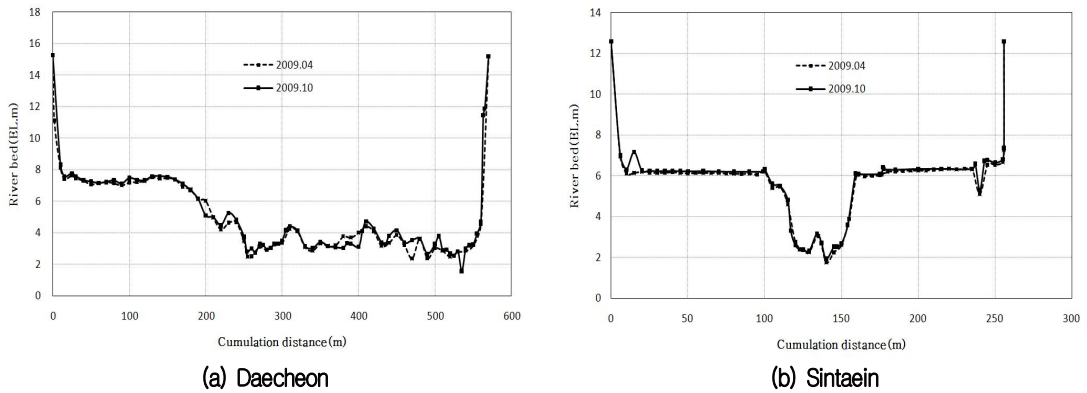
장기간 유입 유사량 산정을 위한 장기 유출량은 HSPF 모형을 기반 모형으로 선정하였으며, 모의기간은 2002년부터 2008년까지 7개년으로 하였다. 모의된 유출량을 관측 지점별 유량-총유사량 곡선식을 이용하여 대천 및 신태인 수위관측소 지점의 7개년의 유입 유사량을 산정한 후 7개년의 평균을 지점별 유입 유사량으로 산정하고 이를 토대로 하여 지점별 비유사량을 산정하였다. 산정된 유입 유사량과 비유사량을 기반으로 유역면적비를 이용하여 만경강 및 동진강 하구의 비유사량과 유입 유사량을 추정하였으며 이를 토대로 하여 새만금호로 유입되는 유입 유사량을 추정하였다.

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 단면 측정

유사량 측정에서 횡단면적은 유사량 산정뿐만 아니라 측정 및 계산된 유사량을 이용하여 퇴적 및 침식작용으로 인한 하상의 단면변화도 비교할 수 있다. 또한 이러한 자료가 장기적으로 축적될 경우 퇴적이나 세굴 등을 포함하는 하상의 변동 상황을 파악하고 원인과 결과를 분석하여 앞으로의 하상변동을 예측할 수 있다(국토해양부, 2010). 이에 유사량 측정위치인 대천 및 신태인 수위관측소 지점에서 2009년의 횡단측량성과를 <그림 4>와 같이 나타내었으며 횡단면적은 유사량 산정에 필요한 수리

량의 계산에 이용하였다.



<그림 4> Cross-section of water level station

## 2. 유사량 측정

본 연구의 분석 대상기간 내 유량 및 부유사량 측정은 2008~2009년 대천 및 신태인 수위관측소 지점에서 각각 16회 및 27회를 측정하였다. 그러나 측정 및 분석된 자료에 여러 오류로 인해 대천 및 신태인 수위관측소 지점에서 각각 1회 및 5회의 적용할 수 없는 자료가 발생하여 본 연구에서는 이를 제외한 15회 및 22회 측정 자료를 분석하였다. 부유사 채취는 수직방향으로는 수심적분법, 횡방향으로는 등간격법을 사용하였으며, 측정장비는 D-74를 이용하였다.

대천 및 신태인 수위관측소 지점에서 과거 2005년 측정된 유사량 자료(농업기반공사, 2005)를 수집하여 본 연구의 측정성과와 함께 <표 4> 및 <표 5>와 같이 제시하였다. 과거 유사량 자료는 2004~2005년 대천 및 신태인 수위관측소 지점에서 각각 7회 및 20회를 측정하였으며 대천 지점의 경우 2004년에 5회의 측정이 이루어졌으나 측정 및 분석된 자료에 여러 오류가 발생하여 2005년의 7회 측정자료만을 이용하였다. 동일한 호우사상에 대한 측정 자료를 이용하여 분석하는 것이 타당하다고 판단하여 본 연구에서 대천 및 신태인 수위관측소 지점의 경우 2005년의 7회 및 10회의 과거 측정 자료를 이용하였다.

