산업기술연구(강원대학교 산업기술연구소 논문집), 제28권 B호, 2008.
Journal of Industrial Technology, Kangwon Natl. Univ., Korea, No. 28 B, 2008.

강원도 하천의 기존유사량 산정공식의 적정성 검토 (지방하천을 중심으로)

The Review of the Adequacy for the Estimation Formula of Existence Sediment Loads in the River of Gangwon - Province (Focused on Local River)

최 한 규* 이 운 배** 박 수 진***
Choi, Han-Kuy Lee, Woon-Bae Park, Soo-Jin

Abstract

This study reviewed and compared the measured value with the calculated sediment loads value by the existing theory equation, after actually measuring the suspended load, focusing on locality river in Gangwon province. Next, it suggested the application problems of the existing sediment loads calculation equation in case of rivers in Gangwon province, and suggested the proper sediment loads calculation equation to rivers in Gangwon province, after implementing the statistical regression analysis by using the measured data for 5 years, 2003 ~ 2007.

키워드 : *지방하천, 회귀분석, 유사량, 부유사*
Keywords : *locality river, regression analysis, suspended load, sediment loads*

1. 서론

유사의 이송형태는 크게 소류와 부유의 2가지 형태로 나눌 수 있다. 소류는 하상위에서 비교적 큰 유사입자들이 유수에 의해 회전, 활동, 도약하며 이송하는 것이며, 부유사는 비교적 작은 입자들이 유수의 난류 확산 현상에 의해 부유되어 이송하는 것이다. 소류사를 이송형태에 따라 보다 세분화 하면 하상과 바로 접촉하며 구르거나 미끄러지며 이송하는 접류사와 하상바닥을 높이 뛰면서 이송되는 도류사로 구분한다.

다음으로 물의 흐름에 의한 유수의 교란에 의하여 확산작용 때문에 유로단면을 부유하여 수송되는 유사를 부유사로 구분한다.

유사량을 추정하는 방법은 유사량 공식을 이용한 간접적인 계산방법과 실측을 통한 직접적은 방법이 있으며, 일반적으로 이론에 의한 Einstein 공식이나 Toffaleti 공식 등과 같은 하천 유사량 공식을 이용하여 하천 유사량을 추정하나 그 신뢰성이 떨어진다.

따라서, 본 연구에서는 강원도 지방2급 하천을 선정하여 비교적 학계와 실무에서 많이 이용하는 3가지 이론식을 이용하여 유사량을 산정하고 실측치를 이용하여 비교·검토함으로써, 강원도 하천에서의 기존 공식 적용성의 문제점을 제시하였다. 또한, 실측자료를 이용하여 강원도 하천특성에 적합한 유사량 공식을 개발함으로써, 하천의 유지관리 및 하천구조물 설계에 필요한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사·교신저자
** 강원대학교 산업대학원 토목공학과 공학석사
*** 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료

2. 유사량 개요 및 방법에 관한 이론

2.1 하천유사량 개요

하천유사란 하천수에 의해 침식, 운반, 퇴적되는 토사를 말한다. 우리가 흔히 개울에서 볼 수 있는 조약돌이나, 강가의 모래, 혹은 감조영향을 받고 있는 하류하천에서 볼 수 있는 갯벌 등은 모두 하천수에 의해 운반되어 퇴적된 하천유사들이다. 다만, 감조하천에서의 갯벌은 점착성 유사(cohesive sedimet)로서 구성 성분이나 유수와의 상호작용이 모래 벌 같은 비 점착성 유사와는 상이하다. 하천의 하상이 유수에 의해 침식·운반될 수 있는 비 점착성 모래로 구성된 이동상 하천을 충적하천이라 한다. 따라서 하상재료가 자갈로 뒤덮인 산지하천이나 점토로 구성된 감조하천 등은 충적하천에서 제외된다.

충적하천에서의 유사의 이동형태는 크게 소류와 부유의 2가지 형태로 나눌 수 있다. 전자는 하상위에서 비교적 큰 유사입자들이 유수에 의한 회전, 활동, 도약하며 이송되는 것이며, 후자는 비교적 작은 입자들이 유수의 난류확산 현상에 의해 부유되어 이송되는 것이다. 아래 표1은 이송형태에 의한 하천 유사를 분류한 것이다.

