

15CTAP-C
105792-01

초음파 기반 유사량 측정 자동화 기술 구축 최종보고서

2016

국토교통과학기술진흥원
국토교통부

국 토 교 통 R&D Report

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()

국토교통기술촉진연구사업 제1차년도 최종보고서

발간등록번호

11-1613000-001538-01

R&D /
15CTAP-C105792-01

초음파 기반 유사량 측정 자동화 기술 구축 최종보고서

2016. 09. 09.

주관연구기관 / 단국대학교

비매품



국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

‘초음파 기반 유사량 측정 자동화 기술 구축 최종보고서’(연구개발 기간 : 2015. 12. 10 ~ 2016. 08.09) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2016. 9. 9.

주관연구기관명 : 단국대학교 산학협력단 (대표자) 박 성 완 (인)

주관연구기관책임자: 김 동 수

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	15CTAP-C10579 2-01	해당 단계 연구 기간	2015.12. 10.~ 2016. 08. 09.	단계구분	(1차년도)/ (1차년도)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	초음파 기반 유사량 측정 자동화 기술 구축 국제공동워크샵			
연구책임자	김 동 수	해당단계 참여 연구원 수	총: 8명 내부: 8명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부: 32,000천원 기업: 천원 정부 외: 천원 상대국부담금: 30,000천원 계: 62,000 천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 8명 내부: 8명 외부: 명	총 연구개발비	정부: 천원 기업: 천원 정부 외: 천원 상대국부담금: 30,000천원 계: 62,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	단국대학교 산학협력단			참여기업명	
국제공동연구	상대국명: 프랑스			상대국 연구기관명: Irstea	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다) 본 과제에서는 국내 최고의 하천 계측 연구진들과 국제적 수준의 하천 계측 기술을 보유하고 있는 프랑스의 Irstea 기관 연구진들이 함께 모여 국내 유사량 측정 기술의 선진화를 위한 자유로운 발표와 토론을 통해 국내 유사량 측정 기술에 대한 개선안을 도출하고자 함. 또한, 한국건설기술연구원의 안동하천실험센터에서 행사를 진행함으로써 연구 발표 및 토론뿐만 아니라 실규모 실험장에서 초음파 기반의 유사량 측정 기술을 직접 실습하고 개선안을 도출할 수 있는 기회를 갖고자 함.				보고서 면수 78	

연구의 목적 및 내용	- 본 연구에서는 국외의 초음파 기반의 유사량 측정 기술의 국내 보급을 위한 목적으로 초음파 기반 유사량 측정 기술에 대한 다양한 발표와 토론뿐만 아니라 실제 하천 실험을 통해 국내 하천 계측에 활용할 수 있는 기회를 마련하고자 함. - 본 행사의 가장 큰 특징은 형식적인 국제기술협력이 아니라 실질적으로 국제적으로 수준 높은 기술의 발표와 토론뿐만 아니라 소프트웨어 교육과 실규모 수리 실험을 통한 실습을 통해 국내 연구자들의 기술에 대한 이해도를 높일 수 있을 것으로 기대함. - 또한 국내 하천에 초음파 기반의 자동 유사량 측정 기술을 도입하기 위한 방안을 도출하여 연구 성과를 즉각적으로 실무에 반영할 수 있도록 노력할 예정임				
연구개발성과	- 세계적 수준의 초음파 기반의 하천 모니터링 기법 이해 - 국내 하천 유사량 조사 및 하도변화 현황 및 문제점 도출 - 초음파 기반의 유사량 측정 장비 및 기술 교육 - 초음파를 이용한 실규모 수리실험 - 초음파를 활용한 하천 유사량 측정 기술의 국내 도입 방안 논의 - 향후 프랑스와의 국제협력 방안 논의				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	- 국내 4대강 사업의 핵심 이슈로 대두되고 있는 하천의 침식 및 퇴적을 해석하는데 필수적인 유사량 산정의 효율화로 국가 수자원 정책 수립의 기반기술로 활용 가능 - 본 연구의 결과로 도출 예상되는 ADCP 활용 부유사 농도 측정 기법은 실무에 즉각 적용될 수 있는 기술로서 하천 유사량 측정에 적극 활용 가능 - 국제기술협력을 통한 초음파 활용 유사량 농도 측정 기법은 실무자가 ADCP 측정 직후 부유사 농도를 손쉽게 확인 및 저장할 수 있는 소프트웨어 개발로 상업화도 가능 - 본 행사를 통해 향후 하천 모니터링 분야의 국제적 기술을 프랑스의 Irstea 기관과 함께 연구할 수 있는 좋은 기회가 될 것이며, 좀 더 다양한 국제공동연구가 가능하게 될 것으로 기대				
핵심어 (5개 이내)	하천	유사량	초음파도플러 유속계	부유사 농도	음파 반사량

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	– This research aimed at making a fundamental for disseminating currently available acoustic-based suspended sediment observation techniques to domestic applications in terms of collaborative workshop and discussion with foreign institution (i.e., Irstea, France), where technical advances in this area were also attempted throughout real-scale field experiments. – The collateral workshop basically was designed to capitalize international level of technical cooperation in presentation and discussion as well as software education and real-scale experiment to enhance the understanding of domestic researchers. – Additionally, schematic derivation based on recent acoustic sediment measurement techniques will be formulated to project them in the practical applications in any actual situations.				
Results	– Understanding of international level of technical and theoretical achievement in acoustical SSC measurements – Problem statements for conventional domestic sediment measurements and circumstance in morphological variation – Education and introduction of instrumentation for measuring suspended sediment based on acoustics – Real-scale experiment for measuring suspended sediment using acoustics – Establishment of basis for future collaboration with Irstea, France				
Expected Contribution	– Efficient measurement of sediment using acoustics is highly expected to enable proper understanding interpretation of erosion and deposition process in the riverine environments, thereby contributing policy making of nation-wide water resources issues after four major river project – Acoustic sediment measurement technique will be able to be promptly applied to actually monitor sediment discharge in the field. – Dedicated software for acoustical sediment measurements throughout future international collaboration is expected to facilitate wide expansion of the developed theoretical techniques for users with minimum preparedness. – The workshop accomplished in this project contributed rigorously expanding human network between French and Korean experts for enhancing relevant technologies in various regards.				
Keywords	River	Sediment	Acoustics	Suspended	Backscatter

◁Contents▷

Chapter 1. Workshop Outline	1
Chapter 1. Technical Advancement Review	12
Chapter 2. Workshop Content and Output	17
Chapter 3. Achievement Evaluation and Relevant Contribution	43
Chapter 4. Plan for Future Applications and Cooperation	53
Chapter 5. Collected Scientific and Technical Information	55
Chapter 6. Security Level for Research Achievements	56
Chapter 7. Research Facility/Instruments Registered in NTIS	59
Chapter 8. Review Report from Organizing and Foreign Institution	60
Chapter 9. Safety Procedure Accomplishment in Workshop	61
Chapter 10. Others	64
Chapter 11. References	77

〈 목 차 〉

제1장. 행사 개요	1
제2장. 국내외 기술 개발 현황	12
제3장. 행사 수행 내용 및 성과	17
제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	43
제5장. 행사 성과의 활용 계획	53
제6장. 행사 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	55
제7장. 연구개발성과의 보안등급	56
제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황 ...	59
제9장. 행사에 대한 주관연구기관 및 상대국 참여기관 의견서	60
제10장. 행사 수행 과정에서의 안전 조치 이행 실적	61
제11장. 기타 사항	64
제12장. 참고 문헌	77

제1장. 행사 개요

1. 행사명

- Hydro-acoustical Suspended Sediment Measurements

2. 행사 주제

- 본 행사의 주제는 최근 국내에서 유량측정의 목적으로 활발하게 활용되고 있는 **초음파 도플러유속계를 이용한 부유사량 측정 기술을 개발**하기 위한 행사로 국제적 수준의 프랑스 기관과의 기술협력 워크숍 및 회의 개최를 통한 국내 하천 유사량 측정 기술의 선진화 및 국제기술협력 네트워크를 강화하는데 있음

3. 행사 일시

가. 행사 일시

- 2016년 7월 18일 ~ 2016년 7월 22일(4박 5일)

4. 행사 장소

- 행사 장소는 **한국건설기술연구원 안동하천실험센터**로 국제적인 수준의 실규모 수리실험시설 및 장비를 갖추고 있고, 정밀한 수리조건하에 실제하천에서의 흐름을 구현할 수 있어 실제하천과 유사한 하천환경에서 정밀한 측정이 가능함
- 본 행사를 국제적 수준의 실규모 실험시설을 보유하고 하천실험센터에서 개최함으로써 연구주관기관인 단국대와 프랑스 Irstea기관과의 국제협력뿐 아니라 국내의 연구진들도 함께 공유할 수 있는 기회를 마련하고자 함
- 또한, 행사과정에서 단순히 발표를 통한 국제협력이 아니라 실규모 하천실험을 통해 하천계측관련 최신장비들을 연구진들이 직접 사용해보고 추후에는 실험결과를 함께 분석하고 공유함으로써 지속적인 국제 협력관계를 구축하여 국제적인 수준의 연구 성과를 도출할 수 있을 것으로 기대



한국건설기술연구원 안동하천실험센터



하천계측장비를 활용한 실규모 하천실험

5. 주최자

- 본 행사의 주최자는 단국대학교 김동수교수로 다음과 같이 초음파도플러유속계를 활용한 하천 수리량 측정 기술에 대한 국제적 수준의 성과를 도출하였음
 - ADCP 후처리 프로그램인 AdcpXP를 개발·보급하여 전 세계적으로 활발히 사용 중
 - AdcpUA - AIAA uncertainty 기법을 이용한 ADCP 불확도 평가 소프트웨어 개발
 - USGS, Army Corp. of Engineering과 공동으로 ADCP 후처리 프로그램인 VMS 소프트웨어 개발
 - Muste, M., Kim, D. S., and González-Castro, J. A. (2010). “Near-Transducer Errors in ADCP Measurements: Experimental Findings.” Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 136, No. 5, pp. 275-289.
 - Kim, D. (2012). “Assessment of longitudinal dispersion coefficients using Acoustic Doppler Current Profilers in large river.” Journal of Hydro-environment Research, Vol. 6, No. 1, pp. 29-39.
 - Muste, M., Kim, D., Merwade, V. (2012). “Modern Digital Instrumentations and Techniques for Hydrodynamic and Morphologic Characterization of River Channels.” Gravel-Bed Rivers: Processes, Tools, Environments.
 - Yu, K., Yoon, B., and Kim, D. (2014). “Re-evaluation of change of mean velocity profiles in turbulent open-channel flows due to introducing sediment particles.” KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 18, No. 7, pp. 2261-2267.
 - Kim, D., and Muste, M. (2012). “Multi-dimensional representation of river hydrodynamics using ADCP data processing software.” Environmental Modelling & Software, Vol. 38, pp. 158-166.
 - 김종민, 김서준, 손근수, 김동수* (2015) “ADCP 정지법 측정 시 미계측 영역의 유량 산정 정확도 분석.” 한국수자원학회논문집, 48(7), pp. 553-566.
 - 김종민, 김동수, 손근수, 김서준* (2015) “ADCP를 이용한 직선 하천의 유속 및 수심 측정 정확도 분석.” 한국수자원학회논문집, 48(5), pp. 365-375.

6. 상대국 기관

가. 소개

- 본 행사의 상대국 기관인 프랑스의 Irstea는 National Research Institute of Science and Technology for Environment and Agriculture의 약자로 환경과 농업에 관련된 연구를 종합적으로 수행하고 있는 기관으로 수자원 분야에서 주요 연구 범위는 유역 범위 내 인간 활동을 위해 물 관리 및 관련 위험, 가뭄, 홍수, 침수 등 수공학분야의 주요 이슈를 실제 계측을 통해 30년 이상 연구해 온 기관임

- 또한 Irstea는 하천계측분야의 다수의 연구를 수행하고 있으며, 최신 하천유사계측 장비인 다중 주파수를 이용한 초음파계측장비를 활용해 하천의 유사계측을 위한 다수의 연구를 수행한 바 있음
- 따라서, Irstea와의 국제협력을 통해 초음파 기반 유사계측관련 축적된 자료와 기술들 서로 공유하고 세계적으로 우수한 실규모 하천실험 시설을 보유하고 있는 한국건설기술연구원의 안동하천실험센터에서 공동 실험을 통해 향후 지속적인 협력이 이루어질 수 있을 것으로 기대

나. 하천 유사량 계측 관련 연구 성과

- 본 행사를 같이 진행하고자 하는 프랑스의 Irstea 기관 연구진들은 지금까지 다수의 초음파를 이용한 하천 유사량 산정 연구를 진행하여 다음과 같은 국제적인 성과들을 도출함.
- Dramais, G., Camenen, B., Le Coz, J., Peteuil, C., Fretaud, T. - 2015. Discharge and sediment measurements in the Middle Mekong River - August 2013 - Field measurement between Luang Prabang and Xayaburi. Technical report, 56 p.
- Tiron Duțu, L., Provansal, M., Le Coz, J., Duțu, F. (2014) - Contrasted sediment processes and morphological adjustments in three successive cutoff meanders of the Danube Delta, *Geomorphology*, 204, 154-164.
- Moore, S.A., Le Coz, J., Hurther, D., Paquier, A. (2013) - Using multi-frequency attenuation to monitor grain size and concentration of suspended sediment in rivers, *Journal of the Acoustical Society of America*, 133 (4), 1959 - 1970.
- Dramais, G., Dussouillez, P., Moore, S.A., Le Coz, J., Camenen, B. (2013) - Study of the sediment fluxes of the Lower Mekong River: 2012 September 25 to October 6th field mission, technical report for the World Wildlife Fund.
- Moore, S.A., Le Coz, J., Hurther, D., Paquier, A. (2012) - On the Application of Horizontal ADCPs to Suspended Sediment Transport Surveys in Rivers, *Continental Shelf Res.*, 46, pp. 50-63.
- Tiron Jugaru, L., Le Coz, J., Provansal, M., Panin, N., Raccasi, G., Dramais, G., Dussouillez, P. (2009) - Flow and sediment processes in a cutoff meander of the Danube Delta during episodic flooding, *Geomorphology*, 106(3-4), pp. 186-197.

다. 하천 유사 관련 수행중인 연구

- 또한 현재 프랑스의 Irstea 기관 내 수리·수력 연구실에서는 하천 유사량 측정과 관련된 다음과 같은 과제들을 수행 중에 있음.
- Rhône Sediment Observatory (OSR, 2009-2017): a regional research programme focussing on the morphodynamics and particulate contaminant fluxes in the Rhône river from Lake Geneva to the Mediterranean Sea.

- FLUMAS project (Fluxes of matters through the Solimoes-Amazon system, 2014-2017, 67 k€) in collaboration with the French Research Institute for Development (IRD) and the University of Manaus (Brazil, N. Filizola), within the HyBAM observatory for the Amazon (cf. PhD of Elisa Armijos).
- Deployment and post-processing of three field campaigns aiming at quantifying the sediment fluxes in the Mekong (2012, 2013) and the Amazon (2014), especially the suspended sand transport using hydro-acoustic technologies (AQUASCAT, ADCP at 300, 600 and 1200kHz).

7. 참석대상 및 참석인원

가. 참석대상

- 본 행사의 참석대상 인원은 하천 계측 분야의 연구를 수행하고 있는 국내 대학과 국내 하천 조사관련 실무진, 연구 기관(한국건설기술연구원, 유량조사사업단 및 홍수통제소 등)의 연구원들을 대상으로 행사를 개최

나. 참석인원

- 행사기간동안 참석한 참석인원은 총 41명으로 프랑스 수문조사 기관인 Irstea의 하천 유사전공 연구원 2명과 국내의 하천 계측 관련 연구진들과 대학기관의 연구진들이 행사에 참여함
- 본 행사에 참여한 인원은 다음과 같음



행사개최

방명록

1st Korea-France International Joint Workshop

순번	소속	직위	성명	서명
1	Dankook University	Student	이경현	이경현
2	Dankook University	student	김경동	김경동
3	한국외대	박사과정	신종민	신종민
4	Dankook University	Ph.D. Student	Yoon, Hyeon	윤현
5	한국외대	박사과정	문근우	문근우
6	Dankook University	Student	장재훈	장재훈
7	Chonnam National University	Graduate	Chonnam	Chonnam
8	Adrian Verwee	PHD student	VERVEE	VERVEE
9	한국과학기술원	연구원	김서준	김서준
10	한국과학기술연구원	연구원	김지현	김지현

방명록

1st Korea-France International Joint Workshop

순번	소속	직위	성명	서명
1	Myungji University	Ph.D. student	Byeon Hyeon Hyeon	Byeon Hyeon Hyeon
2	자평과학고	연구원	최민상	최민상
3	안동대학교	학생	전경석	전경석
4	자평과학고	연구원	김정현	김정현
5	한국과학기술원	연구원	김종현	김종현
6	자평과학고	연구원	김연희	김연희
7	안동대학교	학생	정기승	정기승
8	안동대학교	학생	이영희	이영희
9	KICT	연구원	구경수	구경수
10	자평과학고	연구원	김재현	김재현

방명록

1st Korea-France International Joint Workshop

순번	소속	직위	성명	서명
1	함원대학교	박사과정	이경수	이경수
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

행사 참석자 방명록

방명록

1st Korea-France International Joint Workshop

순번	소속	직위	성명	서명
1	KICT	연구원	이주형	이주형
2	한국과학기술원	연구원	장재현	장재현
3	HSC	연구원	김현성	김현성
4	명지대	박사과정	양재훈	양재훈
5	KICT	연구원	자문	자문
6	KICT	주임	나유영	나유영
7	창원대학교	박사과정	곽성현	곽성현
8	명지대학교	박사과정	변정현	변정현
9	명지대학교	박사과정	배민혁	배민혁
10	영국대학교	박사과정	안영희	안영희