<표 4> Suspended sediment concentration analysis at Daechon water level station

Event	Measurement time (year-month-day)	Discharge (m <sup>3</sup> /s)	Concentration (ppm)	Suspended sediment (ton/day)	Remark
1	2005-07-01 14:50	570.3	450.3	22,188.0	KARICO (2005)
2	2005-07-01 17:15	781.0	437.6	29,528.5	
3	2005-07-01 19:25	771.0	228.4	15,214.7	
4	2005-07-02 09:00	1,334.5	334.9	38,614.2	
5	2005-07-02 12:10	1,729.8	278.0	41,548.4	
6	2005-07-02 15:15	1,605.1	139.2	19,304.3	
7	2005-07-08 18:05	131.3	14.4	163.4	
1	2008-08-05 16:57	8.2	9.9	7.0	This study
2	2008-08-17 19:10	50.9	10.5	46.2	
3	2008-10-10 10:06	5.9	6.5	3.3	
4	2008-11-03 12:30	10.7	6.7	6.2	
5	2009-05-17 10:40	17.2	26.7	39.6	
6	2009-06-18 09:00	10.2	12.0	10.5	
7	2009-06-22 14:24	87.2	41.7	313.8	
8	2009-06-22 19:15	75.1	25.0	162.2	
9	2009-06-23 05:20	47.5	28.3	116.3	
10	2009-07-15 11:00	789.7	139.0	9,483.9	
11	2009-07-15 16:10	504.3	92.0	4,008.8	
12	2009-08-11 16:31	23.1	12.3	24.6	
13	2009-08-12 11:04	44.6	13.4	51.6	
14	2009-08-25 10:28	11.7	12.7	12.7	
15	2009-10-09 09:46	4.4	5.8	2.2	

※ 자료: KARICO(Korea Agriculture & Rural Infrastructure Corporation)(2005).

<표 5> Suspended sediment concentration analysis at Sintaein water level station

Event	Measurement time (year-month-day)	Discharge (m <sup>3</sup> /s)	Concentration (ppm)	Suspended sediment (ton/day)	Remark
1	2005-07-03 21:00	82.4	92.4	657.8	KARICO 2005
2	2005-07-09 09:30	39.8	64.0	220.1	
3	2005-07-11 02:45	35.5	48.4	148.5	
4	2005-07-11 06:25	56.7	71.2	348.8	
5	2005-07-11 07:40	74.5	163.2	1,050.5	
6	2005-07-11 08:02	87.0	187.4	1,408.6	
7	2005-07-11 08:35	96.3	255.6	2,126.7	
8	2005-07-11 09:00	109.4	248.6	2,349.8	
9	2005-07-11 09:36	122.9	260.8	2,769.3	
10	2005-07-11 11:05	116.0	225.8	2,263.1	

<표 5> Suspended sediment concentration analysis at Sintaein water level station(계속)

Event	Measurement time (year-month-day)	Discharge (m <sup>3</sup> /s)	Concentration (ppm)	Suspended sediment (ton/day)	Remark
1	2008-08-05 10:55	1.6	14.7	2.1	This study
2	2008-08-18 08:21	32.2	160.1	444.9	
3	2009-05-17 09:20	11.6	125.0	125.2	
4	2009-05-17 13:32	8.2	103.3	73.5	
5	2009-05-17 15:59	8.8	80.0	60.8	
6	2009-06-22 13:15	49.3	197.9	843.8	
7	2009-06-22 16:18	44.5	272.2	1,045.5	
8	2009-06-22 21:38	32.6	228.3	642.6	
9	2009-06-23 06:54	11.9	63.3	65.2	
10	2009-06-23 10:17	8.6	36.7	27.2	
11	2009-06-29 11:25	59.4	260.0	1,334.0	
12	2009-06-29 13:20	53.9	280.0	1,302.8	
13	2009-06-29 16:56	28.7	137.8	341.2	
14	2009-06-29 18:46	24.5	128.9	273.3	
15	2009-06-29 20:27	16.6	102.8	147.8	
16	2009-07-15 10:30	271.9	314.0	7,377.7	
17	2009-07-15 14:45	146.6	238.0	3,014.7	
18	2009-07-15 17:35	110.7	209.3	2,001.5	
19	2009-07-15 21:30	75.5	173.0	1,127.9	
20	2009-08-11 16:34	30.8	67.3	177.7	
21	2009-08-12 12:00	32.4	61.9	173.6	
22	2009-08-25 12:33	2.6	12.2	2.7	

※ 자료: KARICO(Korea Agriculture & Rural Infrastructure Corporation)(2005).

### 3. 하상토 입경분석

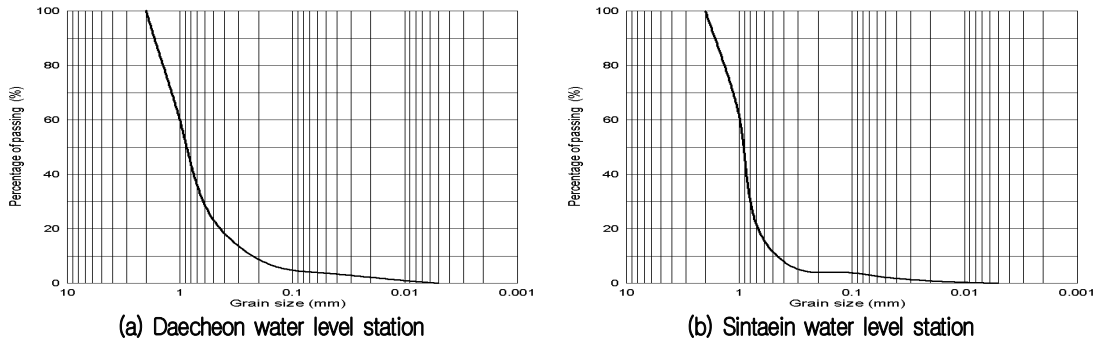
하상토 입도분포는 부유사농도와 함께 총유사량 산정을위한 중요한 기초자료로서, 산정된 하상토 분석결과는 총유사량 산정시 입력자료로 사용된다. 총유사량은 부유사와 소류사량의 합으로서 부유사량은 현장에서 측정된 부유사와 유량의 관계에 의해 구해질 수 있다. 반면에 소류사량은 측정하기 어렵기 때문에 기 개발된 이론식에 의해 산정하는 것이 통상적이라고 할 수 있다. 소류사량 산정을 위한 이론식은 하상물질의 특성 인자를 필요로 하기 때문에 본 연구에서는 하상토 채취에 의한 입도분포 분석을 <표 6>과 같이 실시하였다.