표 1. 하천 유사량의 분류

구분	이송형태에 의한 분류		수리량과 관계에 의한 분류	측정 한계에 따른 분류
유사 (sediment load)	부유사 (suspended load)		세 류 사 (wash load)	측정 유사 (sampled load)
	소류사 (bed load)	도류사 (saltation load)	하상토 유사 bed material [sediment] load [소류+부유]	
		접류사 (contact load)		미측정 유사 (unsampled load)

2.2 하천유사량 산정방법

하천에서 유사량을 추정하는 방법으로는 실측을 통한 직접적인 방법과 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 많은 측정방법의 개선이 요구된다. 또한 간접적인 계산에 의한 방법은 각 공식의 계산결과가 천차만별인 경우가 많아서 같은 수리량 자료를 적용시켜 계산하여도 그 계산 결과는 수십에서 수백 배 까지 차이가 나는 경우가 있다.

다음으로 직접 측정에 의한 방법과 간접계산에 의한 방법을 절충한 것으로 소위 [일부추정 + 일부계산] 방법이 있으며, 가장 보편적으로 사용되는 방법이 수정아인슈타인 방법이다.

아래 표 2는 유사량 산정 방법별 산정공식의 특징을 나타내었다.

표 2. 유사량 산정방법별 산정공식의 특징

공 식 명	산정 유사량	공식형태별 분류	비 고
Einstein	소류사량 +부유사량	확산-이송형	'Einstein의 소류사함수' 라고도함
Colby	총유사량	경험식	도해법
Engelund & Hansen	총유사량	에너지모형	상사이론에 기초
Toffaleti	소류사량 +부유사량	확산-이송형	Einstein공식의 대폭적인 수정
Shen & Hung	총유사량	경험식	다중회귀분석 방법에 의한 경험식
Acker & White	총유사량	에너지모형	차원해석에 의한 준 경험식
Yang	총유사량	에너지모형	Stream Power개념과 회귀분석에 의한 준 경험식

3. 대상유역 선정 및 유사량 조사

3.1 대상유역 선정

본 연구를 위하여 강원도 하천의 특성을 잘 표현하고 있는 지방 하천 내린천, 인북천 지점을 선정하여 본 연구를 수행하였다. 본 연구지점의 유역개황 살펴보면 내린천 지점은 북천과 합류하여 소양호로 유입되는 지방2급하천 으로 유역면적 1,018㎢ 유로 연장 77.40㎞로 유역의 형상가 0.17로 인북천과 비슷한 수지형을 이루고 있으며, 북으로는 동일수계 지류인 북천유역과 접하고 있다.

인북천 도리촌교 지점은 유역면적 923.81㎢ 유로 연장 74.30㎞로, 유역 평균폭이 12.43㎞로 수지상하천이고 형상계수는 0.17로 유수기간이 대체로 길며

최대유량이 작은 하천이다. 본 하천유역면적의 14.2%에 해당하는 131.35㎢ 가 휴전선이북에 위치하고 있으며 북으로는 휴전선 이북의 회양군 내금강면 금강천 수계와 접하고, 남측으로는 소양강 지류중 하나인 북천에 합류한다. 아래 그림 1은 연구지점도를 나타낸 것이다.

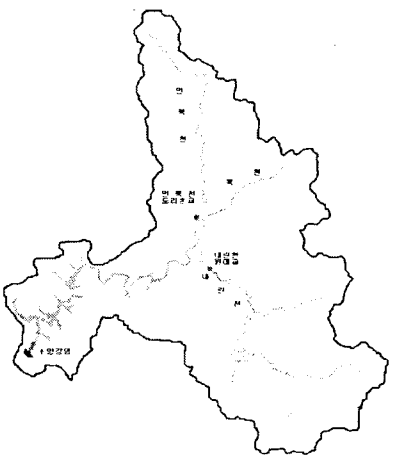


그림 1. 연구지점도

3.2 유사량 측정

1) 유사량 측성 지점 선정

유사량 측성에 적합한 지점이란 하천의 수리, 수문 특성과 유사 특성이 잘 반영되고 이러한 특성이 안정적으로 유지되며, 실제 측정 작업이 용이한 곳이다. 하도는 가능한 직선에 가깝고 하상이 평탄해야 유속 및 유사 농도의 횡단면 분포가 비슷하여 측선 수를 줄일 수 있어야한다. 본 연구에서는 위의 사항을 고려하면서 작업상의 편의를 위하여 유량측정지점과 동일한 지점을 유사량 측정지점으로 선정하였다.