방명록

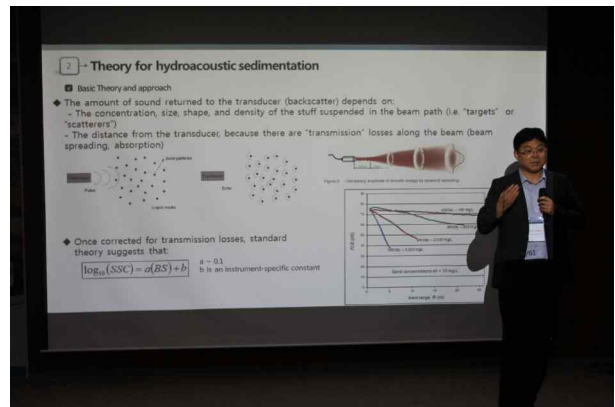
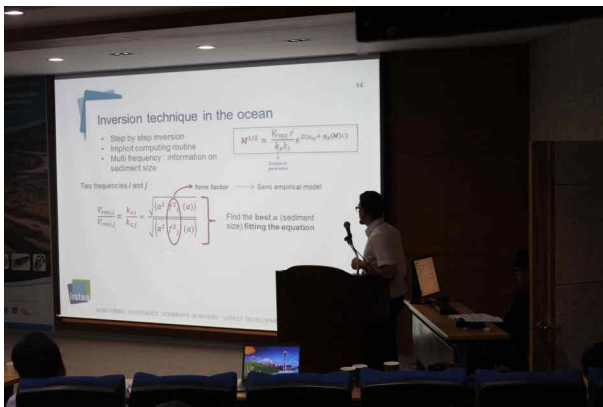
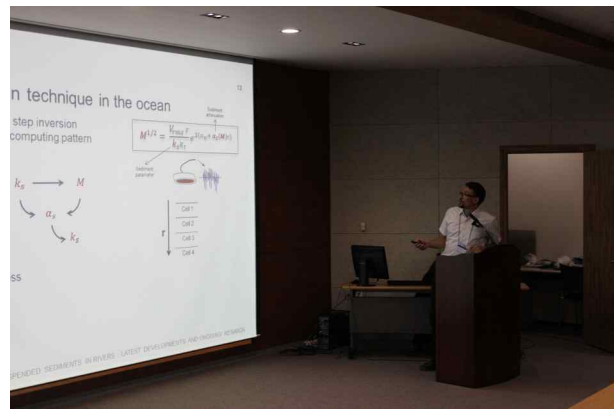
1st Korea-France International Joint Workshop

순번	소속	직위	성명	서명
1	Dankook University	student	최승우	최승우
2	Myungji University	student	조민상	조민상
3	명지대학교	학생	김희정	김희정
4	한국과학기술원	연구원	이주형	이주형
5	안동대학교	학생	김동현	김동현
6	안동대학교	학생	장기성	장기성
7	안동대학교	학생	장태현	장태현
8	한국과학기술원	연구원	김성동	김성동
9	한국과학기술원	연구원	김봉규	김봉규
10	한국과학기술원	연구원	문준비	문준비

8. 주요 참석자(발표자, 좌장, 주요 참석자 등)

가. 발표자

	성명	소속	부서	직위	전공분야	참석형태
한국	김동수	단국대학교	토목환경공학과	교수	수공학	발표자
	여홍구	한국건설기술 연구원	수자원·하천 연구소	연구 소장	수공학	발표자
	장창래	한국교통 대학교	토목환경공학과	교수	수공학	발표자
	지운	한국건설기술 연구원	수자원·하천 연구소	수석연구원	수공학	발표자
	강준구	한국건설기술 연구원	수자원·하천 연구소	연구위원	수공학	발표자
	류용욱	한국건설기술 연구원	수자원·하천 연구소	수석연구원	수공학	발표자
	김창성	유량조사 사업단	하천연구실	선임연구원	수공학	발표자
상대국	Adrien Vergne	Irstea	Recherche Hydrologie-Hydra ulique (수리·수력 연구실)	Researcher		발표자
	Guillaume Dramais			Researcher		발표자



행사 진행 및 발표

나. 좌장

- 발표 세션: 김동수(단국대학교)
- 실험 세션: 김서준(자연과학기술)

다. 주요 참석자

- 이두한(한국건설기술연구원)
- 여홍구(한국건설기술연구원)
- Dramis Guillaume(Irstea)
- Adrien Vergne(Irstea)
- 장창래(한국교통대학교)
- 지운(한국건설기술연구원)
- 강준구(한국건설기술연구원)
- 김창성(유량조사사업단)
- 류용욱(한국건설기술연구원)

9. 프로그램

- 2016년 7월 18일 ~ 2016년 7월 22일(4박 5일)
- 본 행사는 총 4개의 세션으로 구분하여 행사를 수행함
- 행사 관련 일정은 다음과 같음

표 7 행사일정

Monday, July 18, 2016		
13:00		Registration
Tuesday, July 19, 2016		
09:00	Dong-Su Kim	Introduction to the joint seminar
09:20	Hong-Koo Yeo	Welcome addresses from KICT
09:40	Coffee break	

Session 1: Introduction and application of hydro-acoustical suspended sediment measurement		
10:00	Dramais Guillaume	Sediment fluxes in large rivers
10:40	Adrian Vergne	Introduction to acoustic measurements of suspended sediment concentration
11:20	Dong-Su Kim	Estimation of suspended sediment concentration in small stream with acoustic backscatter from horizontal ADCP based on real-scale field experiment
12:00	Lunch	
13:00	Adrian Vergne	Monitoring suspended sediments in rivers with acoustic instrument: latest developments and ongoing research
13:40	Chang-Lae Jang	Experimental investigation of the effects of vegetation on stream morphodynamics
14:20	Ji Un	Risk assessment of soil erosion, sediment transport, and net elevation change in the watershed
15:00	Coffee break	
15:40	Joon-Gu Kang	Experimental projects conducted in KICT River Experiment Center
16:20	Chang-Sun Kim	Hydrological survey in korea-sediment load & river morphological changes measurement
17:00	Yong-Uk Ryu	Site tour
18:00	Dinner	
Wednesday, July 20, 2016		
Session 2: Introduction of hydro-acoustic instrumentation and software		
09:00	Adrian Vergne	Introduction of acoustic instrumentations for suspended sediment measurement
10:00	Dong-Su Kim	Software demonstration for hydro-acoustic suspended sediment measurement
12:00	Lunch	
Session 3: Real-scale field experiment for hydro-acoustical suspended sediment measurement		
13:00	Seo-Jun Kim	Field experiment for sediment in KICT facility with LISST, SL3000, and ADCP
19:00	Dinner	
Thursday, July 21, 2016		
Session 3: Real-scale field experiment for hydro-acoustical suspended sediment measurement		
09:00	Seo-Jun Kim	Field experiment for sediment in KICT facility with LISST, SL3000, and ADCP
12:00	Lunch	

13:00	Seo-Jun Kim	Field experiment for sediment in KICT facility with LISST, SL3000, and ADCP
19:00	Dinner	
Friday, July 22, 2016		
Session 4: Data analysis of real-scale field experiment and future collaboration		
09:00	Seo-Jun Kim	Preliminary data analysis of the field experiment
09:30	Adrian Vergne	Estimating Current limitations for the field experiment
10:00	Dramais Guillaume	Future plan for real-scale field experiment in KICT REC
10:30	Dong-Su Kim	Strategy for practical implementation toward domestic applications
11:00	Overall discussion for future collaborations	
11:30	Dong-Su Kim	Closing comment



제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 기존 하천 유사량 측정 현황 및 문제점

- 하천의 유사량은 유사이송해석에 필수적인 요소로 하천의 흐름 변화 및 하상 변동을 해석하고, 하천 구조물의 설계, 수자원 개발 및 관리 등 하천계획의 전반에 있어 필수적인 자료임 (Woo et al., 2015)
- 하지만 국내의 경우 여름철 집중호우로 하천에 유사량이 증가하는데, 홍수기 부유사 측정은 유속이 매우 빨라져 유사량의 현장 직접 관측이 매우 어렵고 현장 요원들의 측정의 위험성, 고비용으로 경제적이고 지속적인 현장 측정을 수행하기 어려운 실정
- 특히, 4대강 사업과 같은 하천 환경이 지속적으로 변화할 것으로 예상되는 하천은 준설 단면의 유지, 다기능보의 침식·퇴적 문제, 두부침식 등의 하상변동과 관련된 문제가 지속적으로 발생할 수 있는 가능성이 있어 시공간적인 변화를 추적할 수 있는 지속적인 유사량 정보가 요구됨
- 하천에서 총유사량 (Total sediment load)은 이론적으로 유사가 수중에 부유하여 이동하는 부유사량 (suspended load)과 하상에 인접하여 이동하는 소류사량 (bed load)을 합한 것으로 홍수기에는 부유사가 지배적으로 발생하여 소류사량을 무시하여 적용하는 경향이 있지만, 정확한 총 유사량 산정을 위해 소류사량도 측정하여 부유사량과 합하여 유사량을 측정할 필요가 있음
- 지금까지 부유사량 (suspended load) 관측은 재래식 부유사량 채집기 (Sediment Sampler)를 활용한 직접 조사 방식이 주로 활용되고 있는데 (Jung, 2008), 홍수기의 경우 채집된 부유사량만을 활용하여 하천의 총 유사량을 추정하고 있어 측정값의 신뢰도에 문제가 있음
- 부유사량 채집기를 활용한 방법은 현장 계측이 매우 어렵고 홍수기의 경우 매우 위험하며 많은 인력, 시간, 비용이 소모되어 지속적인 유사량 계측이 어렵고, 관측 신뢰도도 낮은 경향을 보이고 있고 (Choi et al., 2007), 부유사량만을 측정하여 유사량을 산정해 평수기 유사량 측정의 정확도가 다소 떨어지는 문제점이 있음



재래식 부유사 채집기 및 직접 현장 측정 방식

- 소류사량 (Bed load sediment)의 측정은 일반적으로 측정인력이 현장에서 물속에 직접 들어가서 채집하는데 유속이 빠른 홍수기의 경우 소류사량의 실질적인 관측이 불가능하여 부유사 측정값을 바탕으로 수정 아인슈타인 방법 등 이론적인 방법을 통해 간접적으로 유사량을 산정하고 있음 (Colby et al., 1961)



(a) 소류사 채집기



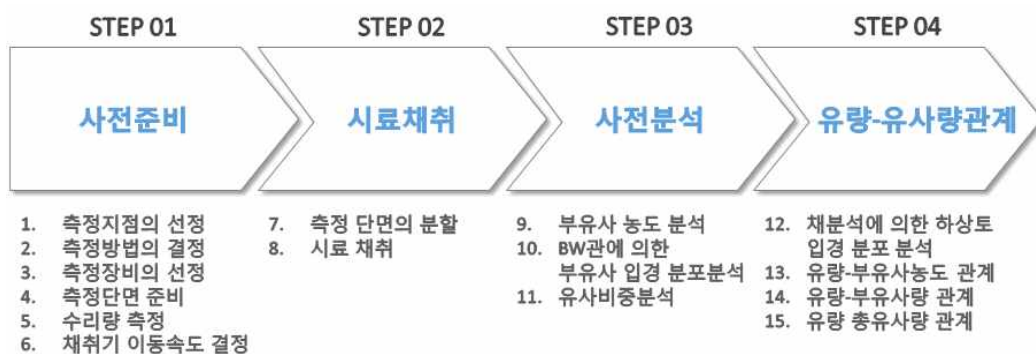
(b) 소류사 현장 채집 방식

재래식 소류사량 현장 측정

- 다음과 같이 채집기를 이용한 직접 측정 방식은 다수의 인력과 비용이 수반되어 측정 지점을 획기적으로 늘리거나 측정 가능 조건에 제한이 있어 새로운 유사량 측정 방법의 도입이 필요

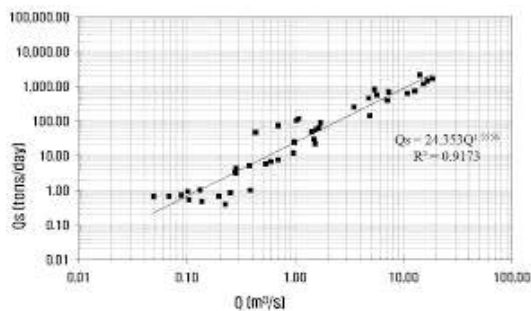
2. 국내 유사량 측정 기술 현황

- 국내의 유사량 측정방법은 부유사 채집기를 활용한 직접 계측기법을 사용하고 있고 계측된 부유사 자료들의 농도를 분석하기 위해 실험실에서 증발법과 여과법 등을 통해 부유사 평균 농도를 계산하고 이를 이용하여 총 유사량을 추정
- 국내 유사량 조사를 수행하는 국내 수문조사기관에서 수행하는 하천의 유사량을 산정하는 방법은 많은 시간이 소요되고 효율성이 매우 낮아 일부 지점을 제외하고 관측의 공간적 시간적 분포가 매우 제한적으로 수행됨

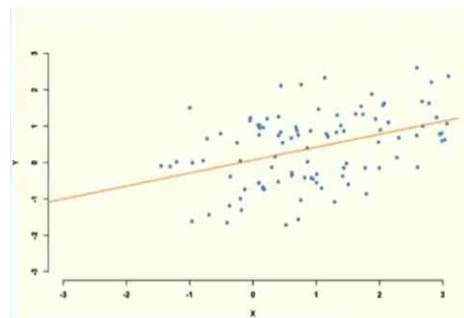


국내 유사량 조사 방법

- 또한, 하천의 소류사 측정은 부유사 측정에 비해 상대적으로 어렵고 정확도 또한 부유사의 경우보다 낮아 일반적으로 측정을 수행하지 않음
- 따라서 기존의 방법에 대비하여 부유사와 소류사를 산정할 수 있는 새로운 유사량 계측기술의 개발과 확립이 절실한 실정
- 국내에서는 지속적인 유사량 관측의 어려움으로 인해 유량-부유사 관계곡선을 통해 유량 대비 유사량을 간접으로 추정하여 활용하는 방식이 유사모델링과 하천계획 실무에서 광범위하게 활용
- 그러나, 국내 하천은 홍수기를 거치면서 하상변동 등 하천의 수리학적 특성이 변화하여 관계식을 주기적으로 재구축해야 하거나, 현장에 따라 유량과 유사량의 관계가 일정하지 않아 신뢰도가 매우 낮아 기법의 적용 안정성이 현저히 낮은 상황
- 또한, 재래식 부유사 채집 방식의 불확도가 매우 높아 직접 측정 유사량 자료의 신뢰도가 낮아 관계식 구축 자체가 무의미한 경우가 다수 존재하나, 대체할 수 있는 기술 개발의 미비로 상존하는 문제의 인식에도 불구하고 불가피하게 현업에서 적용되고 있는 문제점이 있음



(a) 유량-유사량 관련성이 높은 사례



(b) 유량-유사량 관련성이 낮은 사례

유량-유사량 관계곡선

3. 국외 기술개발 현황

- 부유사채집기를 이용한 하천 부유사 직접 채집은 가장 정확하다고 알려져 있지만, 시료를 채집하는데 많은 시간과 인력이 소모되고, 1개 지점을 1회성 측정을 하며, 채집된 시료를 실험실에서 분석을 통해 부유사 농도를 산정할 수 있어 측정이 어려운 문제가 있음
- 최근 해외에서는 1회성 지점 측정 방식으로 부유사채집기의 대안으로 광학식 탁도계 (OBS: Optical Backscatter Sensor), 레이저부유사측정기 (LISST: Laser In-Situ Scattering and Transmissometry) 등이 개발되어 사용되고 있음
- Optical Backscatter Sensor(OBS)는 광학식 탁도계로 후방산란방식으로 계측한 탁도의 농도와 부유사의 관계를 통해 부유사량을 추정하는 방법을 사용하는데 다음의 방법은 하천의 부유사의 입자크기에 민감하여 하천마다 실제 부유사량을 구해 보정하는 작업

이 필요해 단독으로 사용하는 데는 어려움이 있음

- 레이저부유사측정기는 유사 입자의 크기와 모양에 따른 레이저에서 방사된 빛의 회절 양이 상이함을 이용하여 입도 분포 및 지점 부유사량을 기존 채래식 채집기에 비해 매우 정확하고 신속하게 측정이 가능 (Sequoia, 2012).
- 레이저부유사측정기는 기존의 채집기와 달리 현장에서 측정된 결과를 바로 분석할 수 있어 실험실에서 별도 분석 과정 없이 부유사 농도를 구할 수 있는 장점이 있지만 부유사측정기도 한 지점의 부유사 농도를 산정하기 때문에 실제 현장에서 사용하는데 많은 시간이 소요되고 다지점에서의 부유사 농도의 공간적인 분포를 확인하는 데는 어려움이 있고 1회성 측정에 그쳐 지속적 측정에 한계가 있음
- 최근 대안으로 ADCP의 반사율을 이용해 부유사 농도를 관측하는 기술이 해외에서 시도되고 있음. ADCP를 이용한 유사량 측정 방법은 ADCP에서 발사되는 초음파가 수중의 부유사에 의해 반사되는 비율 (Acoustic backscatter)과 직접 채집한 부유사 농도의 관계식을 구축하여 부유사 농도를 간접적으로 추정하여 부유사량을 산정하는 방법임 (Thorne et al., 2007; Houtink et al., 2005; Gartner, 2004; Guerrero et al., 2015)
- ADCP는 하천을 신속하게 횡단하면서 효율적으로 유속과 유량을 측정할 수 있어 최근 실시간 지속적 유량 관측, 수위-유량 관계식 구축을 위한 정확한 유량 관측을 위해 대부분의 유량조사기관에서 광범위하게 활용되고 있는 장비로 (Lee et al., 2005), 유사량 측정 기술에 도입이 가능하다면 유사량 측정지점의 수를 획기적으로 늘릴 수 있을 것으로 기대됨
- ADCP의 초음파 반사도를 활용한 부유사 농도 측정 연구에서 Thorne et al. (1992)은 초음파의 반사 강도에서 부유물질 농도를 산출하는 기본식을 발표하며 주목을 받았으며, Deines et al. (1999)는 ADCP의 초음파 전송 특성으로부터 후방 산란 강도를 산정할 때의 기기 특성에 관한 기술을 홈페이지에 공표한 바 있음
- 그리고 RDI (1996)사는 초음파의 반사 강도가 수중 현탁물 농도와 상관이 있음을 제시하였고, 초음파의 반사강도를 변환할 때는 수체 흡수, 음향 확산, 전송 동력, 산란 계수 등을 고려할 필요가 있다고 제시함
- 실제로 미국의 유사량 조사기관에서는 2006년 New York의 Hudson강에서 초음파유속계를 이용한 유사량 측정을 실시하여 가능성을 확인하였지만 (Wall et al., 2006), Guerrero et al. (2013)는 Parana 강에서의 측정을 통해 ADCP를 이용한 부유사 측정 방법은 부유사의 입자크기에 매우 민감할 수 있다고 지적한 바 있음
- 이러한 대부분의 해외 연구사례는 초음파 부유사 반사도와 직접 계측한 지점 방식의 부유사 농도의 관계식을 구축하여 유사량을 추정하는 데 주안점을 두었으나 하천 환경에 따라 정확도가 낮은 경우가 발생하여 아직 실무에 정식 채택되어 활용되고 있지 않은 상황으로 정확도 개선을 위한 다양한 추가 연구가 요구되고 있는 상황
- 즉, 유사의 입도분포, 하천의 유황에 따른 수리학적 특성인 난류, 조도 등을 고려하여 초음파 반사율과 실제 관측 유사량과의 관계를 규명해야 한다는 방향제시가 되고 있음
- 다음과 같은 한계에도 불구하고 국외에서는 계속 초음파도플러유속계의 초음파반사도를 지표로 하는 부유사 농도 (혹은 유사량)의 산정 방법에 대한 연구가 활발히 진행되

고 있음.