<표 6> Bed-material size distribution

Station	Percentage of passing (%)					
	Less than 0.0625mm	0.0625~ 0.125	0.125~ 0.25	0.25~ 0.50	0.50~ 1.0	0.10~ 2.0
Daecheon	4.03	1.51	5.70	11.77	36.67	40.32
Sintaein	2.70	1.40	0.20	7.08	49.63	38.95

<그림 5>는 각각 대천 및 신태인 수위관측소 지점의 입도가적곡선이다. 일반적으로 동일 유역에서

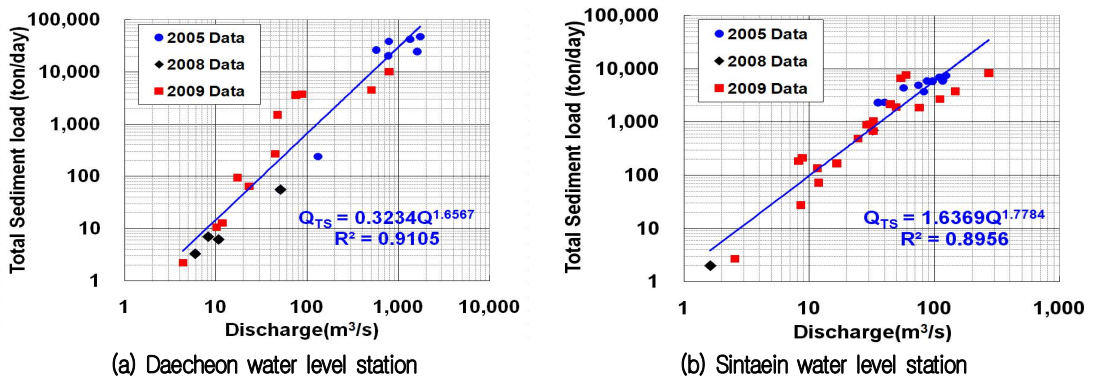
는 하구에서 상류쪽에 위치할수록 하상물질의 입도가 커지게 된다. 대천 수위관측소 지점과 신태인 수위관측소 지점은 각각 만경강과 동진강 수계의 중류에 위치하고 있어 대부분의 하상토가 모래질 (0.05~2.0mm)의 조립자로 구성되어 있다. D50은 대천과 신태인 수위관측소 지점에서 각각 0.88mm 및 0.91mm로 나타났다. 따라서 이 지점들은 사질의 이동상 하상 특성을 가지고 있으므로 홍수시 하상의 변동이 있을 것으로 예상된다.



<그림 5> Cumulative curve for bed-material size

#### 4. 유량-유사량 곡선 작성

2008~2009년 실측된 부유사량과 2005년도(농업기반공사, 2005)에 실측된 부유사량을 이용하여 만경강 유역 대천 수위관측소 지점과 동진강 유역 신태인 수위관측소 지점에서의 총유사량을 MODEIN 프로그램에 의해 산정 하였다. 대천 및 신태인 수위관측소 지점에서 산정된 총유사량은 <표 7> 및 <표 8>과 같으며 유량-총유사량 관계를 <그림 6>과 같이 나타내었다. 과거 유사량 자료와 급회 자료를 같이 이용하는 것은 유사량 분석의 신뢰도를 높이고 과거에 이어서 현재 유사량 값을 반영하기 위해서이다.



<그림 6> Sediment rating curve

<표 7> Total sediment load analysis at Daecheon water level station

Event	Measurement time (year-month-day)	Discharge (m <sup>3</sup> /s)	Total sediment (ton/day)	Remark
1	2005-07-01 14:50	570.3	26,342.9	KARICO (2005)
2	2005-07-01 17:15	781.0	38,776.1	
3	2005-07-01 19:25	771.0	20,609.8	
4	2005-07-02 09:00	1,334.5	42,535.6	
5	2005-07-02 12:10	1,729.8	47,619.4	
6	2005-07-02 15:15	1,605.1	24,668.5	
7	2005-07-08 18:05	131.3	239.4	
1	2008-08-05 16:57	8.2	7.0	This study
2	2008-08-17 19:10	50.9	55.6	
3	2008-10-10 10:06	5.9	3.3	
4	2008-11-03 12:30	10.7	6.2	
5	2009-05-17 10:40	17.2	94.5	
6	2009-06-18 09:00	10.2	10.6	
7	2009-06-22 14:24	87.2	3,745.0	
8	2009-06-22 19:15	75.1	3,633.2	
9	2009-06-23 05:20	47.5	1,501.1	
10	2009-07-15 11:00	789.7	10,127.3	
11	2009-07-15 16:10	504.3	4,527.3	
12	2009-08-11 16:31	23.1	64.3	
13	2009-08-12 11:04	44.6	269.7	
14	2009-08-25 10:28	11.7	12.8	
15	2009-10-09 09:46	4.4	2.2	

※ 자료: KARICO(Korea Agriculture & Rural Infrastructure Corporation)(2005).