2) 유사량 채취장비의 선정

본 연구에서는 교량을 이용해서 부유사를 채취하는 D-74수심적분 채취기를 선정하여 본 연구에 활용하였으며, 수심적분 채취기는 아래 그림 2에 나타내었다.

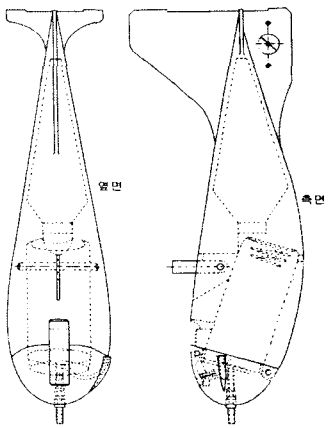


그림 2. D-74 수심적분 채취기

3) 부유사량 채취

본 연구에서는 수심적분 채취방법을 이용하여 부유사를 채취하였으며, 채취방법은 하천의 횡단면 전체를 몇 개의 부분단면으로 나누고 이 부분단면을 대표하는 측정 선을 따라 채취기를 등속으로 하강 또는 상승시키면서 시료를 채취하는 방법이다. 부유사의 측정 장비 및 준비물은 아래 표 3에 정리하여 도시하였다.

표 3. 부유사 측정장비 및 준비물

장 비 명	규 격	수량	비 고
D-74 수심적분 채취기	61cm × 13cm × 28kg	1	권양기 포함
채 취 병	700ml	50	시료채취
온 도 계		1	수온측정
줄 자	50m	1	
안 전 장 비	set	1	줄, 손전등, 구명조끼 등
야장 및 필기구	set	1	
시계 및 사진기		1	
예비 건전지 및 각종공구		1	

3.3 유사농도 분석

유사농도를 결정하는 방법은 일반적으로 증발법과 여과법이 있으며, 본 연구에서는 분석기간이 비교적 짧은 여과법을 사용하여 부유사농도를 분석하였다. 여과법을 이용한 농도분석과정은 다음과 같다.

1) 자료를 기록하고 계산할 실험표 준비한다.

2) 물의 증발에 의한 손실을 막기 위해 실험실에 도착한 즉시 중량을 측정한다.
3) 시료 중량은 0.1g 단위로 측정하여 병 표면과 실험표에 기록한다.
4) 즉시 실험에 들어가지 않을 경우 어둡고 차가운 곳에 보관한다.
5) 시료를 측정지점 및 측정 시간대별로 정리한다.
6) 각 채취장소별 실험표 작성 및 시료 병의 라벨의 내용, 즉 채취일자, 시각, 수위, 유량, 측정지점, 수온, 기타 사항 등을 옮겨 적는다.
7) 시료의 총 중량과 순 중량을 실험 표에 기록한다.
8) 여과지를 건조로에 넣어 3-24시간을 건조시켜 완전건조 상태로 만든 후 여과지의 중량을 측정한다.
9) 농도 분석용 시료통의 시료를 비이커에 옮겨 담고, 여과지가 설치된 진공장치를 가동시키며 시료가 옆으로 새지 않도록 조심스럽게 부어 여과시킨다.
10) 여과가 끝난 후 여과지를 건조로에 넣어 105-110℃에서 24시간 이상 건조 시킨다.
11) 여과지를 꺼낸 뒤 냉각기에 넣어 실온까지 냉각한다.
12) 여과지가 다 식었을 때 저울에 달아 0.1mg단위까지 측정한 후 유사 농도를 계산한다.

4. 분석 및 고찰

4.1 실측에 의한 유사량 추정

본 절에서는 2003년부터 2007년까지 5개년동안 연구대상지점 유역에 대하여 유사량 실측자료와 수리량 실측자료를 이용하여 직접방법에 의한 총 유사량을 추정하였다.

추정방법은 실측된 부유사 농도에 유량을 곱하여 총유사량을 추정하였으며, 추정된 유사량은 아래 표 4에 나타내었다.