- 수평초음파도플러유속계 (H-ADCP)를 활용할 경우 동일 횡단면에서 유속 및 유량과 함께 부유사 농도를 측정할 수 있어 지속적인 유사량 측정이 가능한 장점이 있고, 이 동형 ADCP를 이용하여 횡단면의 부유사 농도의 공간분포 측정이 가능하다면 하천계 측 분야의 매우 중요한 기초자료를 제공함과 동시에 하상변동의 주요 메커니즘을 밝히는데 매우 중요한 자료로 활용될 수 있음
- 또한, 경제적인 측면에서 초음파도플러유속계를 이용한 부유사 산정 방법은 유량 및 유속 관측을 위해 최근 활발하게 설치 및 이용되고 있는 ADCP를 활용하여 부유사량 측정이 가능하기 때문에 별도의 설치가 필요하지 않아 경제적으로 유리하고 많은 지점의 부유사량 측정할 수 있는 장점이 있음
- 하지만, 초음파를 이용한 부유사 측정 기법의 검증은 주로 실제 하천에서 검증되어 하천 현장에 따라 관련 기술의 적용의 한계가 있어 정밀한 측정을 통해 초음파를 이용한 측정 기법의 이론의 개발 및 개선이 필요한 실정으로 아직까지 상용화되지는 못함

제3장. 행사 수행 내용 및 성과

1. 행사 수행 내용

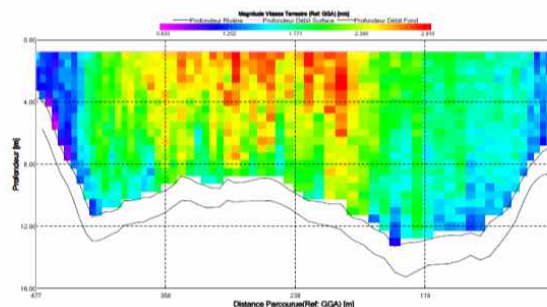
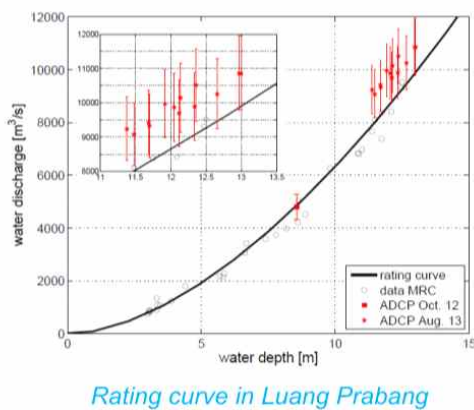
가. Session 1: Introduction and application of hydro-acoustical suspended sediment measurement

- 세션 1에서는 초음파를 활용한 유사량 측정 방법의 소개와 실제 하천에서의 적용 및 실제 하천에서의 유사에 의한 하천 환경의 변화, 국내 하천 유사량 측정의 대한 전반적인 소개 등 하천 유사와 관련된 주제로 이루어짐
- 발표자 별 주요 발표내용은 다음과 같음

○ Sediment fluxes in large river(Dramais Guillaume)

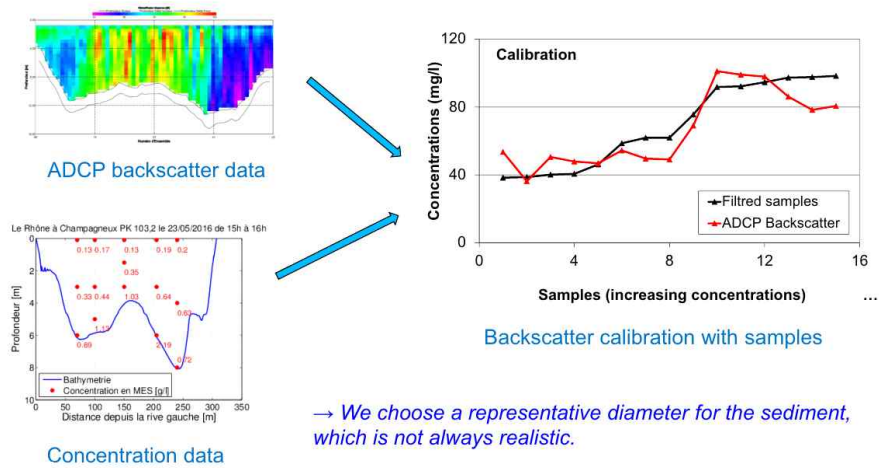
- Irstea에 대한 소개 및 연구진에서 수행한 하천 유사량 측정 사례 소개
- 초음파 도플러를 활용한 실제 하천에서의 수리량 측정 및 유사량 측정

- Gaugings with ADCPs coupling with GPS to get flows, velocities, bathymetry, backscatter, bottom track

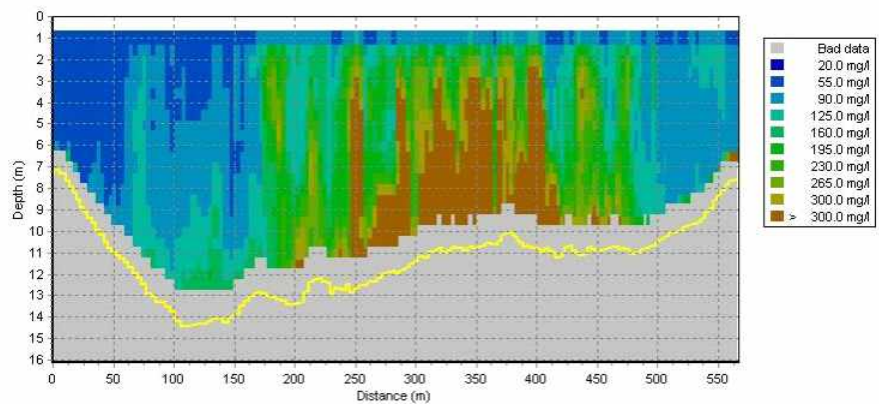


초음파도플러유속계를 활용한 실제하천에서의 측정

- 부유사 샘플러, LISST-Portable을 활용한 유사량 측정 결과와 초음파도플러유속계의 초음파 반사율과의 상관관계 분석



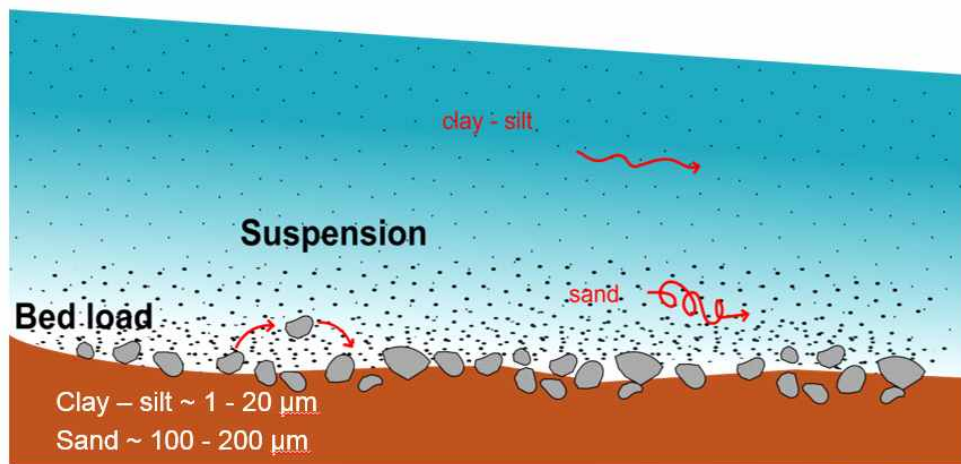
초음파 반사도와 부유사농도의 상관관계 분석



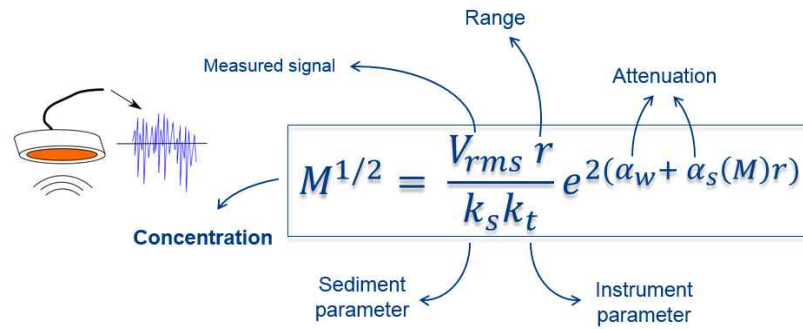
초음파 반사도를 활용한 하천의 부유사농도 예측

○ Introduction to acoustic measurements of suspended sediment concentration(Adrian Vergne)

- 초음파를 이용한 유사량 측정의 기본 이론 및 측정 원리 소개



부유사와 소류사에 관한 기본 이론



초음파 반사도를 활용한 부유사농도 측정 원리

- Estimation of suspended sediment concentration in small stream with acoustic backscatter from horizontal ADCP based on real-scale field experiment(Dong-Su Kim)

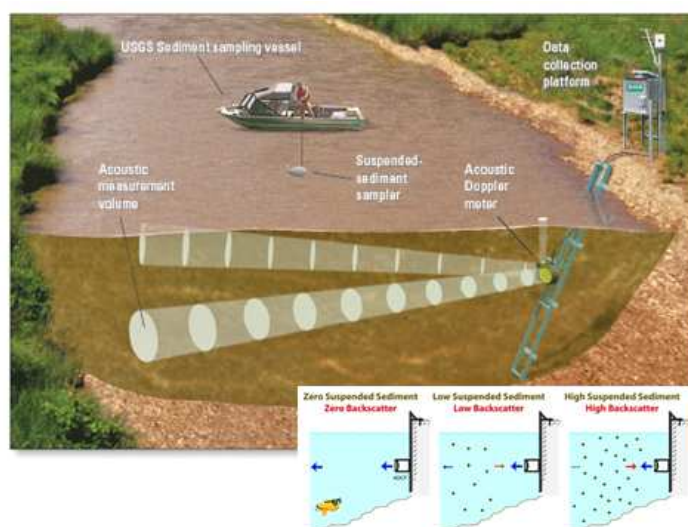
- 기존의 하천 부유사 측정 방법 소개 및 한계점 소개



→ Very difficult, time and cost-consuming, labor intensive, high uncertainty, possibly not in real-time!

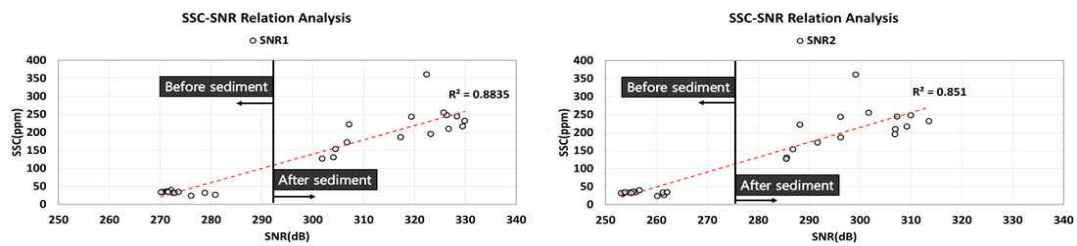
기존 하천 부유사 측정 방법

- H-ADCP를 이용한 측정 방법의 원리 및 국내외 연구 동향



H-ADCP를 활용한 하천의 부유사농도 계측 원리

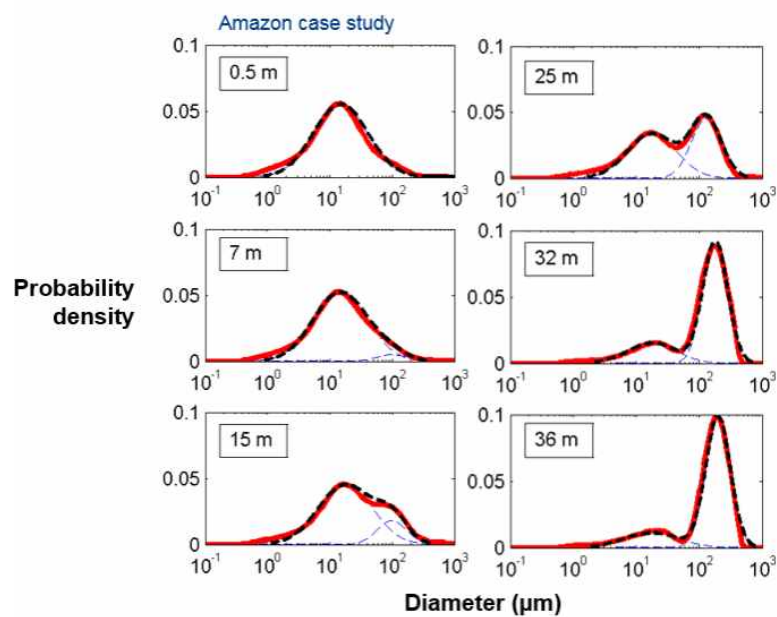
- 실규모 현장 실험 기반 H-ADCP 초음파반사율을 활용한 하천 부유사 농도 측정 실험 결과 분석



실규모 하천실험을 통한 결과 분석 (SNR-SSC)

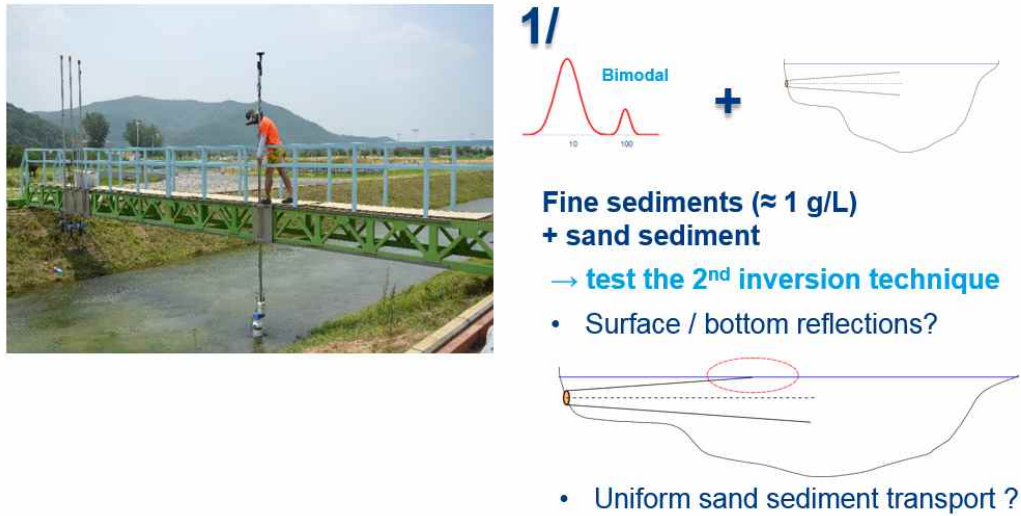
- Monitoring suspended sediments in rivers with acoustic instrument: latest developments and ongoing research(Adrian Vergne)

- 초음파 반사율을 활용한 초음파 반사율 모니터링 결과



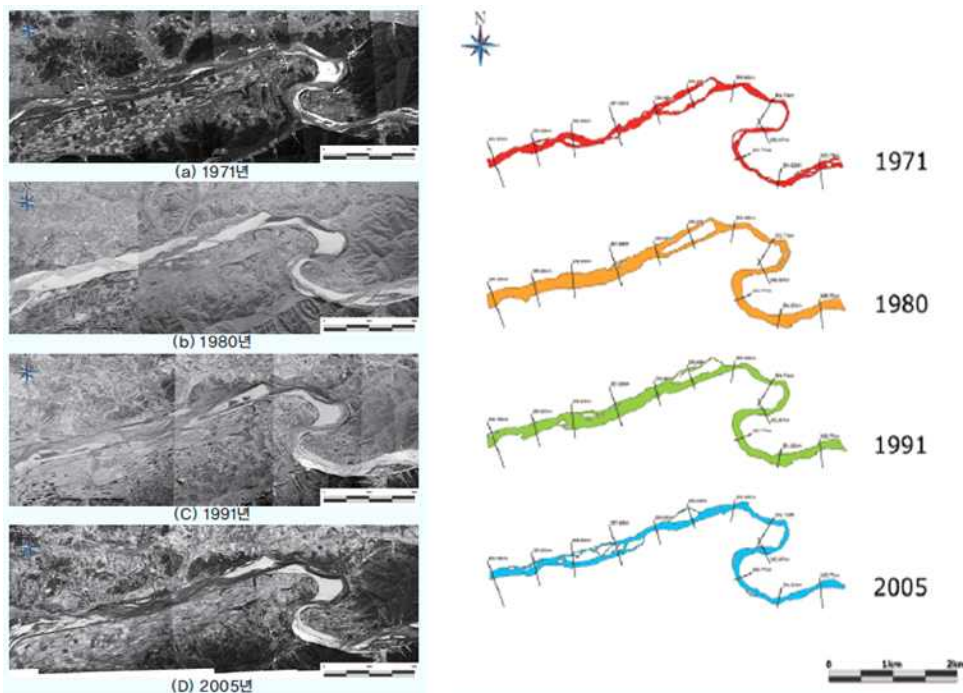
초음파 반사도를 활용한 모니터링 결과

- 최근 개발 중인 초음파도플러 유속계 기반 유사량 측정 알고리즘 소개 및 향후 한국-프랑스 협력을 통한 추가 분석에 필요한 실험 논의



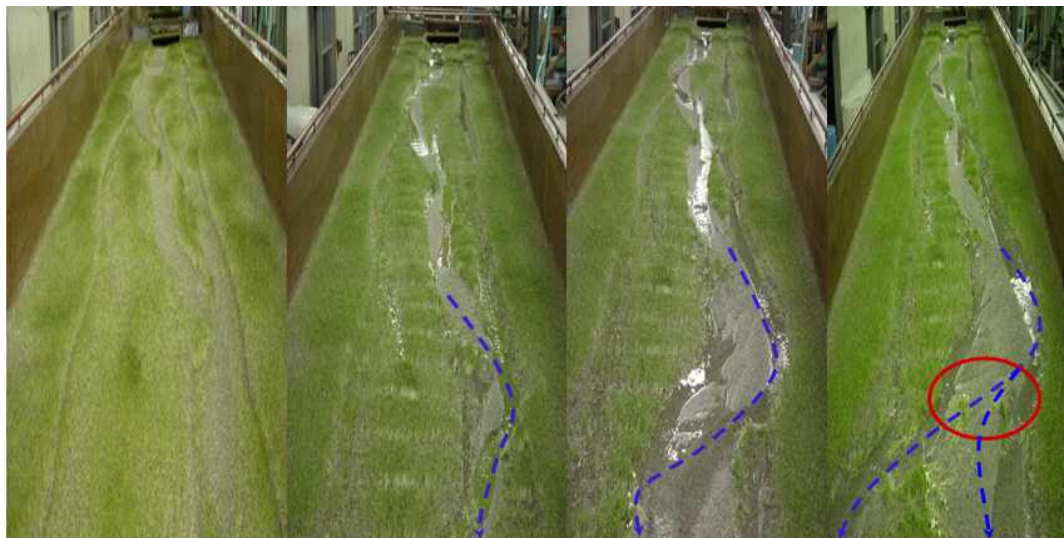
Bimodal에서의 초음파도플러유속계 기반 유사량 측정

- Experimental investigation of the effects of vegetation on stream morphodynamics (Chang-Lae Jang)
- 유사 및 식생에 의한 하천 지형 변화 사례