<표 8> Total sediment load analysis at Sintaein water level station

Event	Measurement time (year-month-day)	Discharge (m <sup>3</sup> /s)	Total sediment (ton/day)	Remark
1	2005-07-03 21:00	82.4	3,704.4	KARICO 2005
2	2005-07-09 09:30	39.8	2,340.3	
3	2005-07-11 02:45	35.5	2,330.3	
4	2005-07-11 06:25	56.7	4,387.8	
5	2005-07-11 07:40	74.5	4,886.6	
6	2005-07-11 08:02	87.0	5,879.7	
7	2005-07-11 08:35	96.3	5,854.0	
8	2005-07-11 09:00	109.4	6,932.5	
9	2005-07-11 09:36	122.9	7,451.7	
10	2005-07-11 11:05	116.0	5,999.6	

<표 8> Total sediment load analysis at Sintaein water level station(계속)

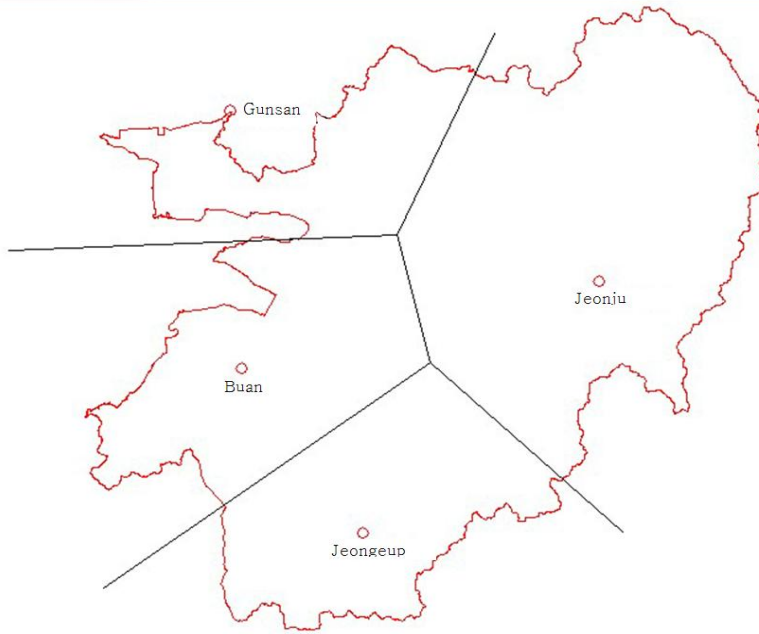
Event	Measurement time (year-month-day)	Discharge (m <sup>3</sup> /s)	Total sediment (ton/day)	Remark
1	2008-08-05 10:55	1.6	2.0	This study
2	2008-08-18 08:21	32.2	696.7	
3	2009-05-17 09:20	11.6	135.6	
4	2009-05-17 13:32	8.2	185.0	
5	2009-05-17 15:59	8.8	213.2	
6	2009-06-22 13:15	49.3	1,903.5	
7	2009-06-22 16:18	44.5	2,152.8	
8	2009-06-22 21:38	32.6	1,029.7	
9	2009-06-23 06:54	11.9	72.7	
10	2009-06-23 10:17	8.6	27.3	
11	2009-06-29 11:25	59.4	7,605.8	
12	2009-06-29 13:20	53.9	6,629.1	
13	2009-06-29 16:56	28.7	886.7	
14	2009-06-29 18:46	24.5	485.9	
15	2009-06-29 20:27	16.6	166.8	
16	2009-07-15 10:30	271.9	8,210.0	
17	2009-07-15 14:45	146.6	3,787.9	
18	2009-07-15 17:35	110.7	2,705.6	
19	2009-07-15 21:30	75.5	1,866.5	
20	2009-08-11 16:34	30.8	905.8	
21	2009-08-12 12:00	32.4	675.0	
22	2009-08-25 12:33	2.6	2.7	

※ 자료: KARICO(Korea Agriculture & Rural Infrastructure Corporation)(2005).

## 5. 장기유출량 산정

### 1) 강우량자료 구성

새만금 유역의 일유출량 산정을 위해서는 장기간의 일관성 있는 기상자료가 요구된다. 유출모형의 입력자료로는 자동기상관측소(AWS) 및 한국농어촌공사의 자료에 비해 장기간의 기상자료를 보유하고 있는 기상청 관할 종합기상관측소의 강우량을 사용하였으며, 자료연수는 2002년부터 2008년까지 7개년간의 자료이다. 유출모형의 입력을 위한 새만금 유역의 면적강우량 산정을 위해 <그림 7>과 같이 티센망을 구성하였다.