표 4. 실측에 의한 총유사량 추정<인북천>

관측일자	유 량 (㎥/s)	유사 농도 (㎎/ℓ)	총유사량 (ton/day)
2004년 9월 5일	5.01	8	3.5
2004년 9월 13일	68.61	54.17	321.1
2004년 9월 13일	56.45	47.17	230.1
2004년 10월 8일	5.68	8.17	4
2004년 10월21일	5.01	17	7.4
2005년 7월 28일	207.71	439	7878.3
2005년 8월 11일	8.26	15.2	10.8
2005년 8월 11일	9.29	9.5	7.6
2005년 8월 15일	3.33	171	49.1
2005년 8월 19일	12.32	30.6	32.5
2005년 8월 19일	60.89	106	557.6
2005년 8월 19일	57.02	40.7	200.5
2005년 8월 20일	46.06	131	521.3
2005년 8월 20일	102.44	17.7	156.6
2005년 8월 23일	12.45	9	9.6
2005년 9월 8일	15.88	12.2	16.7
2005년 9월 14일	81.91	48.7	344.6
2005년 9월 15일	31.51	11.2	30.4
2005년 9월 22일	31.51	25	68
2005년 10월13일	3.04	24.3	6.3
2005년 10월27일	31.51	20.7	56.3
2006년 6월 15일	88.39	85.5	653
2006년 7월 1일	24.76	741.3	1585.8
2006년 7월 11일	27.048	56.3	131.6
2006년 7월 12일	143.36	1089.7	13497.9
2006년 7월 13일	235.97	128.8	2626
2006년 7월 14일	484.18	391	16357
2006년 7월 15일	586.59	349.3	17703.1
2006년 7월 15일	1001.2	383	33133.4
2006년 7월 15일	724.1	659.2	31246
2006년 7월 16일	528.8	465.2	21257.7
2006년 7월 27일	216.9	380.5	7131.1
2006년 7월 27일	442.4	530.3	20253.6
2006년 7월 28일	176.8	375	570.4.6
2006년 10월23일	312.2	309.8	8357.2
2006년 10월23일	280.9	312.2	7577.9
2006년 10월24일	100.1	192.5	1665.7
2007년 5월 17일	36.634	103.0	326.0
2007년 6월 15일	3.68	8.2	2.6
2007년 7월 2일	38.196	2036.7	6721.4
2007년 7월 2일	38.283	1342.3	4439.9
2007년 7월 9일	10.227	102.2	90.3
2007년 7월 9일	6.817	89.2	52.5
2007년 7월 12일	69.013	69.8	416.2
2007년 7월 16일	24.283	21.2	44.5
2007년 7월 27일	9.717	12.5	10.5
2007년 8월 1일	8.841	16.2	12.4
2007년 8월 4일	104.39	414.8	3741.3
2007년 8월 7일	39.518	18.3	62.5

표 4. 계 속

관측일자	유 량 (m³/s)	유사 농도 (mg/ℓ)	총유사량 (ton/day)
2007년 8월 8일	128.48	708.5	7865.4
2007년 8월 8일	49.792	86.2	370.8
2007년 8월 8일	92.324	264.2	2107.5
2007년 8월 9일	193.31	722.8	12072.6
2007년 8월 9일	635.68	3344.7	183702.7

표 5. 실측에 의한 총 유사량 추정(내린천 유역)