하천의 지형 변화 사례

- 실내 실험을 통한 하도 변화 분석 결과



Before flowing water

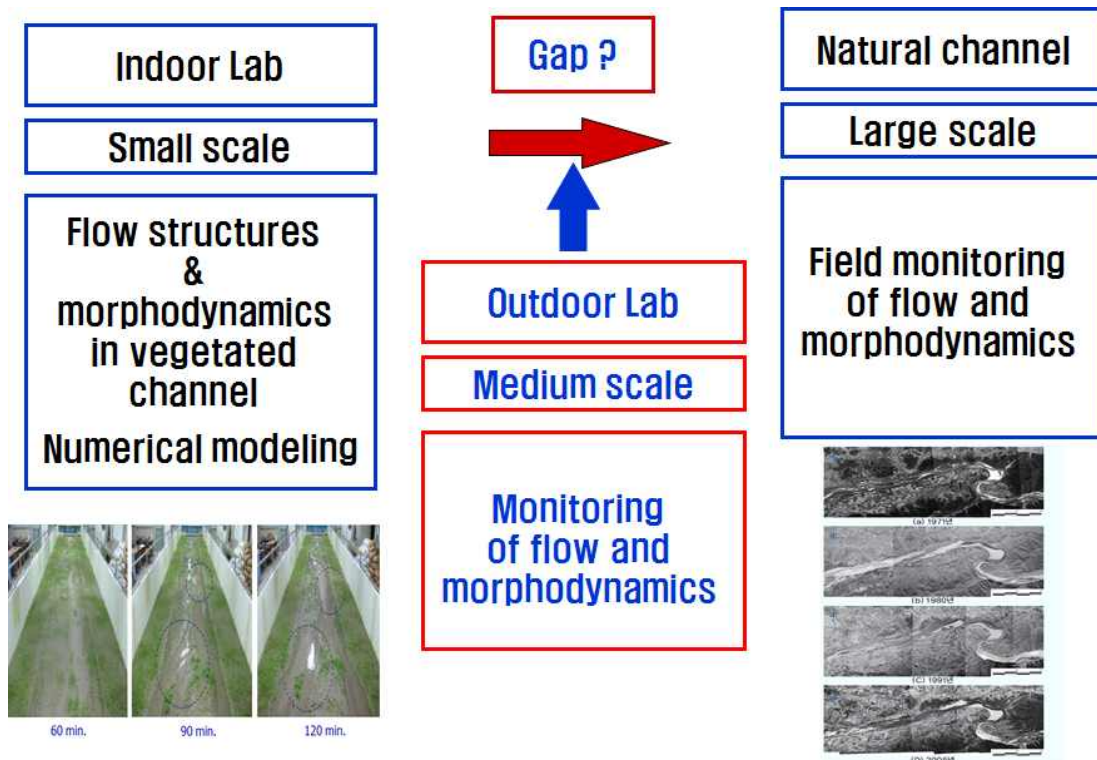
After 125min

After 215min

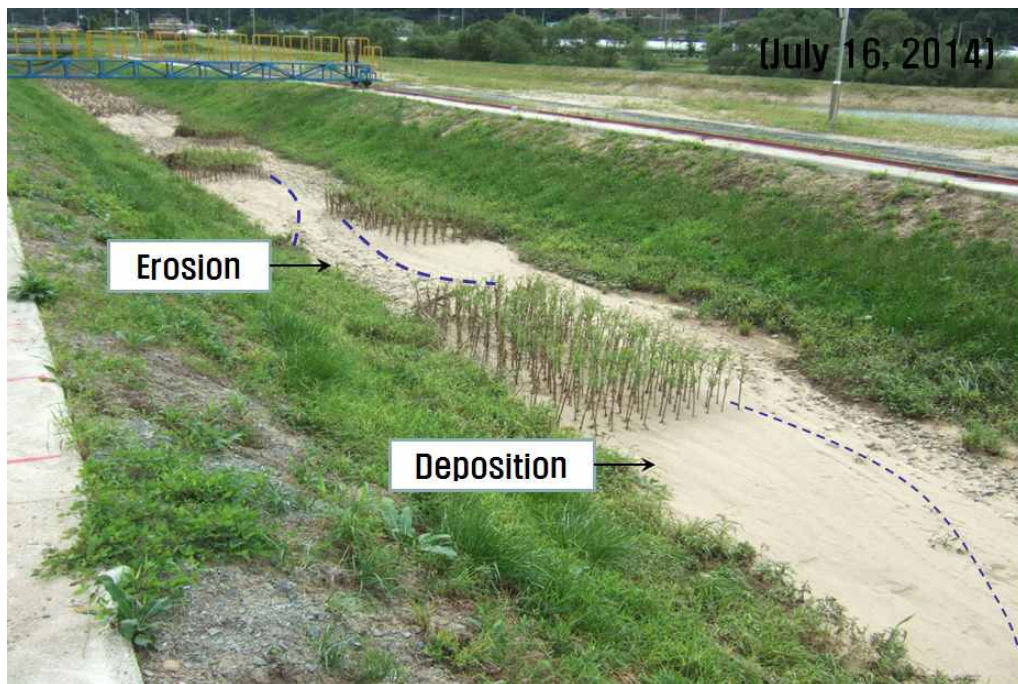
After 275min

실내 식생 실험 분석 결과

- 실규모 하천 실험의 필요성 및 실규모 하천 실험 결과 분석



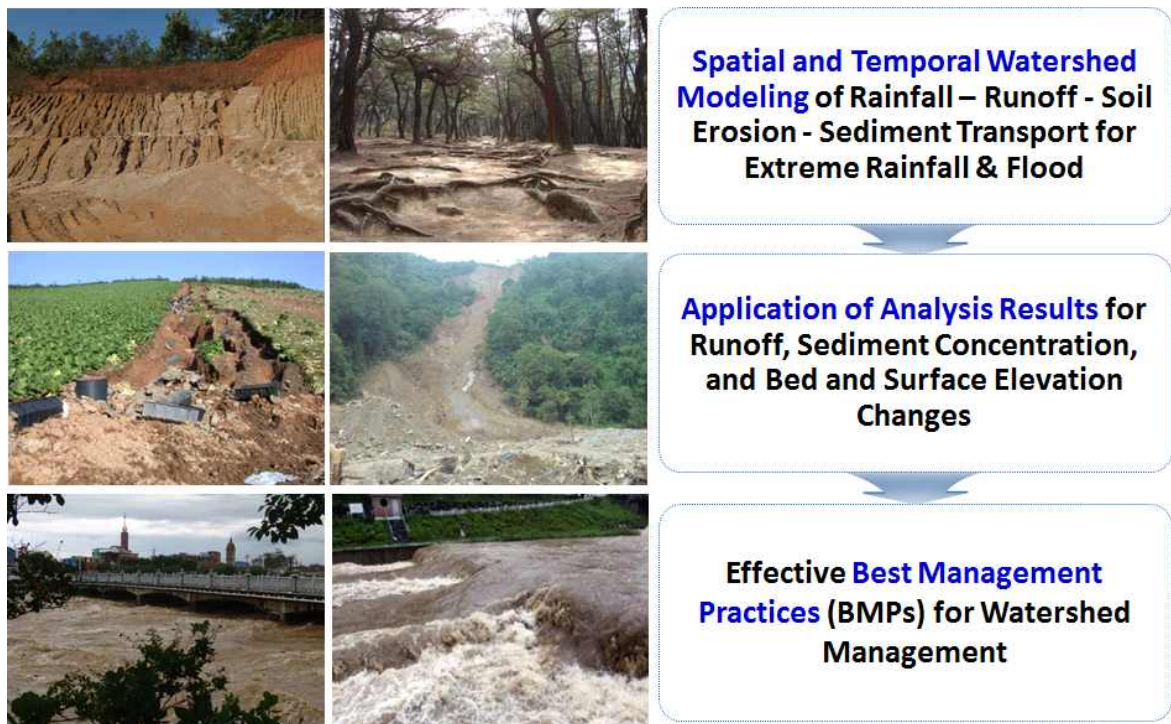
실규모 하천 실험의 필요성



실규모 하천 식생실험 결과

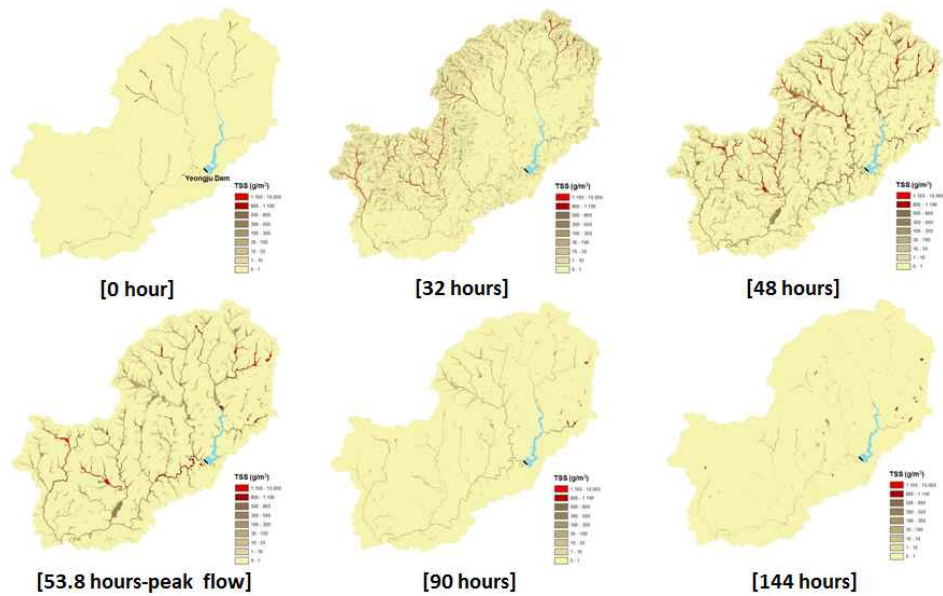
○ Risk assessment of soil erosion, sediment transport, and net elevation change in the watershed(Un Ji)

- 하천 유사 이송의 중요성



유사 이송의 중요성

- 모델링을 통한 국내 하천 유사 이송 모의 사례



하천 유사 이송 모의 결과

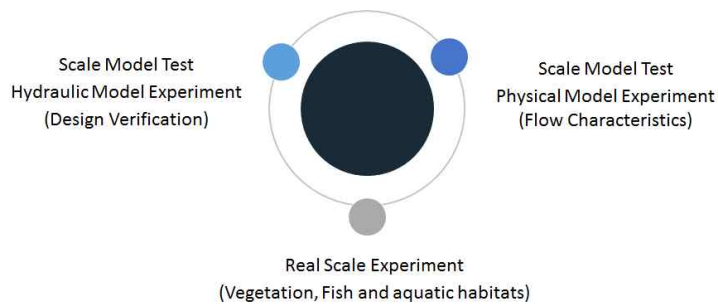
- Experimental projects conducted in KICT River Experiment Center(Joon-Gu Kang)

- 안동하천실험센터 실험 및 연구 사례



안동하천실험센터 연구 사례

- 현재 수행중인 실규모 하천 실험 소개 및 향후 실규모 하천 실험의 중요성 발표



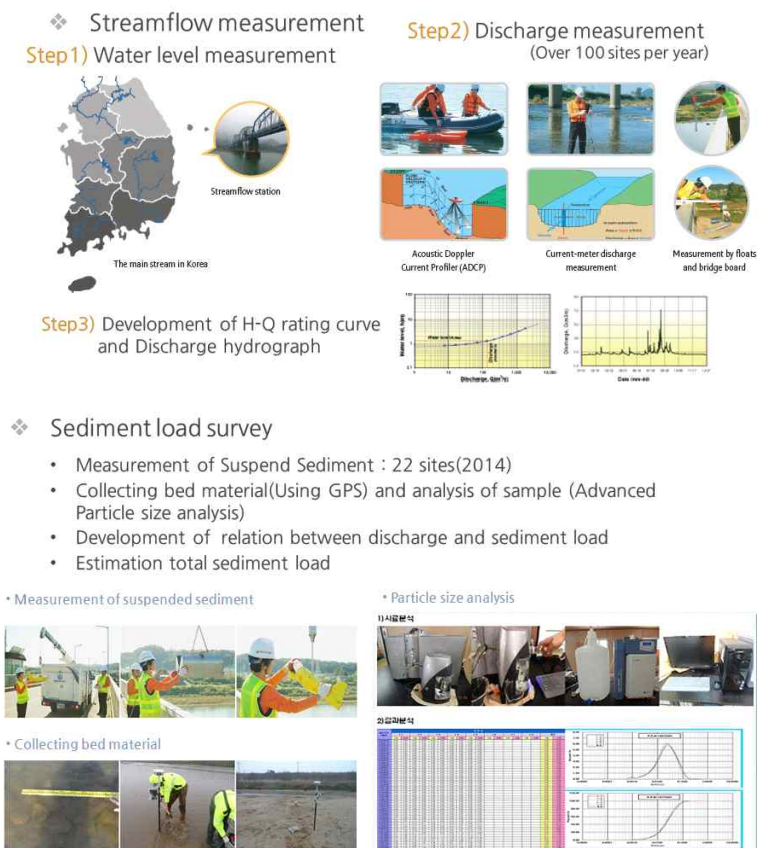
실규모 하천 실험의 중요성



현재 수행중인 실규모 하천 실험 (하도 변화 분석)

○ Hydrological survey in Korea-sediment load & river morphological changes measurement(Chang-Sun Kim)

- 유량조사사업단 소개



유량조사사업단 소개

- 국내 유사량 조사 현황 및 방법 소개

❖ Hydrological Survey

Item	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Discharge	109	114	126	121	123	148	155	156
Sediment	6	7	7	20	15	15	26	22
Soil Moisture	2	2	2	2	2	2	2	2
Evapotranspiration	2	2	2	2	2	2	2	2
Automated Discharge	신설	3	2	3	10	3	3	3
	운영	8	11	13	16	43	46	52

❖ Watershed Monitoring : Hydrological characteristics, RCS (2012~)

❖ River Morphological Changes Monitoring (2012~)

국내 유사량 조사 현황

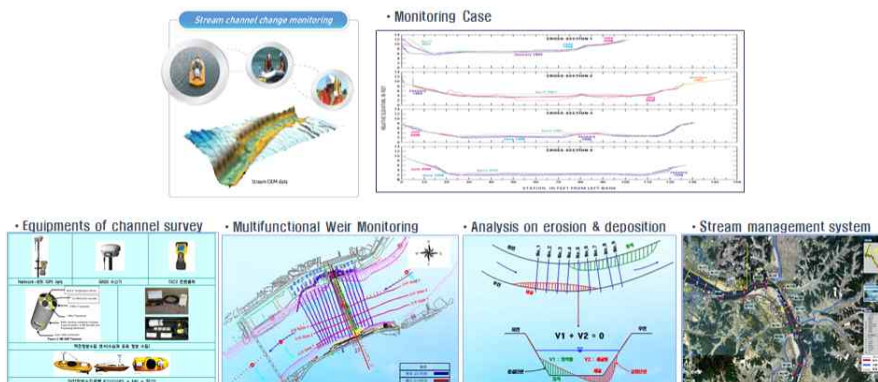


국내 유사량 조사 방법

- 국내 하천 하상변동 모니터링 사례

❖ River Morphological Changes Monitoring

- Sediment discharge survey
- Development of the relation between flow discharge and sediment load
- Investigation and analysis of stream bed changes



하상변동 모니터링 사례

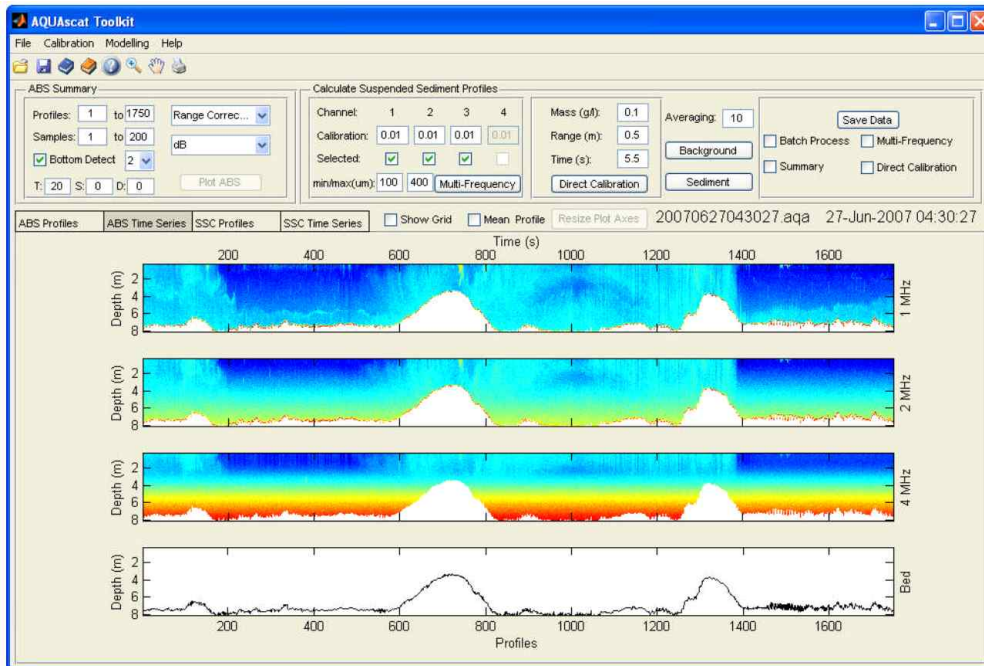
나. Session 2: Introduction of hydro-acoustic instrumentation and software

- 세션 2에서는 초음파를 이용한 유사량 측정 장치를 소개하고 본 연구를 수행한 국내 연구진에서 개발한 초음파도플러유속계를 활용한 유사량 측정 관련 소프트웨어의 시연과 LISST(레이저회절분류유사측정장치)의 후처리 프로그램을 소개
- Introduction of acoustic instrumentations for suspended sediment measurement (Adrien Vergne)
 - 최신 유사량 측정 장치 소개