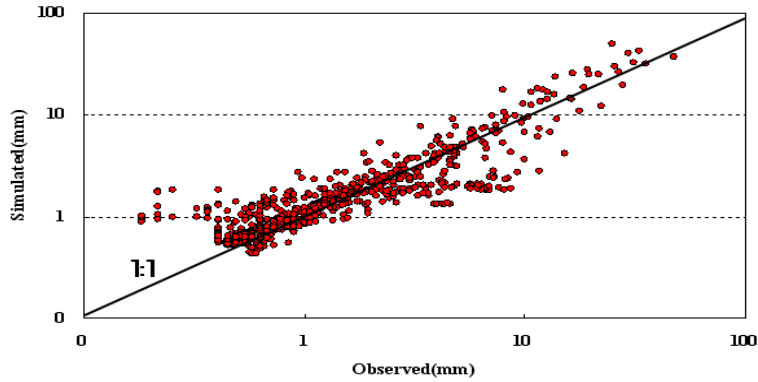


<그림 7> Thiessen polygon of rainfall station

## 2) HSPF 모형의 보정 및 검증

모형의 보정에 앞서 모형의 이론식에 의해 결정된 매개변수에 따른 HSPF 모형의 계산 결과에서 연단위의 분석대상기간을 선정하였다. 선정된 해의 유출량을 각각 1월 1일부터 12월 31일까지 HSPF 모형으로 모의하였으며 유량보정은 모의유출량과 관측유출량과의 비교를 통해서 실시하였다. 본 연구에서는 새만금유역의 유량 모의시 결정계수(R<sup>2</sup>)와 균등도(EI)가 최대로 될 때까지 HSPF 모형의 매개변수를 시행착오법으로 보정하였다.

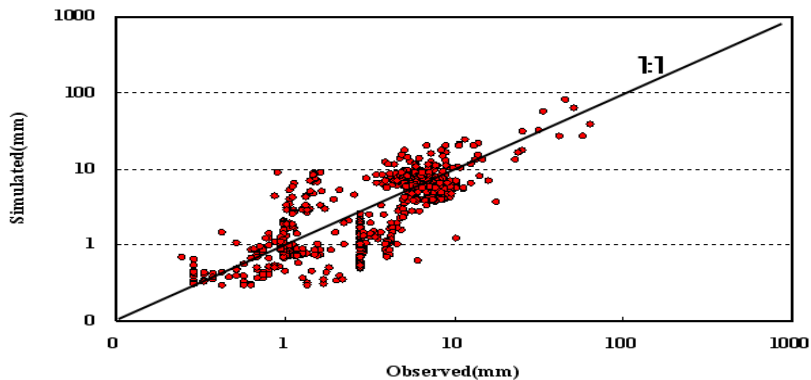
보정기간(2007~2008년) 동안 HSPF 모델의 보정된 매개변수에 의해 산정된 대천 및 신태인 수위관측소 지점의 모의유출량과 관측유출량에 대한 효율성을 RMSE(Root Mean Square Error), R<sup>2</sup>로 판정하였고, <표 9> 및 <표 10>과 같이 나타내었다. 효율성 평가 결과 대천 수위관측소 지점의 RMSE, R<sup>2</sup>는 각각 2.98, 0.81로 나타났고, 신태인 수위관측소 지점의 RMSE, R<sup>2</sup>는 각각 5.21, 0.634로 <그림 8> 및 <그림 9>에서 나타나듯 비교적 모의유출량이 관측유출량의 경향을 잘 반영하는 것으로 나타났다.



<그림 8> Discharge calibration at Daechon water level station

<표 9> Comparison of observed and simulated runoff at Daechon water level station

Period	Runoff (mm)		RMSE (mm/day)	R <sup>2</sup>
	Observed	Simulated		
2007~2008	1,976.4	1,913.4	2.98	0.81



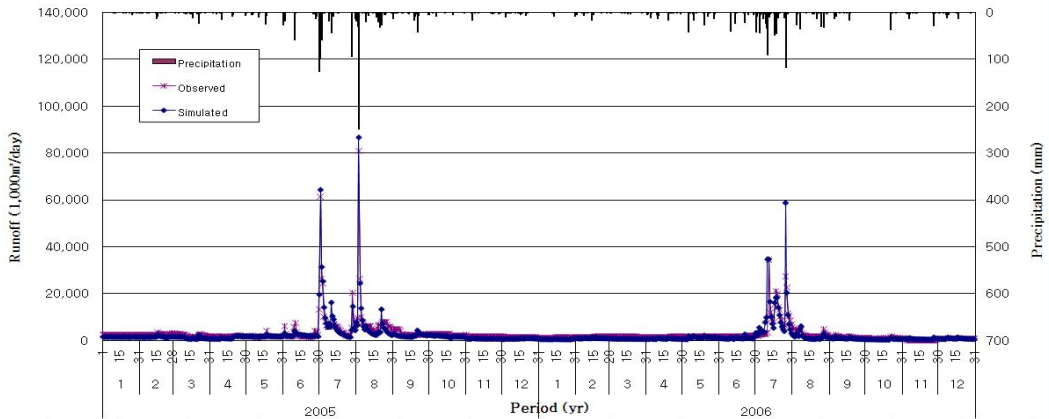
<그림 9> Discharge calibration at Sintaein water level station

<표 10> Comparison of observed and simulated runoff at Sintaein water level station