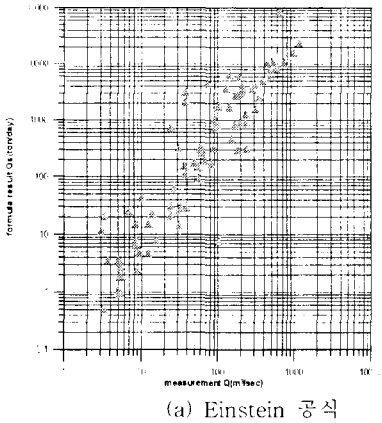
관측일자	유 량 (m³/s)	유사 농도 (mg/ℓ)	총유사량 (ton/day)
2003년 4월 30일	312.06	31.5	849.3
2003년 5월 8일	268.89	70	1,626.20
2003년 5월 20일	52.43	5	22.6
2003년 7월 18일	317.43	48.3	1,325.60
2003년 7월 22일	84.76	180.3	1,320.60
2003년 7월 23일	732.06	57.8	3,658.00
2003년 7월 24일	678.78	32.3	1,896.20
2003년 7월 25일	558.33	13	627.1
2003년 7월 25일	551.1	24.3	1,158.60
2003년 8월 25일	1330.5	38	4,368.50
2003년 9월 18일	630.6	64	3,487.00
2003년 9월 19일	921.28	282.7	22,499.00
2003년 11월 2일	16.12	3	4.2
2004년 4월 14일	17.04	7.5	11
2004년 4월 28일	184.64	51.5	821.6
2004년 5월 22일	71.98	11.83	73.6
2004년 6월 11일	17.64	8.5	13
2004년 7월 5일	179.57	7.67	119
2004년 7월 7일	172.45	63.83	951
2004년 7월 8일	307.66	165.17	4,390.50
2004년 7월 8일	282.21	18.83	459.1
2004년 7월 12일	802.01	79	5,474.20
2004년 7월 13일	2065.5	301.33	53,776.40
2004년 7월 13일	1502.9	107.17	13,916.50
2004년 7월 17일	282.53	58.3	1,423.10
2004년 8월 18일	287.53	69.5	1,726.60
2004년 8월 19일	811.01	160.67	11,258.30
2004년 8월 19일	615.57	160.5	8,536.20
2004년 9월 13일	341.75	38.33	1,131.80
2004년 9월 18일	527.59	20.17	919.4
2004년 10월 8일	29.4	10.16	25.8
2005년 6월 24일	17	19	27.9
2005년 7월 1일	292.4	81	2046.3
2005년 7월 1일	432.1	24	896
2005년 7월 20일	53.76	4.2	19.5
2005년 8월 11일	127.6	13	143.3
2005년 8월 11일	292.2	33	833.1
2005년 8월 20일	135.6	11	128.8
2005년 8월 25일	207.5	25	448.2
2005년 9월 13일	39.56	17	58.1
2005년 9월 14일	181.4	21	329.1
2005년 9월 15일	127.6	3.5	38.5
2005년 9월 22일	330.7	5.2	148.5
2005년 10월13일	41.99	4.7	17
2005년 10월27일	30.93	9.5	25.3
2006년 4월 22일	34.76	8.8	26.4
2006년 4월 22일	34.76	12.3	36.9
2006년 7월 2일	173.41	36.8	551.4
2006년 7월 2일	191.79	26	430.8
2006년 7월 2일	229.75	22.3	442.7
2006년 7월 6일	52.95	4.5	20.6
2006년 7월 14일	411.07	152.6	5420.7
2006년 7월 27일	568.76	420.3	20653.9
2006년 7월 27일	1278.1	391.8	43268
2006년 7월 28일	1003.2	226	19590.3
2006년 7월 28일	1045.8	177.2	16011.3
2006년 9월 16일	15.09	15.2	19.8
2006년 10월23일	285.84	494.2	12205.4
2006년 10월23일	109.06	110.9	1045.1
2006년 10월24일	109.06	48.3	455.1
2007년 4월 19일	30.1	13.5	35.1
2007년 5월 17일	93.5	381.2	3079.5
2007년 5월 20일	65	18.2	102.2
2007년 8월 4일	630.1	268.0	14590.1
2007년 8월 5일	324.6	1183.5	33191.8
2007년 8월 8일	118.6	111.7	1144.6

표 5. 계속

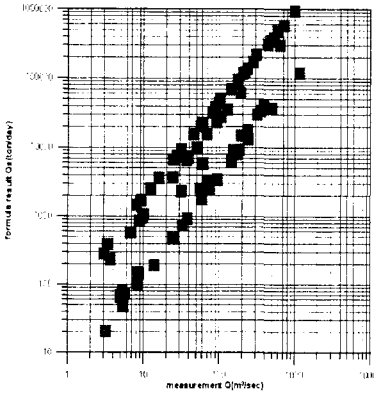
관측일자	유 량 (㎥/s)	유사 농도 (㎎/ℓ)	총유사량 (ton/day)
2007년 8월 8일	378.9	505.3	16542.0
2007년 8월 8일	444.8	810.2	31136.6
2007년 8월 9일	573.5	142.7	7070.8
2007년 8월 9일	674.9	518.8	30251.9
2007년 8월 9일	849.9	1080.0	79305.9
2007년 8월 9일	1265	1183.5	129351.8
2007년 8월 9일	1800.5	1222.8	190222.7
2007년 8월 10일	1308.1	246.3	27837.0
2007년 8월 20일	44.21	645.8	2466.8
2007년 9월 15일	473.8	97.7	3999.5
2007년 9월 15일	361.1	74.5	2324.3