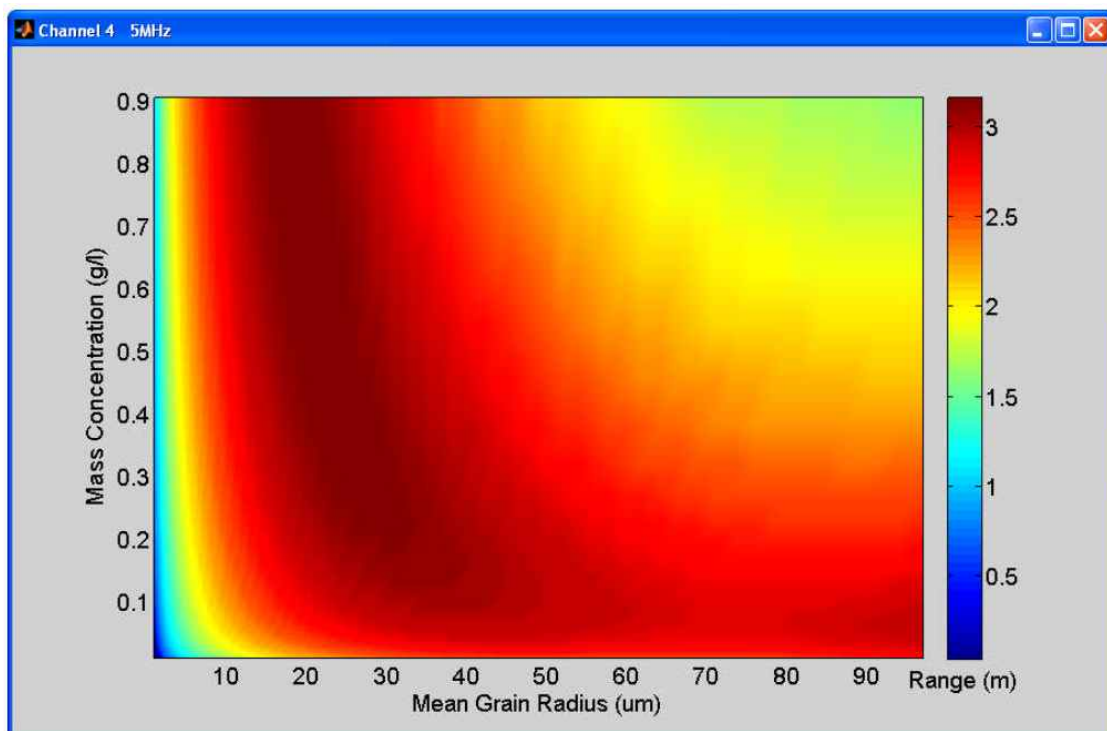
Method	Advantage	Disadvantage
Bottle Sampling	1. Conceptually simple 2. Maybe more accurate 3. Need no calibration	1. Intrusive 2. Labor intensive and time wasting, can't sample more intensely
OBS	1. Relatively inexpensive 2. Small, thus relatively non-intrusive 3. Easy to handle and post-process	1. Sensitive to grain size (more sensitive to fines than ADCP) 2. Require calibration 3. Bio-fouling
LISST	1. Ability to measure time series of particle size distribution (PSD) 2. One calibration factor holds over a wide range grain sizes 3. Easy to handle and post-process	1. Large and would cause flow obstruction 2. More expensive than OBS 3. Fragile because of optical lens
ADCP/ ABS	1. Can simultaneously sample a full SSC profile with single instrument 2. High resolution in space 3. Non-intrusive, Non-biofouling	1. Echo intensity highly susceptible to absorption and scattering by sea water and grains 2. More sensitive to larger grain size

최신 유사량 측정 장치 소개

- AquaScat 다중 초음파 반사율을 이용한 유사량 측정 장치 소개

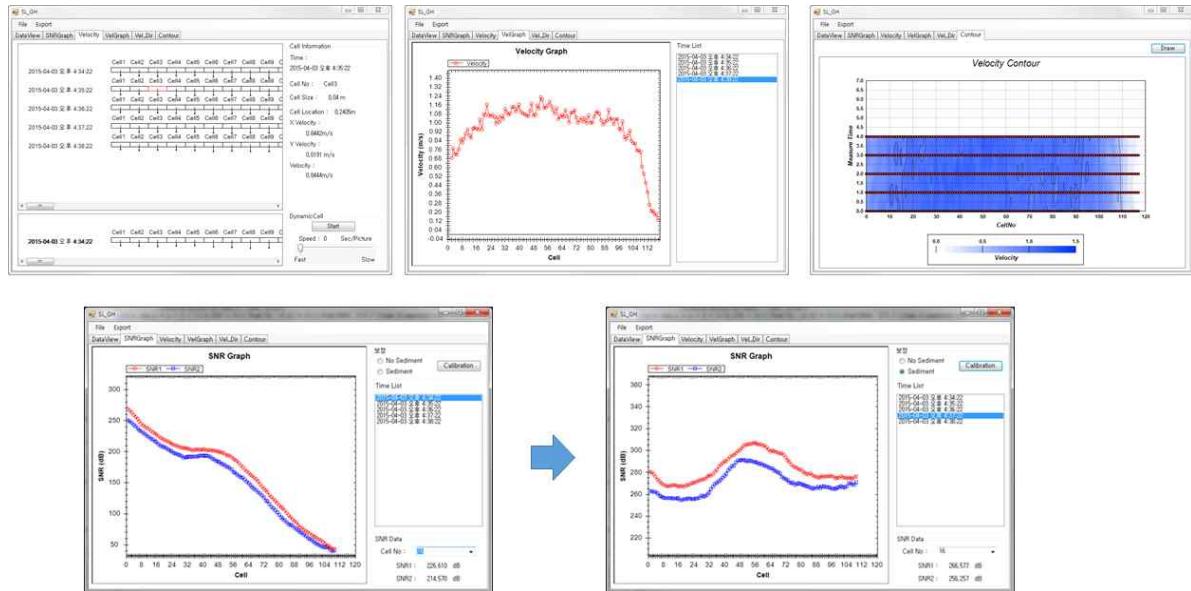


AquaScat을 활용한 하천 유사량 측정 결과



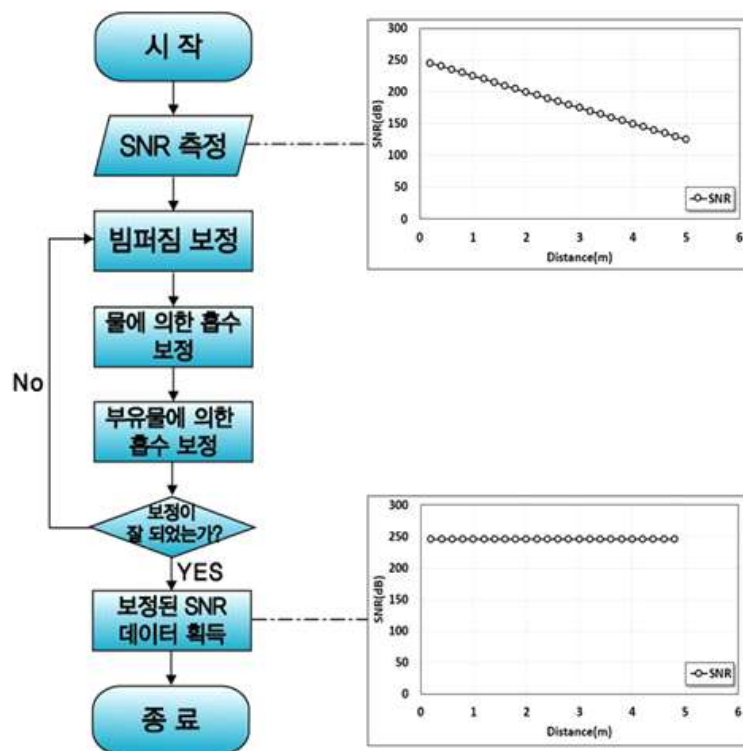
부유사농도와 평균 입경의 범위 측정 결과

- Software demonstration for hydro-acoustic suspended sediment measurement (Dong-Su Kim)
- SL-3000(횡방향 초음파도플러유속계)의 초음파반사량 보정 소프트웨어 시연

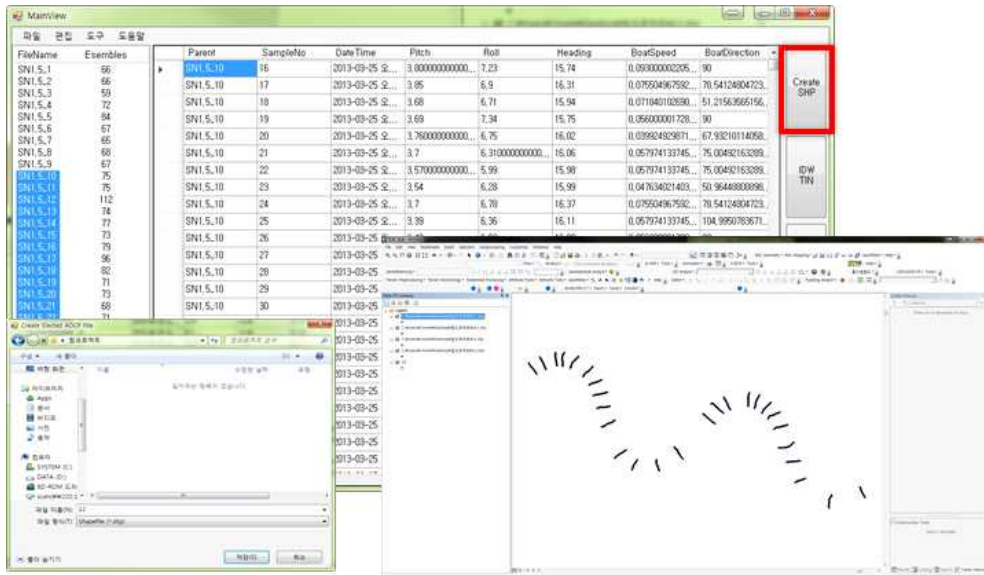


H-ADCP 보정 소프트웨어

- ADCP 초음파반사량 보정 알고리즘 및 데이터 후처리

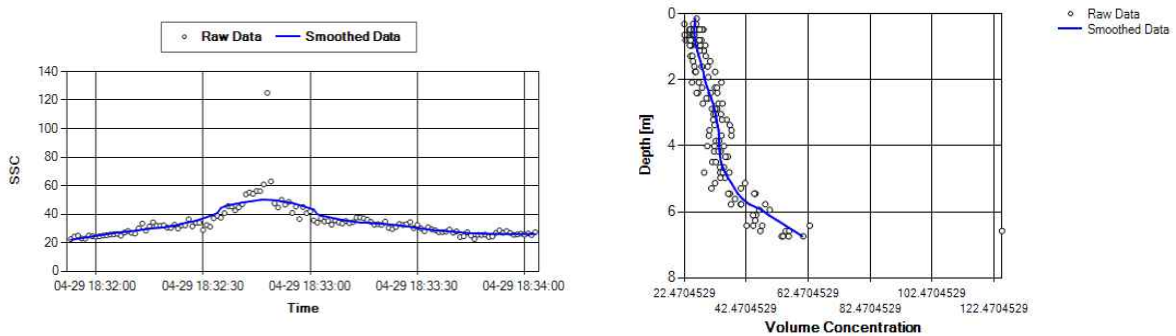
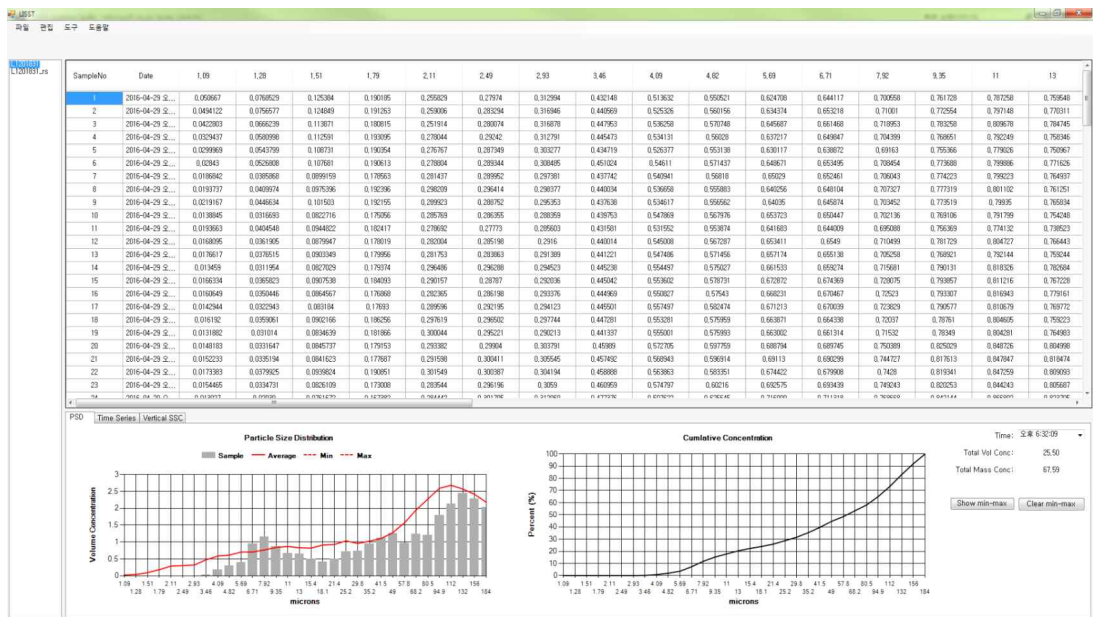


초음파반사량 보정 알고리즘



데이터 후처리 소프트웨어

- LISST 측정자료 후처리 소프트웨어 시연

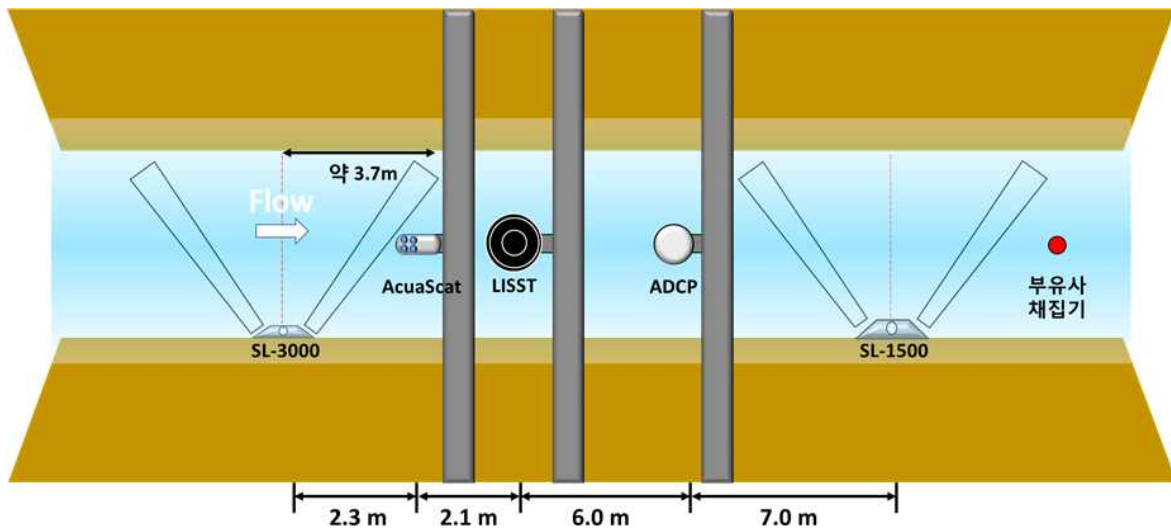


LISST 후처리 소프트웨어

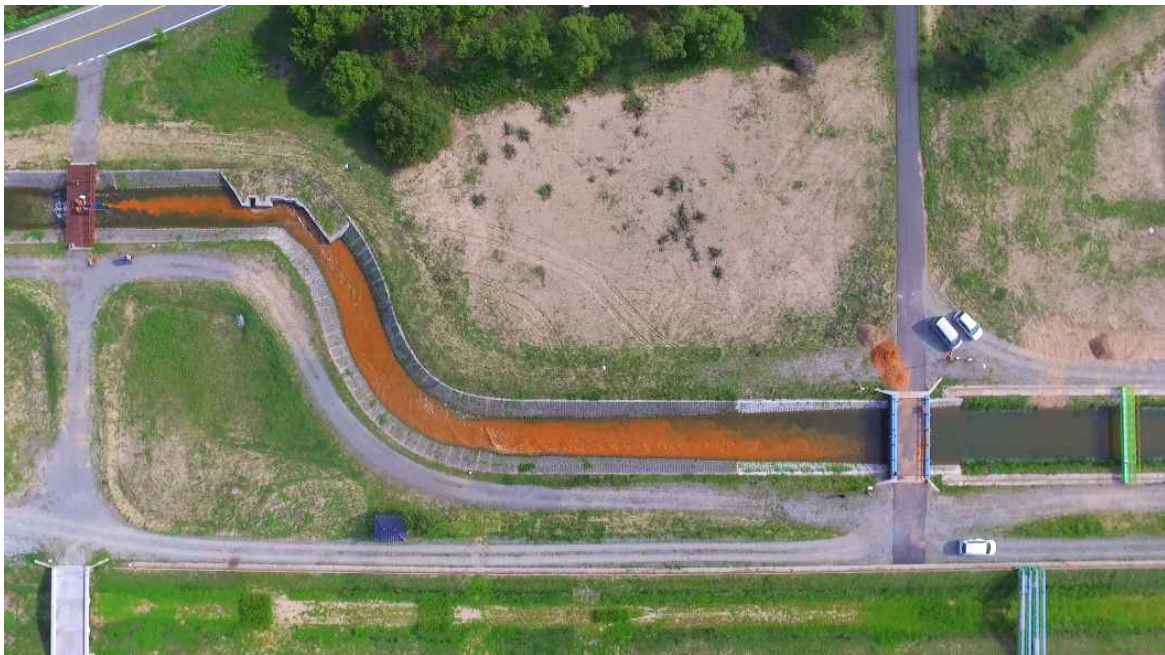
다. Session 3: Real-scale field experiment for hydro-acoustical suspended sediment measurement

○ 실험방법

- 유사 공급량을 조절하여 일정시간동안 실험수로에 유사를 공급
- 초음파도플러유속계인 ADCP M9, SL-3000, SL-1500과 초음파부유사측정기기 AquaScat, 레이저입도분석기기 LISST, 부유사채집기를 이용하여 동시간에 유사측정을 수행