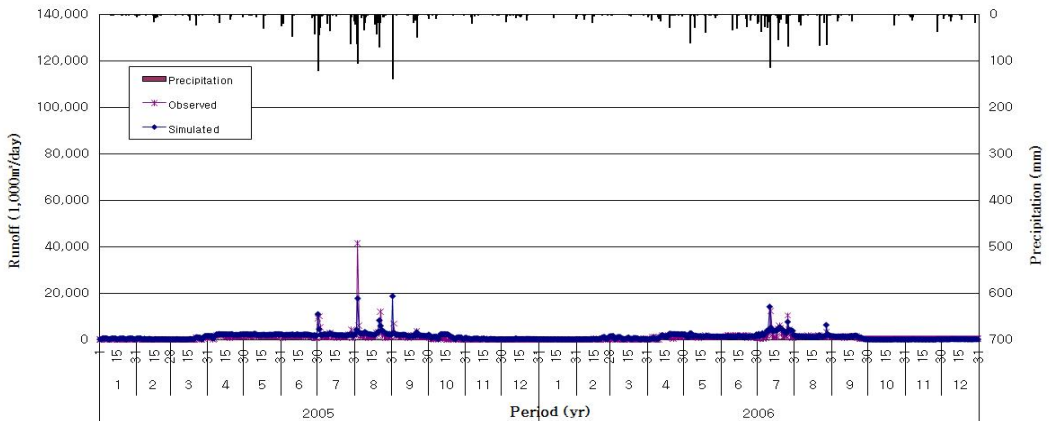
Period	Runoff (mm)		RMSE (mm/day)	R <sup>2</sup>
	Observed	Simulated		
2007~2008	3,551.8	3,508.0	5.21	0.63

HSPF 모형의 검증을 위해서 대천 및 신태인 수위관측소 지점의 2005년부터 2006년까지의 모의결과를 도시한 것은 <그림 10> 및 <그림 11>이다. <그림 10> 및 <그림 11>에서 평갈수기 관측유출량과 모의유출량의 차가 많음을 알 수 있다. 원인으로는 본 연구에서 적용한 HSPF 모형이 이수기 용수

이용량과 같은 실제 유출상황을 고려하여 모의하지 못하기 때문에 매개변수의 보정에 한계가 있는 것으로 판단된다. 특히 신태인 수위관측소 지점에서 평갈수기 관측유출량과 모의유출량간의 차이는 하류에 동진계수문이 위치하고 있어 저수위시 배수위효과(Back Water)로 인해 수위-유량곡선식에 의한 관측유량이 실제유량이라고 보기에는 무리가 따르나 모형에서는 이 값을 참값으로 가정하여 모의 유출량을 산정하기 때문인 것으로 판단된다.



<그림 10> Verification of HSPF at Daecheon water level station



<그림 11> Verification of HSPF at Sintaein water level station

### 3) HSPF 모형에 의한 장기유출량 모의 발생

강우량 자료 및 모형의 검증을 기반으로 만경강 유역의 대천 수위관측소 지점 및 동진강 유역의 신태인 수위관측소 지점의 장기유출량을 <표 11> 및 <표 12>에 나타내었다.

<표 11> Monthly runoff during 7 years of Daecheon water level station(unit:  $\text{m}^3/\text{s}$ )

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2002	12.2	8.2	7.8	24.8	31.9	5.9	15.8	279.6	166.7	7.1	4.1	7.4
2003	20.7	19.0	19.9	46.9	30.3	24.6	190.5	66.6	65.9	15.0	19.1	13.7
2004	17.1	17.5	19.0	18.9	25.6	75.9	72.8	96.4	43.5	12.9	18.2	18.4
2005	17.2	17.8	13.0	13.3	20.0	25.8	110.6	128.1	25.5	20.4	8.7	8.8
2006	6.1	11.0	7.8	8.5	13.8	11.9	134.7	18.7	10.2	5.8	7.4	9.2
2007	6.3	9.3	18.6	15.5	11.4	13.8	47.1	44.1	177.0	25.1	18.9	17.8
2008	16.7	11.3	15.7	22.3	16.2	42.0	36.0	36.4	8.8	5.5	8.6	9.3
Mean	13.8	13.4	14.5	21.4	21.3	28.6	86.8	95.7	71.1	13.1	12.1	12.1

<표 12> Monthly runoff during 7 years of Sintaein water level station(unit:  $\text{m}^3/\text{s}$ )

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2002	2.7	1.6	2.9	16.3	12.1	15.9	15.8	32.0	25.6	4.5	1.7	2.7
2003	2.2	3.5	5.0	7.0	7.9	4.9	35.7	15.6	14.2	2.4	1.6	1.7
2004	1.5	1.5	1.2	4.2	8.1	15.5	14.6	17.4	13.6	4.9	2.3	2.7
2005	5.5	3.6	6.0	24.7	26.6	24.9	29.2	41.2	29.6	15.9	4.6	3.7
2006	2.7	5.4	7.8	17.9	18.8	16.6	46.4	18.8	14.3	1.3	1.5	2.5
2007	1.7	3.0	4.8	10.3	14.0	15.0	24.6	25.1	50.2	3.2	0.9	1.2
2008	16.6	9.3	6.0	14.5	17.9	19.8	19.3	17.6	9.5	2.1	2.0	2.4
Mean	4.7	4.0	4.8	13.6	15.1	16.1	26.5	24.0	22.4	4.9	2.1	2.4

## 6. 유입 유수량 산정

만경강의 대천 및 동진강의 신태인 수위관측소 지점의 일유출량을 유량-총유수량 관계곡선에 입력하여 <표 13>과 같이 지점별 연 유입 유수량을 산정하였다.