4.2 이론식에 의한 총유사량 추정

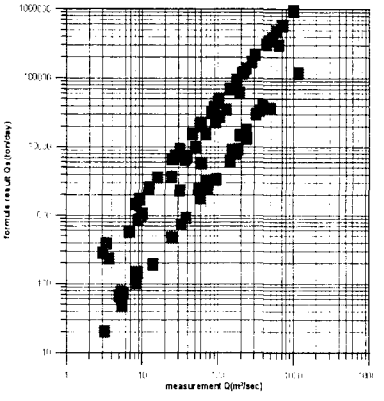
본 절에서는 실측 수리량을 이용하여 이론식에 의한 유사량을 산정하였으며, 본 연구에서 적용한 산정 식은 비교적 실무에서 많이 사용하는 Engelund & Hansen, Yang, Einstein의 3가지 공식을 이용하여 총유사량을 산정하였다. 아래 그림 3 ~ 4는 2003년부터 2007년 까지 5개년 동안의 실측한 수리량을 이용하여 산정한 총유사량을 그림으로 도시화 하였다.



(a) Einstein 공식

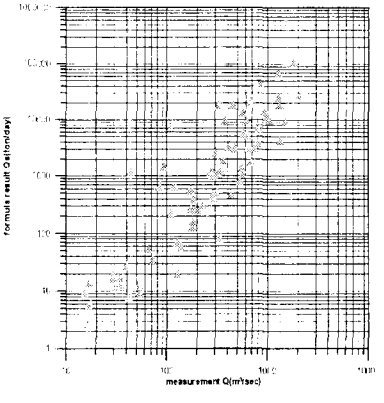


(b) Yang 공식

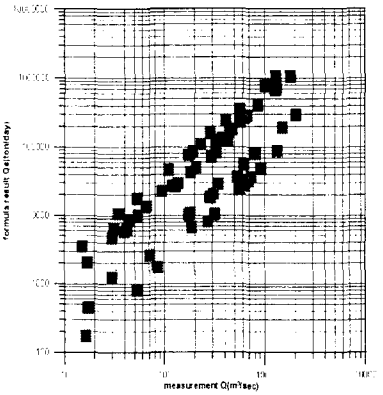


(c) Engelund & Hansen 공식

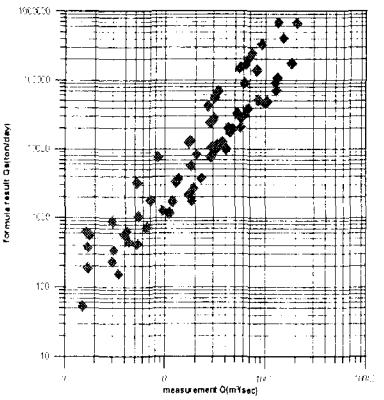
그림 3. 이론식에 의한 총유사량 추정(인북천)



(a) Einstein 공식



(b) Yang 공식



(c) Engelund & Hansen 공식

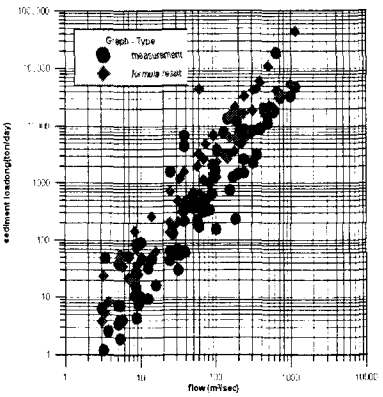
그림 4. 이론식에 의한 총유사량 추정(내린천)