실험 장비 배치도



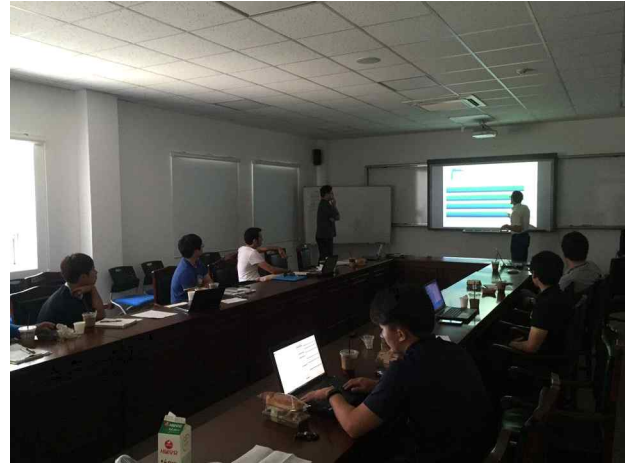
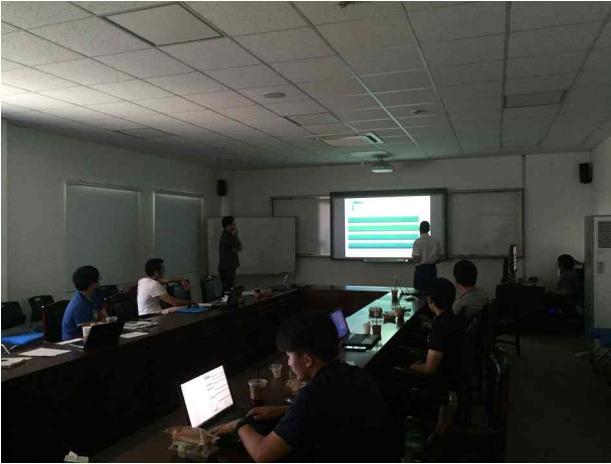
실규모 하천 유사 공급



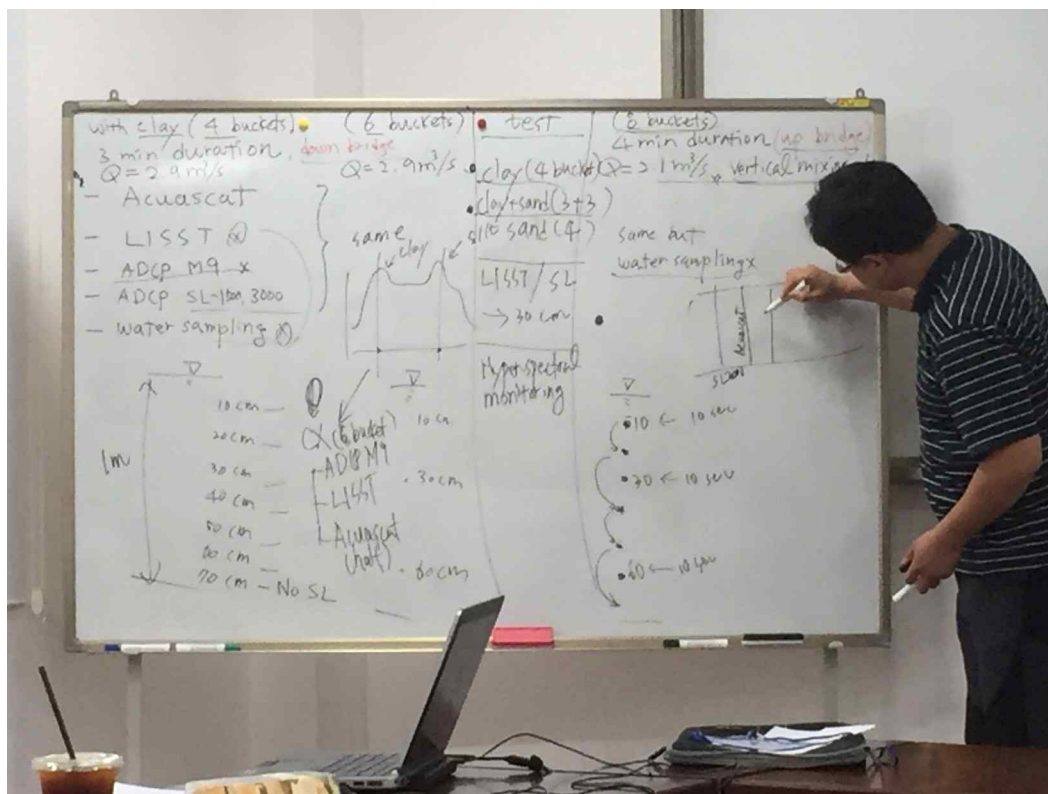
유사 공급 및 유사 측정 장비

라. Session 4: Data analysis of real-scale field experiment and future collaboration

- 본 행사를 바탕으로 수행된 측정결과에 대한 정리 및 향후 분석결과 공유를 위한 회의를 수행하였고 관련 회의록을 첨부하였음



행사관련 실험 회의



행사관련 실험 회의

회 의 록

일 시	2016 년 7 월 22 일 9 시 부터 12 시 까지
회의 장소	한국건설기술연구원 안동하천실험센터 회의실
회의 내용 및 의결사항 (요약)	
□ 1차 공동실험 결과 요약 • 실험조건 : Q= 2CMS, 수심= 1m • 측정장비 - AquaScat - LISST - ADCP M9 - SL-3000 - SL-1500 - 부유사채집기 - ADV • 측정방법 - 하천 횡단면을 중심으로 각각의 계측장비를 수심 10cm 간격으로 설치하여 유사공급 전·후의 부유사농도를 측정 - 유사입도의 따른 부유사 농도 측정을 위해 유사의 종류를 Sand, Clay로 나누어 실험 수행하였고, 각각의 케이스에 대해 유사량을 조절하며 측정 수행(4, 6, 8 Bucket) - 측정 지점의 유속, 난류량 등의 수리적 특성 분석을 위해 ADV를 이용하여 측정 • 1차 실험 고찰 - 측정결과 Sand의 유사공급 전·후 부유사 농도 변화가 발생하지 않음. 이는 비교적 입자가 큰 Sand의 경우 측정단면에 도달하기 전에 모두 침강하는 것으로 판단. 향후 추가적인 분석이 필요하고 1차 실험의 사용했던 방법을 보완할 수 있는 방법이 필요함 - Clay의 경우 유사공급 전·후의 부유사 농도가 급격하게 변하는 것을 LISST를 통해 확인이 가능했음. 추후 초음파 계측 장비의 초음파 반사도 보정 적용을 통해 LISST 측정결과와 비교 - 추후 실험에는 유사량 변동을 모니터링 하기 위해 Turbidity 센서를 설치하여 유사공급이 안정하게 공급되는지 확인할 필요가 있음 - ADCP 횡단면 측정을 통해 얻은 유량, 유속, 수심 등 분석하여 측정기간 중 실	

험조건의 변화가 발생하였는지 분석해볼 필요가 있음

- SL-1500, SL-3000의 경우 횡방으로 초음파를 발사하기 때문에 수표면 부근과 하상부근에서는 초음파의 간섭으로 인해 측정을 수행하지 못함
- 각각의 장비가 동시에 측정되었으므로 이에 대한 간섭의 영향을 고려할 필요가 있음

□ 향후 국제협력관련 회의

- 1차 실험결과 분석 일정 논의
 - 각각의 연구기관별 실험자료 분석 논의
 - 실험자료 분석 결과 회의 일정 논의
 - 향후 공동논문 작성 관련 논의
- 향후 국제협력 방안 관련 논의
 - 1차 실험결과를 토대로 차후 국제협력을 위한 공동과제 추진
 - 향후 분석결과 공유를 위한 기관방문 관련 논의

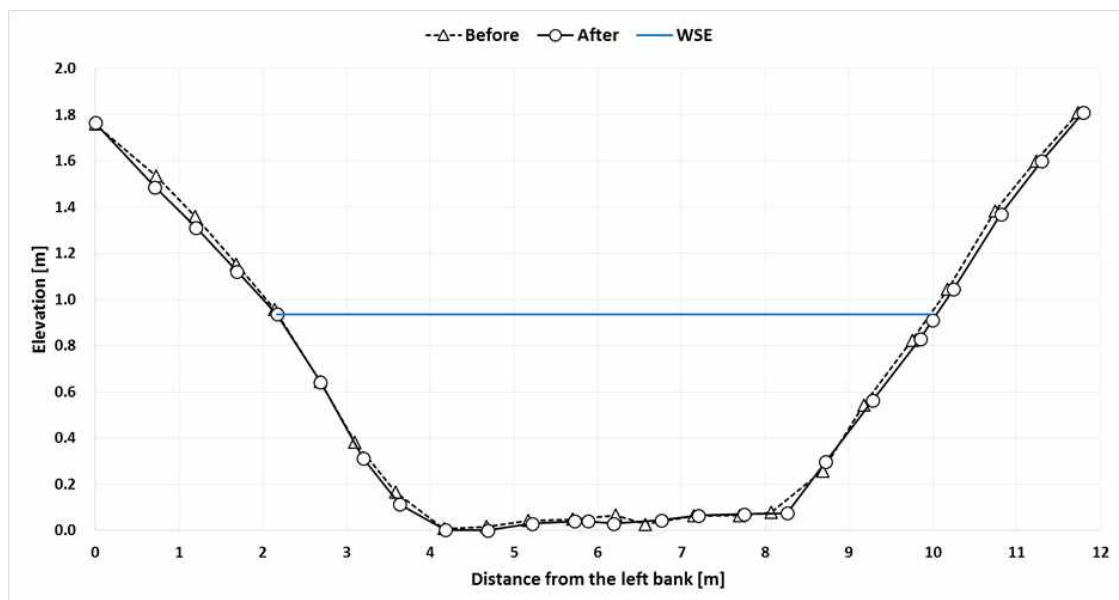
2. 행사 수행 성과

가. 하천 유사관련 지식 습득

- 본 연구에서는 국외의 초음파 기반의 유사량 측정 기술의 국내 보급을 위한 목적으로 초음파 기반 유사량 측정 기술에 대한 다양한 발표와 토론을 통해 초음파 기반 유사량 측정 이론 습득
- 첨단 하천계측장비들(ADCP, SL-3000, LISST, AquaScat)을 활용한 실규모 하천실험을 통한 실습을 통해 국내 연구자들의 기술에 대한 이해도 증진
- 계측장비의 결과를 후처리 할 수 있는 소프트웨어 개발 및 시연을 통해 하천 계측 실무진들의 기술에 대한 이해도 증진 및 실무진들의 니즈 조사 및 추후 개발 방향 설정
- 회의를 통한 국내 하천에 초음파 기반의 자동 유사량 측정 기술을 도입하기 위한 방안을 도출하여 연구 성과를 즉각적으로 실무에 반영할 수 있는 방안 마련
- 본 연구 결과와 프랑스와의 실규모 실험 자료의 분석 결과 공유를 통해 초음파 반사율 알고리즘을 최적화하여 국내에 적용 가능하도록 개발하고자 함

나. 실험 분석 결과

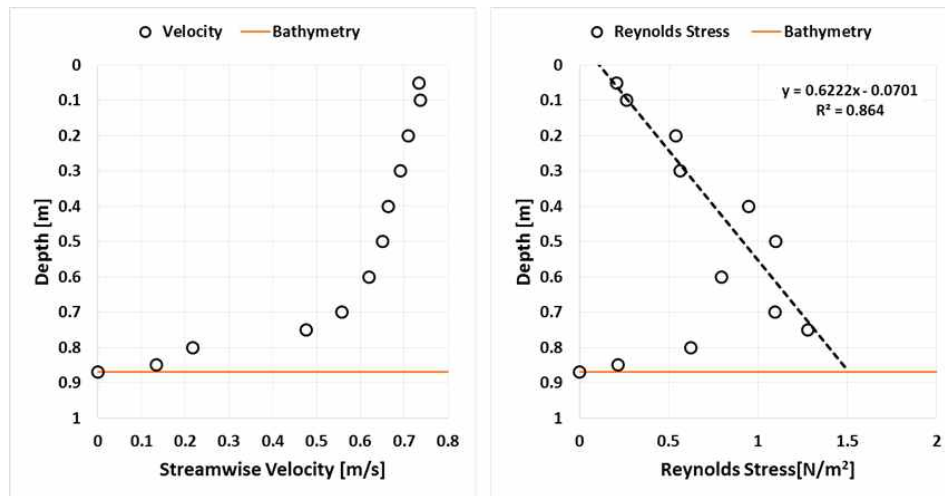
- 측정 단면 측량 결과
 - Total station(광파기)을 활용하여 측정단면의 지형 측량



단면 측량 결과

○ ADV 측정결과

- 실험수로 중앙에 초음파지점유속계인 ADV를 이용하여 연직 유속분포와 난류량 측정
- 측정결과 연직유속분포는 일반적으로 알려진 대수분포를 따르고 있었고, 하상전단응력은 약 1.5 N/m^2 으로 나타남



ADV를 활용한 연직 유속 및 난류량 측정

○ LISST 측정결과

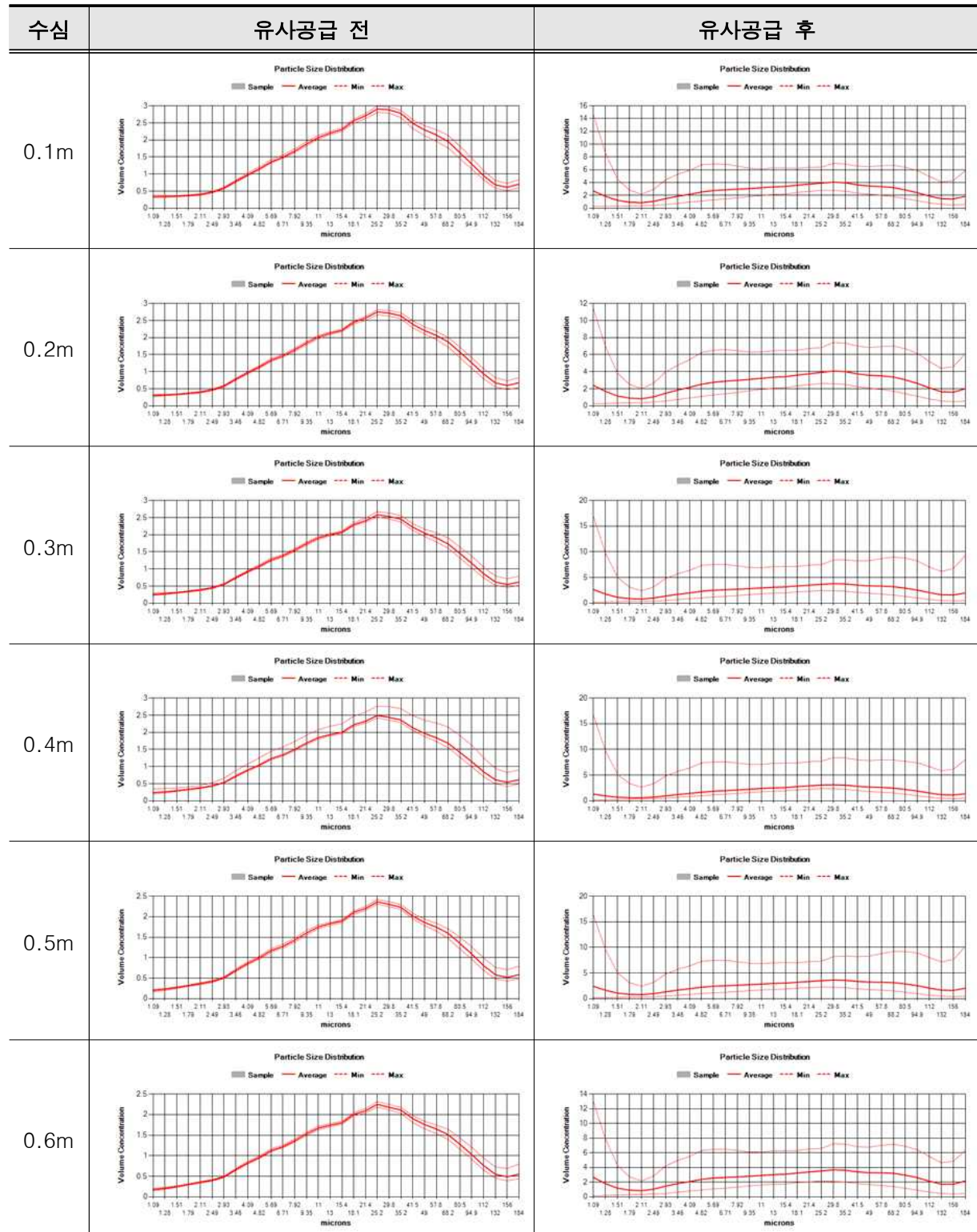
- LISST를 이용한 측정 조건은 다음과 같음

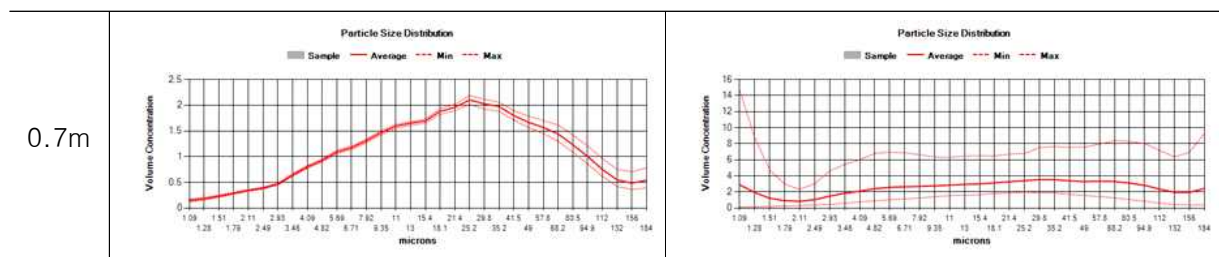
LISST 측정 시간 및 조건

Case	시간	위치	유사종류 - 양
case 1	오후 10:31:13 ~ 오후 10:34:19	유사주입전 - 10cm	황토 - 4
case 2	오후 10:36:16 ~ 오후 10:39:20	유사주입후 - 10cm	황토 - 4
case 3	오후 10:44:16 ~ 오후 10:47:07	유사주입전 - 20cm	황토 - 4
case 4	오후 10:49:17 ~ 오후 10:52:49	유사주입후 - 20cm	황토 - 4
case 5	오후 11:02:26 ~ 오후 11:05:30	유사주입전 - 30cm	황토 - 4
case 6	오후 11:06:31 ~ 오후 11:09:48	유사주입후 - 30cm	황토 - 4
case 7	오후 11:13:22 ~ 오후 11:16:26	유사주입전 - 40cm	황토 - 4
case 8	오후 11:18:23 ~ 오후 11:22:25	유사주입후 - 40cm	황토 - 4
case 9	오후 11:28:38 ~ 오후 11:31:37	유사주입전 - 50cm	황토 - 4
case 10	오후 11:32:44 ~ 오후 11:36:13	유사주입후 - 50cm	황토 - 4
case 11	오후 11:42:07 ~ 오후 11:45:09	유사주입전 - 60cm	황토 - 4
case 12	오후 11:46:09 ~ 오후 11:49:11	유사주입후 - 60cm	황토 - 4
case 13	오전 12:00:02 ~ 오전 12:03:32	유사주입전 - 70cm	황토 - 4
case 14	오전 12:05:36 ~ 오전 12:08:45	유사주입후 - 70cm	황토 - 4
case 15	오전 12:17:13 ~ 오전 12:20:34	유사주입후 - 50cm	황토 - 6
case 16	오전 12:27:01 ~ 오전 12:31:02	유사주입후 - 30cm	황토 - 6
case 17	오전 12:36:59 ~ 오전 12:41:13	유사주입후 - 10cm	황토 - 6
case 18(좌->우)	오전 12:47:02 ~ 오전 12:50:20	횡단측정1 - 10cm	황토 - 6
case 19(우->좌)	오전 12:54:05 ~ 오전 12:55:46	횡단측정2 - 10cm	황토 - 6