<표 13> Sediment load by simulated runoff(unit: ton/yr)

Simulated year	Water level station			
	Daecheon		Sintaein	
	Year	Rainy season	Year	Rainy season
2002	408,954.7	398,627.5	91,778.6	75,993.2
2003	137,161.4	118,230.3	68,958.3	61,977.3
2004	107,077.6	96,947.3	44,196.9	39,394.5
2005	165,380.8	157,980.0	175,053.2	129,224.4
2006	56,237.1	53,191.7	105,353.7	80,841.4
2007	93,043.3	84,256.1	131,869.2	120,163.6
2008	25,608.6	19,319.1	59,802.8	31,733.9
Average	141,923.3	132,650.3	96,716.1	77,046.9

<표 13>에서와 같이 대천 수위관측소 지점의 7년 평균 유입 유수량은 141,923.3(ton/yr)로 산정되었으며, 신태인 수위관측소 지점은 96,716.1(ton/yr)로 나타났다. 홍수기인 6월~8월까지의 평균 유입유사

량은 대천 수위관측소 지점에서 132,650.3(ton/yr), 신태인 수위관측소 지점에서 77,046.9(ton/yr)로 산정되었다. 위와 같은 분석결과를 이용해서 만경강과 동진강 유역의 유입 유사량은 각각 대천과 신태인 수위관측소 지점의 유입 유사량을 면적비에 의해 산정하였고, 새만금호 지구로 유입되는 전체 유사량은 만경강과 동진강 유역의 유입 유사량을 합산하여 <표 14>와 같이 산정하였다.

<표 14> Estimation of sediment load in Saemangeum Lake

Classification		Mangyeong River watershed		Dongjin River watershed		Saemangeum Lake
		Daecheon	Estuary	Sintaein	Estuary	
2002~2008 Average	Drainage area (km <sup>2</sup> )	850	1,571	219	1,034	3,319
	Sediment load (ton/yr)	141,923	262,308	96,716	456,641	916,005
	Specific sediment yield (ton/km <sup>2</sup> /yr)	167.0		441.6		276.0

본 연구에서 도출된 새만금호 지구의 유입 유사량은 연평균 916,005(ton/yr)로 추정되었는데, 이 중 만경강 유역에서 262,308(ton/yr)과 동진강 유역에서 456,641(ton/yr)이 유입된 것으로 추정되었다. 새만금호의 연평균 비유사량은 276(ton/km<sup>2</sup>/yr)으로 추정되었다. 동진강 유역이 만경강 유역보다 비유사량이 더 큰 이유로는 만경강의 경우 전주, 익산 등과 같은 도시 및 공단지역이 상대적으로 넓게 분포하여 유사발생량 자체가 적을 수 있을 것으로 판단된다. 또한 동진강 유역의 경우 유사량 측정 지점인 신태인 수위관측소 지점의 상류부 도로공사 및 배수장 공사로 인해 저수기 유량에서 총유사량이 크게 발생된 것도 하나의 원인인 것으로 판단된다.

우리나라의 유사이동에 관한 지식은 신뢰도 높은 유사량 추정에까지 이르지 못하고 있는 실정이며 계산과정에서 이용된 변수값들의 작은 변화에도 유사량 값이 크게 변하기 때문에 이를 위해서는 최대한 실측 자료에 의존해야 할 것이다. 장기적으로 측정된 실측자료를 이용해서 대상 하천의 흐름과 유사특성에 맞는 적절한 유사량 공식을 선정하는 과정을 반복해서 신뢰도를 높이는 것이 바람직 할 것이라 생각되며 이러한 문제점들을 보완하여 향후 새만금호 유입 유사량 산정시 본 연구를 통해 제시된 자료를 활용하여 분석한다면 보다 신뢰성 있는 결과를 도출 할 수 있을 것이라 판단된다.

## V. 결론

본 연구에서는 새만금호 만경강유역의 대천 수위관측소 지점과 동진강유역인 신태인 수위관측소 지점에서 유량조사, 유사량 조사, 하상 퇴적물 조사 및 장기유출량 분석을 실시하여 새만금호내로 유입되는 총유사량과 비유사량을 유역면적비를 이용하여 산정하였다. 총유사량 산정은 수정 아인쉬타인

방법(Modified Einstein Procedure, MEP)을 적용하였으며, 금번 연구에서 측정된 유사량 자료와 2005년도에 행해졌던 유사량 자료를 이용하여 유량-총유사량 곡선식을 산정하였다. 장기간 유입 유사량 산정을 위한 유출량 자료는 HSPF 모형을 사용하였으며, 모의기간은 2002년부터 2008년까지 7개년으로 하였다.

본 연구에서 도출된 결과는 다음과 같다. 2002년부터 2008년까지 모의된 장기유출량과 지점별 유량-총유사량 관계 곡선식을 이용하여 산정된 대천 수위관측소 지점의 7년 평균 유입 유사량은 141,923(ton/yr), 신태인 수위관측소 지점은 96,716(ton/yr)로 나타났다. 홍수기인 6월~8월까지의 평균 유입 유사량은 대천 수위관측소 지점에서 132,650.3(ton/yr), 신태인 수위관측소 지점에서 77,046.9(ton/yr)로 산정되었다. 대천과 신태인 수위관측소 지점 실측자료를 바탕으로 개발된 유량-총유사량 관계식과 장기유출량 분석으로부터 산정된 새만금호의 비유사량은 276(ton/km<sup>2</sup>/yr)이며, 유입 유사량은 연평균 916,005(ton/yr)로 추정되었다.