4.3 실측에 의한 총유사량과 이론식에 의한 총유사량 비교

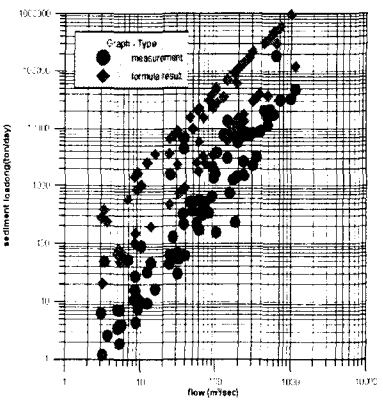
본 절에서는 실측 유사량과 이론식에 의해 산정된 총유사량을 비교하였으며, 비교결과 연구지점별로 살펴보면 인북천 유역에 비하여 내린천 유역이 큰 편차를 보였다. 이는 내린천 유역이 인북천 유역에 비하여 큰 유역면적, 급한 유속 등으로 인하여 내린천 유역이 큰 편차가 발생한 것으로 사료된다.

다음으로 산정식 간의 편차를 살펴보면, 인북천 유역과 내린천 유역 모두에서 Yang 공식의 산정값이 크게 발생하였다.

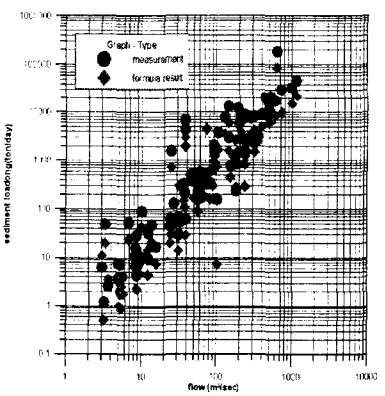
아래 그림 5 ~ 그림 6은 실측유사량과 이론에 의해 산정된 총유사량 값을 그래프로 나타낸 것이다.



(a) Einstein 공식

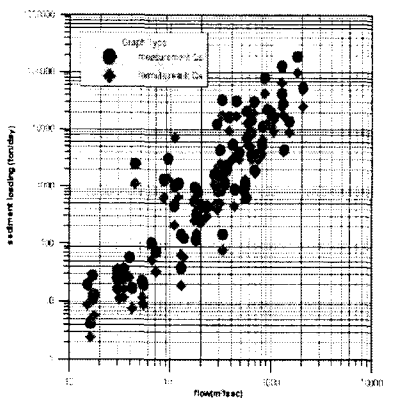


(b) Yang 공식

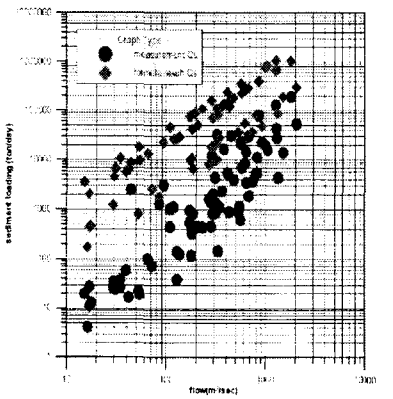


(c) Engelund & Hansen 공식

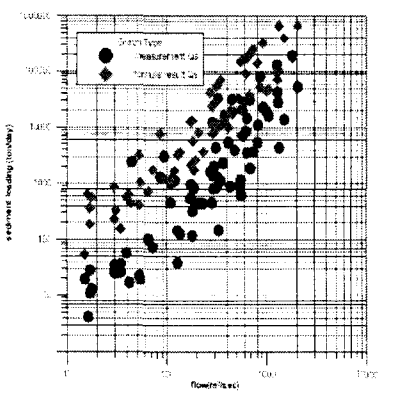
그림 5. 이론식 추정 유사량 - 실측치 산정 부유사량 비교(인북천)



(a) Einstein 공식



(b) Yang 공식



(c) Engelund & Hansen 공식

그림 6. 이론식 추정 유사량 - 실측치 산정 부유사량 비교(내린천)

4.4 총유사량 산정공식 선정

본 절에서는 유사량 산정공식 선정을 위하여 상관분석을 실시하여 실측유량으로부터 가장 신뢰성 있고 적합한 유사량 산정 이론식을 제시 하였다.