- 유사주입 전·후의 입도분석 결과 유사주입 전에는 입경 30microns에서 최대가 발생하고 있었고, 유사주입 후 입도는 입도가 낮은 부분에서도 피크가 발생하는 Bimodal의 형태의 결과를 나타냄
- 수심별 측정결과 유사주입 전·후의 입도분포는 다음과 같음

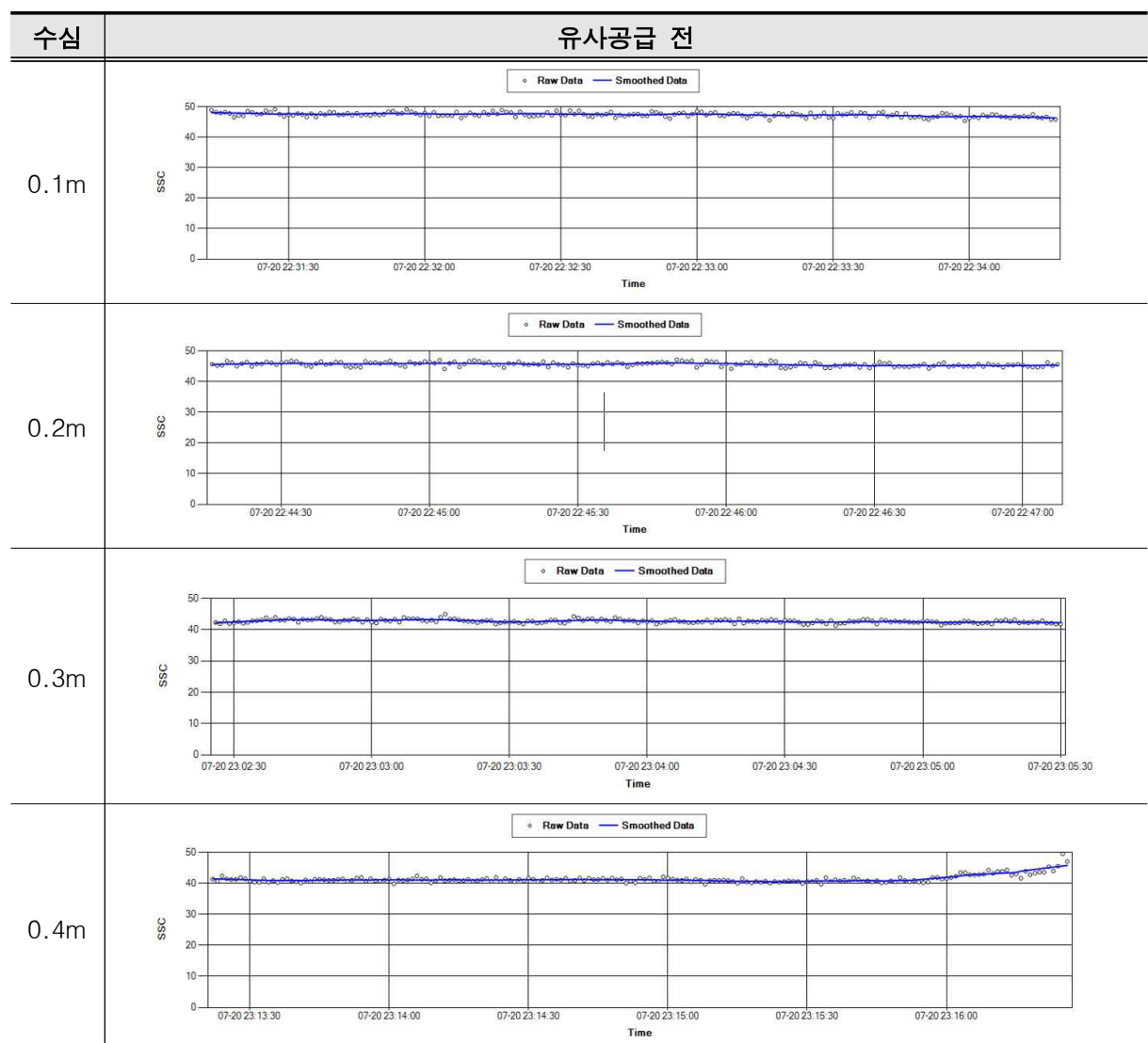
LISST 입도분포 측정 결과

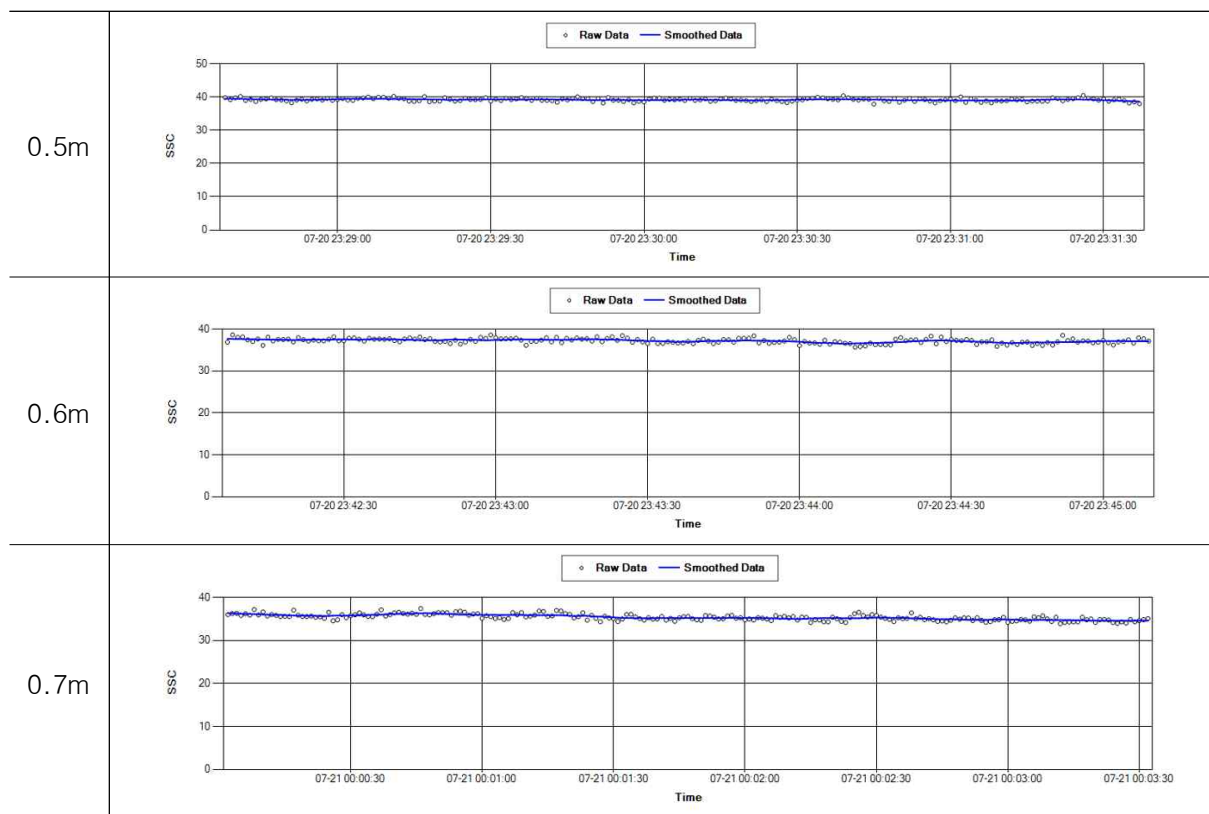




- 유사주입 전의 부유사농도는 일정하게 나타나고 있었으며, 바닥으로 갈수록 점차적으로 낮아지는 경향을 보임

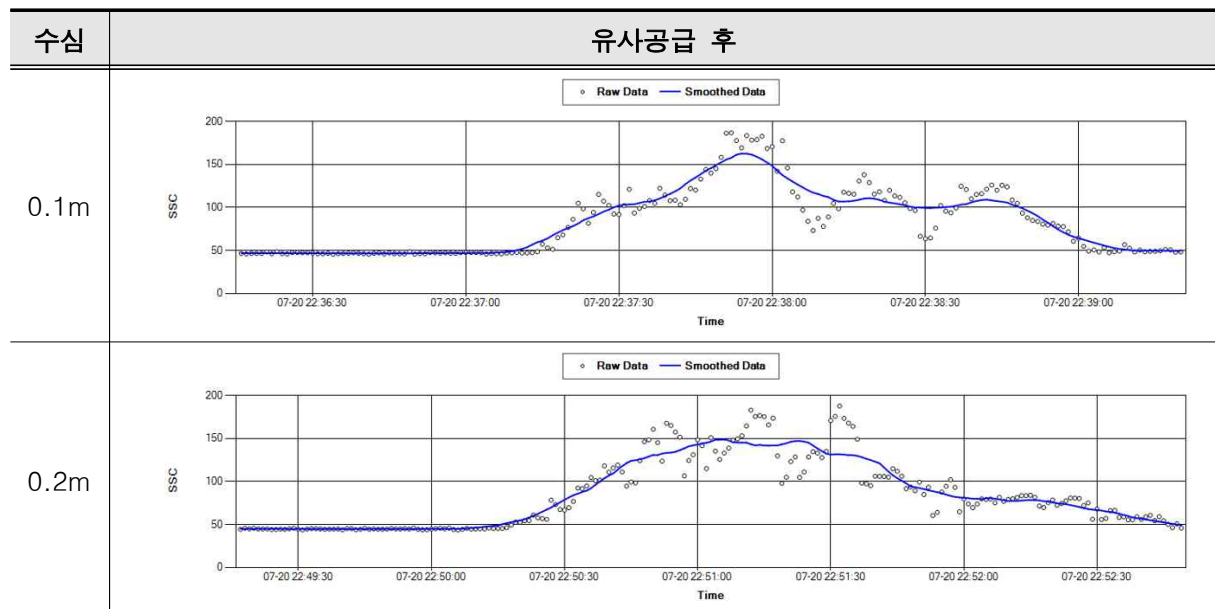
LISST 부유사농도 측정 결과 (유사공급 전)

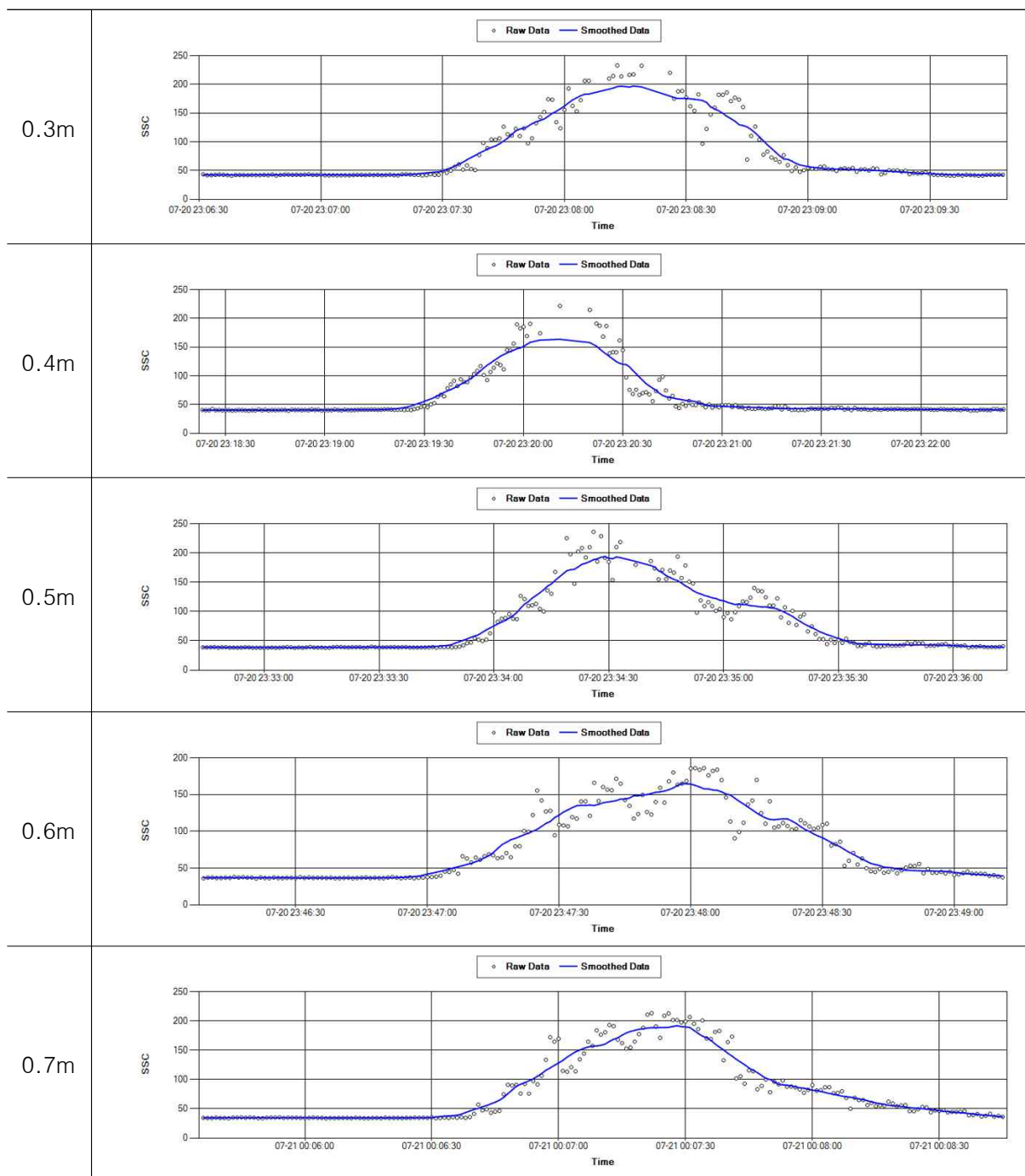




- 유사주입 후의 부유사농도는 유사 공급 장치에서 공급된 유사가 다음과 같이 일정시간 동안 증가하다가 감소하는 형태를 보임

LISST 부유사농도 측정 결과 (유사공급 후)





○ SL-3000 측정결과

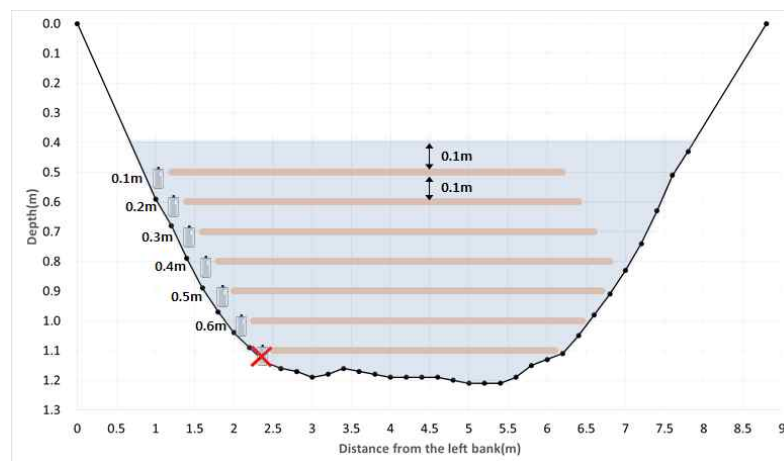
- SL-3000은 국내에서 사용되고 있는 자동유량측정장치와 같은 방법으로 하천의 유량을 측정하는 횡방향 초음파도플러유속계로 제원은 다음과 같음

SL-3000 제원

Specification	SL-3000
Sampling Range	0.1 to 5m
Minimum Channel Width	0.5m
Multi-cell Velocity Profiling	Up to 128 cells
Water velocity – Range	$\pm 7\text{m/s}$
Water Velocity – Accuracy	$\pm 0.005\text{m/s}$
Water Level – Vertical Beam Range	0.1 to 5m
Water Level – Vertical Beam Accuracy	Depth < 3m : $\pm 0.3\text{m}$ Depth $\geq 3\text{m}$: $\pm 0.1\%$
Temperature Sensor – Accuracy	$\pm 0.2^\circ\text{C}$
Weight in Air	0.45kg
Weight in Water	0.1kg