유역의 토지이용 상대나 하천의 이용 상태는 시간이 흐름에 따라 달라지기 때문에 본 연구의 유사량 측정 및 분석 자료는 과거 측정된 유사량 자료보다 현재의 하천 상태를 더욱 잘 반영한 것이라고 생각된다. 향후 새만금호 유입 유사량 산정 시 본 연구를 통해 제시된 대천 및 신태인 수위관측소 지점에서 조사된 총유사량 자료를 활용하여 분석한다면 보다 신뢰성 있는 결과를 도출 할 수 있을 것으로 판단되며, 아울러 우리나라 하류 하천에서의 유사량 연구시 관측기법과 분석기법의 개선에 도움이 될 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- 건설교통부. 2006. 수자원장기종합계획.
- 국토해양부. 2010. 유량조사보고서.
- 김형산. 2011. 수정 아인쉬타인 방법에 의한 만경강 및 동진강 유입 유사량 산정. 충북대학교 대학원. 공학석사학위논문.
- 농림수산식품부. 2009. 새만금호 유입 유사 특성 조사 및 분석 연구.
- 농업기반공사. 2005. 새만금호 유입부 퇴적물 관리방안 연구.
- 농어촌진흥공사. 1995. 새만금지구 유사량의 조사 분석.
- 우효섭. 2001. 하천수리학. 청문각.
- 한국건설기술연구원. 1989. 하천유사량 산정방법의 산정기준 개발.
- 한국건설기술연구원. 1990. 수정아인쉬타인 방법의 한국 하천에의 적용.
- Colby, B. R. and C. H. Hembree. 1955. *Computations of Total Sediment Discharge Niobrara River Near Coby, Nebraska, Water Supply Paper*. 1357, USGS, Washington, D.C.

Stevens, H. H. Jr. 1985. *Computer Program for the Computation of Total Sediment Discharge by the Modified Einstein Procedure*, Water Resource Investigation Report. 85-4047, USGS, Washington, D.C.

국가 수자원관리 종합정보시스템. <http://www.wamis.go.kr/>

기상청. <http://www.kma.go.kr/>

---

**金炯山**: 충북대학교 지역건설공학과를 졸업하고, 동 대학원에서 공학석사 학위를 취득하였다(2011. 2). 현재 충북대학교 지역건설공학과에서 박사과정 중이다(kimhs@cbnu.ac.kr).

**孟昇辰**: 충북대학교에서 “LH-모멘트의 적정 차수 결정에 의한 설계홍수량 추정”으로 농학박사 학위를 취득하였으며(2002. 2), 현재는 충북대학교 지역건설공학과 부교수로 재직 중이다. 주요 연구 분야는 수문통계, 강우-유출 모형 개발, 수문자료 측정 분야이며, 현재 한국농공학회 이사, 한국수자원학회 편집위원 등으로 활동 중이다(maeng@cbnu.ac.kr).

**鄭世雄**: 미국 IOWA 주립대에서 “Modeling the fate and transport of agricultural pollutants and their environmental impact on surface and subsurface water quality”으로 공학박사 학위를 취득하였으며(1998. 12), 현재는 충북대학교 환경공학과 교수로 재직 중이다. 주요 연구 분야는 지표수 수리·수질 모델링, 저수지 수질 회복 및 관리 기술 개발분야이며, 현재 한국물환경학회 이사, 한국농공학회 이사, 수자원학회 종신회원 등으로 활동 중이다(schung@chungbuk.ac.kr).

**金允祐**: 충북대학교 지역건설공학과에서 공학사 학위를 취득하였으며(2011. 2), 현재는 충북대학교 지역건설공학과에서 석사과정 중이다(twkim@cbnu.ac.kr).

투 고 일: 2012년 02월 27일

수 정 일: 2012년 03월 27일

게재확정일: 2012년 04월 04일

## Characteristic Analysis of Sediment Load in Mangyeong and Dongjin River during Flood Season

Hyung San Kim, Seung Jin Maeng, Se Woong Chung, Tae Woo Kim

Discharge, sediment load, bed-material investigation, and long-term runoff analysis were performed at Daecheon water level station in Mangyeong River and Sintaein water level station in Dongjin River. Aim of this study estimates total sediment load and specific sediment yield entering Saemangeum Lake. The Modified Einstein Procedure was applied to estimate total sediment load and then a sediment rating curve was derived using sediment load data, as measured in this study and measured by other institutes in 2005. Runoff data for estimating long-term data on sediment load entering the lake are available for long-term runoff simulations. The HSPF model was applied to simultaneously perform water volume and quality simulations. The simulations were performed for a period of seven years, from 2002 to 2008. Using the simulated long-term runoff from 2002 to 2008 and the sediment rating curve at two water level stations, the mean sediment load entering the lake was estimated at 141,923(ton/yr) at the Daecheon water level station and 96,716(ton/yr) at the Sintaein water level station. Based on the long-term runoff analysis and the sediment rating curve obtained from data gathered from Daecheon and Sintaein water level stations, specific sediment yield at Saemangeum Lake was estimated at 276(ton/km<sup>2</sup>/yr), while the sediment load entering the lake was 916,005 (ton/yr). The utilization of land and rivers in these regions vary with time. Therefore, these sediment load and analysis data better reflect the present condition of the rivers than previous data.

**Key words:** Mangyeong River, Dongjin River, Sediment load, modified einstein, Specific sediment yield