상관분석 결과, 인북천 유역, 내린천 유역 모두 상관계수(R)가 0.90이상으로 가장 높게 나타나 총유사량을 추정하기에는 두 지점 모두 Einstein 공식이 적정한 것으로 나타났다. 아래 표 6은 연구지점별 산정공식간의 상관계수를 표로 정리하였다.

표 6. 산정공식별 상관계수

산정공식 / 지점명	Data Number	Engelund - Hansen 공식	Yang 공식	(c) Einstein 공식
인북천 지점	82	0.32	0.45	0.99
내린천 지점	78	0.25	0.73	0.99

4.5 총유사량 산정공식 작성

앞 절에서 비교·분석한 결과를 토대로 이론에서 추정한 총유사량과 실측된 부유사량의 상관분석을 통하여 강원도 하천에 적정한 유사량 공식을 작성하였다. 작성 방법은 2003년부터 2007년까지 5개년 동안의 실측된 부유사량을 이용하여 실측된 부유사량과 가장 상관성이 높게 나타난 Einstein공식을 이용하여 총유사량 산정을 산정 후 회귀분석을 실시하여 강원도 하천에 적합한 유량 - 총유사량 관계식을 유도하여 제안하였다. 아래 표 7은 본 연구에서 제안한 회귀식을 나타내었다.

표 7. 유량 - 총유사량의 회귀식

지 점	회 귀 식	결정계수 (R^2)
내린천	$Qs = 0.0163 * Q^{1.9456}$	0.87
인북천	$Qs = 0.2635 * Q^{1.652}$	0.85

5. 결론

본 연구는 강원도 산지하천인 내린천과 인북천을 대상으로 2003년부터 2007년 5개년 동안의 실측 유사량 자료를 통하여 산지하천에서의 기존 유사량 산정식 적용의 문제점을 제시하고, 실측 유사량 산정 값과 기존 산정공식별 산정 값을 비교하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1) 기존 유사량 산정공식의 경우 실측 유사량 값과 큰 차이를 보이고 있어 강원도 같이 하상재료가 자갈 및 호박돌로 이루어진 강원도 하천에는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

2) 기존 유사량 산정공식의 경우 유역의 면적이 커질수록 산정공식간의 산정 값이 큰 편차를 보이고 있어 중규모 이상 유역의 경우 기존공식의 사용 및 적정공식 채택여부에 상당한 무리가 따를 것으로 보인다.

3) 하상의 재료 입경이 큰 강원도 하천의 경우 부유사의 이동 형태가 세류사 형태를 이루고 있어 상류유역의 유역특성 및 토지이용현황과 연계한 세부적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

4) 연구지점별 실측된 부유사량 자료를 토대로 총유사량을 산정하여 강원도 산지하천에 적합한 회귀식을 제안하였으며, 이를 이용하여 신뢰성 있는 산정 및 실측에 소요되는 많은 시간적, 경제적으로 도움이 될 것으로 보인다.

본 연구를 통하여 상기와 같은 결론을 정리할 수 있었으며, 본 연구지점과 유역특성 및 수리특성이 상이한 지점의 적용 시 세부적인 검토가 필요 할 것으로 보인다. 추후, 유량 - 총유사량의 관계식이 일반화 될 수 있도록 유역의 특성 및 토지이용형태, 수리특성의 영향을 고려한 연구가 진행되어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 강원도, "강원도 지방2급하천 유사량 산정기준 개발", 2007. 12.
[2] 강영복, "미계측 유역의 부유물질 예측을 위한 다중회귀식 개발", 강원대학교 대학원, 2006.
[3] 이석국, "유사량공식 적용에 관한 비교 연구", 강원대학교 대학원, 1996.
[4] 심규호, "강원도 하천에서의 유사량 산정에 관한 연구", 강원대학교 산업대학원, 1995. 8.
[5] 신동수, 김희종, 이용환, "한국 하천의 유사량 산정에 관한 연구", *한국수문학회지*, 제14권, 13호, 1994.
[6] 한국건설기술연구원, "하천유사량 측정 방법", 1994. 7.
[7] 한국건설기술연구원, "하천유사량 산정방법의 산정기준 개발", 1989.
[8] Einstein, H. A., "Formulas for the transportation of bed load", ASCE. VOL. 107
[9] Engelund, F. and Hansen. E., "A monograph on sediment transport in alluvial streams", Copenhagen, Teknisk florlag. 1967.