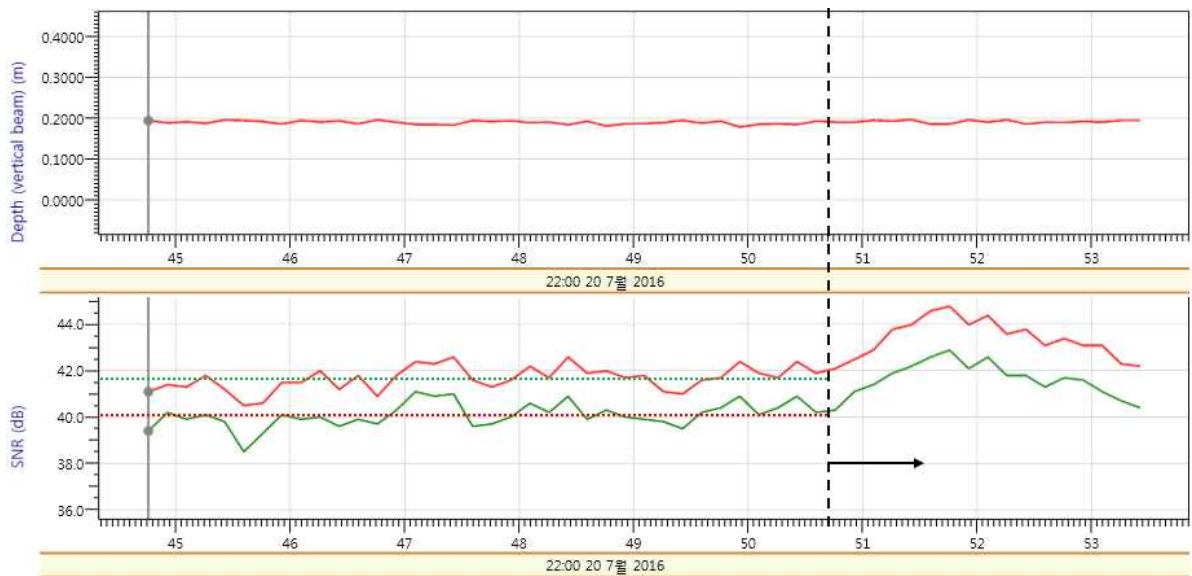


- 측정방법은 다음과 같음

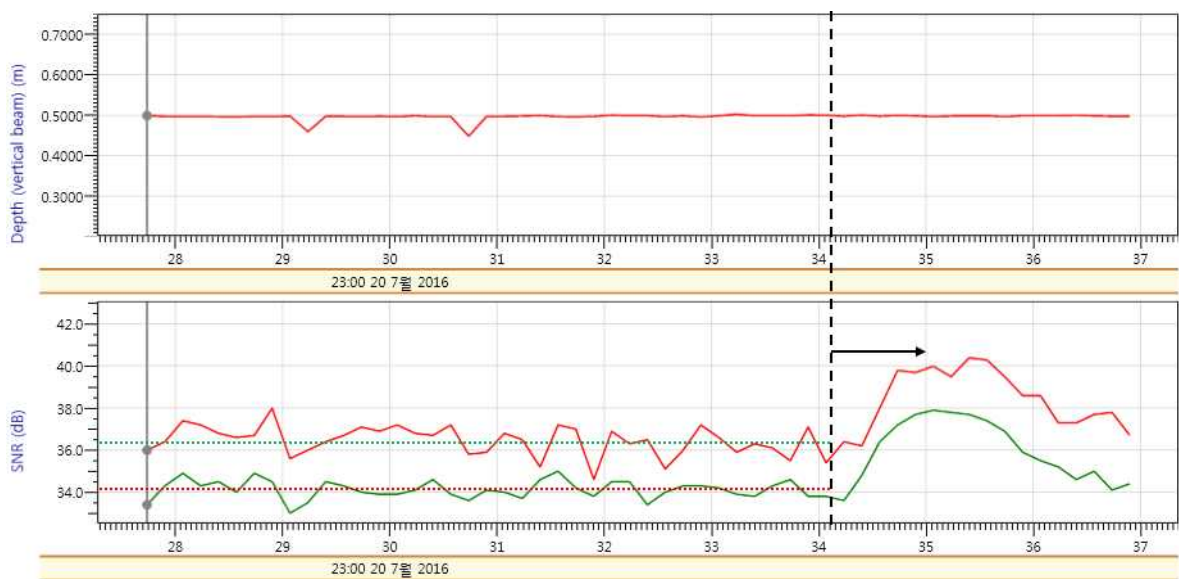


SL-3000 측정 위치 및 방법

- SL-3000의 초음파반사율 측정결과, 유사주입 후 반사율의 값이 커지는 경향을 나타내고 있었고, LISST와 비슷하게 나타나는 것으로 나타남

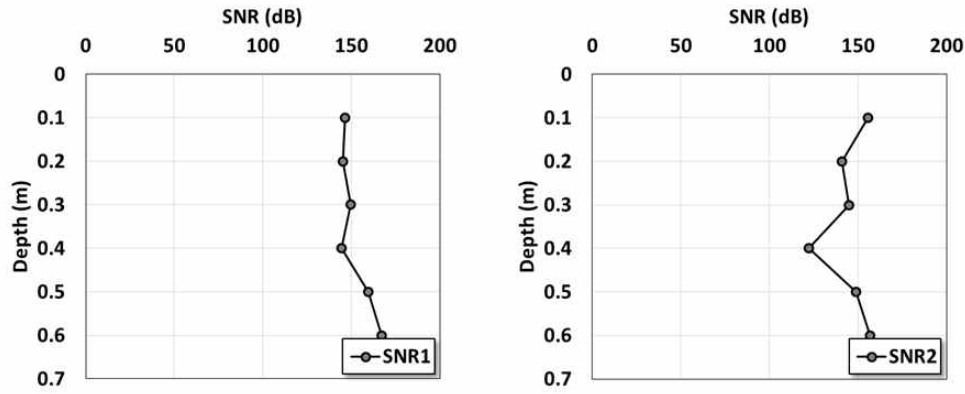


SL-3000 측정 결과 분석 (Depth : 0.2 m)



SL-3000 측정 결과 분석 (Depth = 0.5 m)

- 유사주입 후의 연직 초음파반사도는 하상으로 갈수록 크게 나타나는 경향을 보이고 있었고, 추후 LISST와의 상관관계 분석을 통해 초음파반사도를 이용한 부유사 농도 산정 적용 예정



SNR 연직 분포 분석 결과

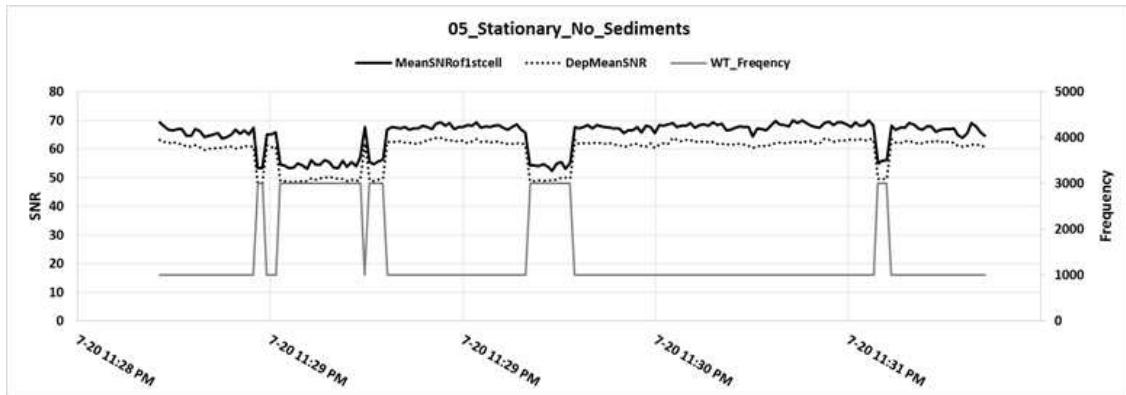
○ ADCP 측정결과

- ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)를 이용한 유량 측정 방법은 1980년 말부터 하천 유량 측정에 도입된 계측기기로 3차원 유속과 수심자료를 매우 효율적으로 측정할 수 있는 초음파 계측기기
- 본 연구에서는 ADCP를 LISST와 동일지점에 설치하여 연직 초음파 반사율 자료를 획득함
- ADCP를 이용한 측정 조건은 다음과 같음

ADCP 측정 시간 및 조건

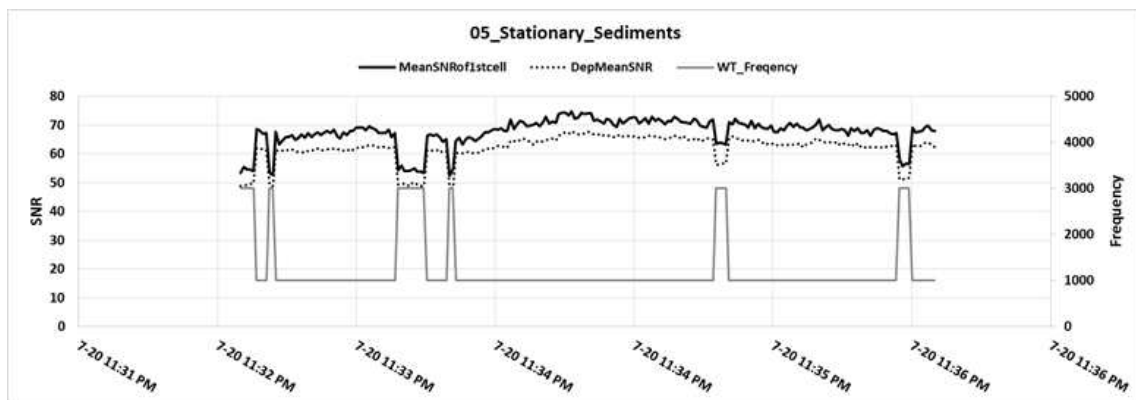
Case	시간	위치	유사종류 - 양
case 1	오후 10:30:14 ~ 오후 10:33:30	유사주입전1	황토 - 4
case 2	오후 10:36:18 ~ 오후 10:39:19	유사주입후1	황토 - 4
case 3	오후 10:44:02 ~ 오후 10:47:14	유사주입전2	황토 - 4
case 4	오후 10:49:15 ~ 오후 10:52:56	유사주입후2	황토 - 4
case 5	오후 11:02:28 ~ 오후 11:05:32	유사주입전3	황토 - 4
case 6	오후 11:06:28 ~ 오후 11:09:41	유사주입후3	황토 - 4
case 7	오후 11:13:24 ~ 오후 11:16:28	유사주입전4	황토 - 4
case 8	오후 11:18:21 ~ 오후 11:22:27	유사주입후4	황토 - 4
case 9	오후 11:28:38 ~ 오후 11:31:43	유사주입전5	황토 - 4
case 10	오후 11:32:46 ~ 오후 11:36:22	유사주입후5	황토 - 4
case 11	오후 11:42:08 ~ 오후 11:45:12	유사주입전6	황토 - 4
case 12	오후 11:46:05 ~ 오후 11:49:14	유사주입후6	황토 - 4
case 13	오전 12:00:06 ~ 오전 12:03:32	유사주입전7	황토 - 4
case 14	오전 12:05:25 ~ 오전 12:09:03	유사주입후7	황토 - 4
case 15	오전 12:17:02 ~ 오전 12:20:38	유사주입후8	황토 - 6
case 16	오전 12:26:57 ~ 오전 12:31:04	유사주입후9	황토 - 6
case 17	오전 12:36:54 ~ 오전 12:41:18	유사주입후10	황토 - 6
case 18	오전 12:47:03 ~ 오전 12:50:10	횡단측정1	황토 - 6
case 19	오전 12:51:21 ~ 오전 12:55:49	횡단측정2	황토 - 6
case 20	오전 12:58:24 ~ 오전 1:00:25	횡단측정3	공급없음

- ADCP 지점측정을 통한 초음파반사율 측정결과, 유사주입 전 일정한 반사율을 나타내고 있었지만 동일한 측정조건에서 초음파의 주파수에 따라 값이 다르게 나타나는 경향을 나타내고 있음



ADCP를 활용한 초음파반사율 측정 결과 (유사공급 전)

- ADCP 초음파반사율 측정결과, 유사주입 후 반사율의 값이 커지는 경향을 나타내고 있었지만, 주파수에 따라 다르게 나타나고 있는데 이는 주파수에 따라 보정 알고리즘을 적용하면 해결이 가능할 것으로 기대함



ADCP를 활용한 초음파반사율 측정 결과 (유사공급 후)

○ AquaScat

- 본 행사를 통해 공동으로 수행된 실험결과를 기반으로 AquaScat을 이용한 부유사 농도 측정결과 정리

Adrien Vergne
Sept. 26th 2016
Irstea Lyon Villeurbanne – Hydrology Hydraulics research team



Acoustic measurement of suspended sediment – Workshop in KICT Andong, 18 – 22 July 2016

Acoustic backscatter data analysis

This working paper focuses on acoustic backscatter (ABS) data recorded with an Aquascats (acoustic backscatter profiler) at the KICT River Experiment Center in Andong, during the workshop held from July 18th to 22nd.

Night experiment – 07-22-2016, last experiment (6 buckets of “clay sediment”)

Injection of sediments from the closest upstream bridge (~ 40 m from the ABS profiler). The sediments used were taken from the “clay” type, which was actually a mix of clay, sand and even coarser sediments. 6 buckets of this mixture were injected, in a ~1-2 minutes time lapse.



The experiment has been repeated 3 times, ABS recording starting respectively at 00:18, 00:29 and 00:38. The backscatter intensity as a function of range (= depth) vs time (in seconds from the beginning of the recording) is shown in Figure 1.

The increase of backscatter intensity when the sediment plume is passing through the Aquascat beams is clearly visible in Figure 1, as the colors are moving from blue/green (low backscatter) to green/yellow (higher backscatter) over time. We can already see that the backscatter is not very stable over time, which means that the concentration and / or grain size distribution is changing quickly.

At the beginning of the measurements it is worthy to note that the backscatter looks higher close to the bottom, especially for the most sensitive frequencies (2.5 and 5 MHz). This is probably due to coarser sediment transport at the bottom of the canal that occurs even in the absence of sediment release from the bridge. This coarser sediment load may come from the mixers supply, as we can assume that the coarser sediments first fell down to the bottom of the canal, and then have been gently re-suspended. This coarser sediment load also came from the sandy bed itself that has been clearly eroded during the experiment (Figure2).

Sand transport looks therefore possible in the REC facilities but was not very controlled during the workshop experiments. The backscatter records show that the coarser sediment load moving close to the bed is far from being stable. It has a strong temporal and spatial variability, and seems to move in "packets". A temporal averaging is needed to account for this variability; a one-time acoustic measurement or sampling would be meaningless.

Figure 3 shows the evolution of the backscatter intensity at several depths for each Aquascat frequency, during 2 recording periods starting at 00:18 and 00:39 respectively (6 buckets of sediments released each time). The backscatter intensity is averaged over a duration of 5 seconds (= 200 pings), and +/- 2.5 cm around the reference depth (= 10 measurement cells). The backscatter is also corrected from acoustic losses due to geometrical spreading and water attenuation. The increase of backscatter due to the increase of sediment concentration is obvious. It is also clear that this increase is immediately followed by a drop, so that we do not get any stable concentration over time. The peak of backscatter is roughly the same for the 2 experiments. Interestingly, the backscatter is decreasing with depth for the lower frequencies, which means the sediment attenuation predominates at these frequencies (low backscatter). On the contrary, the backscatter is increasing with depth at higher frequencies, which means that the increase of backscatter is stronger than the increase of attenuation. It also means that there was a gradient of concentration and / or grain size along the water column.

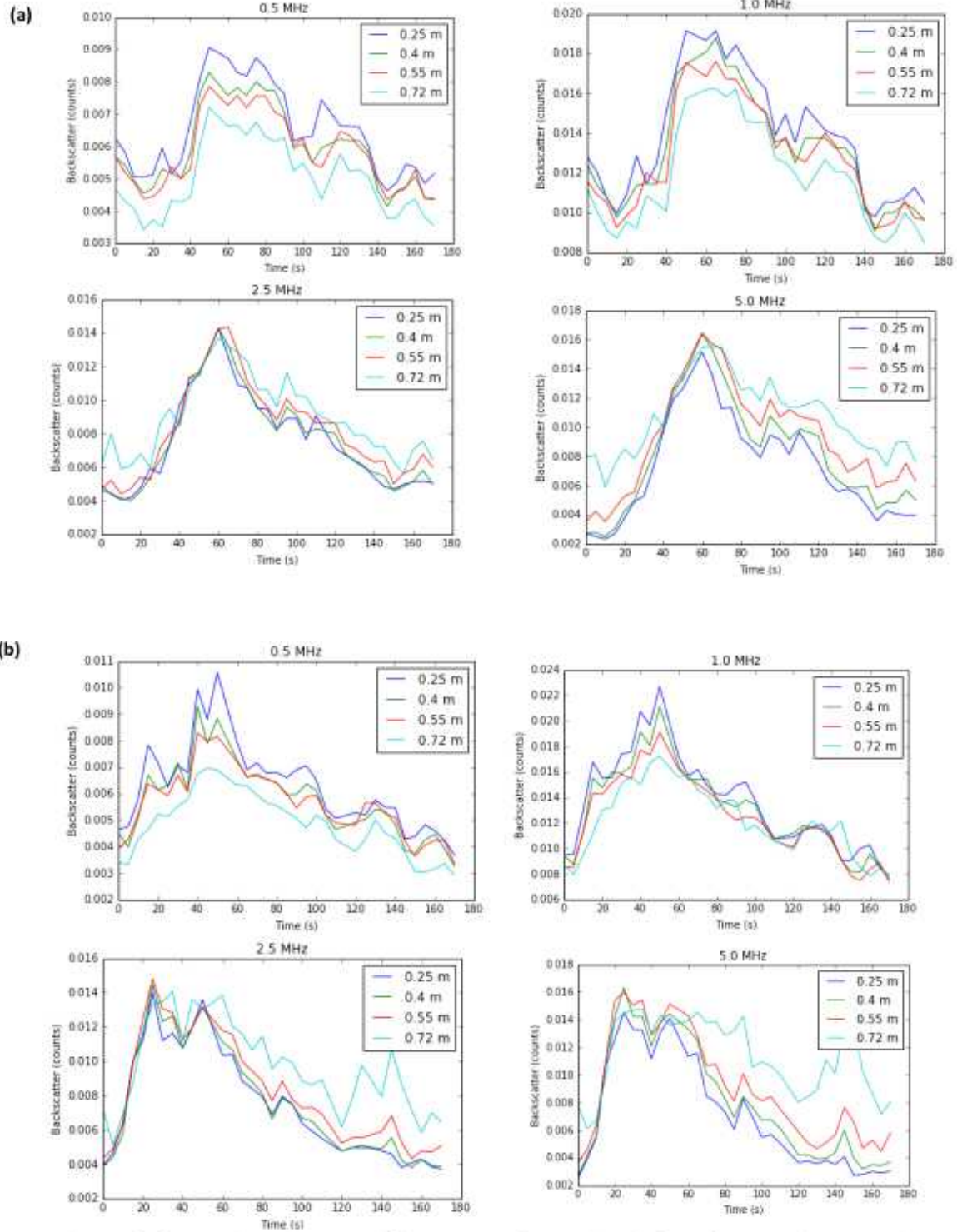


Figure 3: backscatter intensity corrected from range and water viscosity losses for 2 experiments starting at 00:18 (a) and 00:39 (b)

2nd day experiment – 07-22-2016 (3 buckets of “clay” + 3 buckets of “sand” / 4 buckets of “sand”)

During this experiment, a mix of 3 buckets of “clay sediment” and 3 buckets of “sand sediment” was released from the closest upstream bridge, ~40 m from the instrument. The backscatter recording started at 2:51pm for the first experiment, and 2:57pm for the second one, the evolution of the backscatter intensity for the 2 experiments is shown in Figure 4.

Again, a rise of backscatter intensity is clearly seen when the sediment load is passing below the instrument. The difference between the two experiments and between these experiments and the previous ones (at night) is not very clear. In fact, the “clay”-type sediment was also containing some sand, making the distinction between the different cases difficult.

2nd day experiment – 07-22-2016 – last experiment (8 buckets of “clay” sediment)

For the last experiment, the injection was moved to the previous upstream bridge, allowing better sediment mixing before the measurement section. Again, the panache of sediments is clearly visible in the backscatter data. The time in which the backscatter is at its maximum is a little bit longer compared with the other experiments. The backscatter is also somewhat lower, which means the concentration is probably smaller. The increase of backscatter is also very small for lower frequencies, which means the sediment size was probably smaller too.



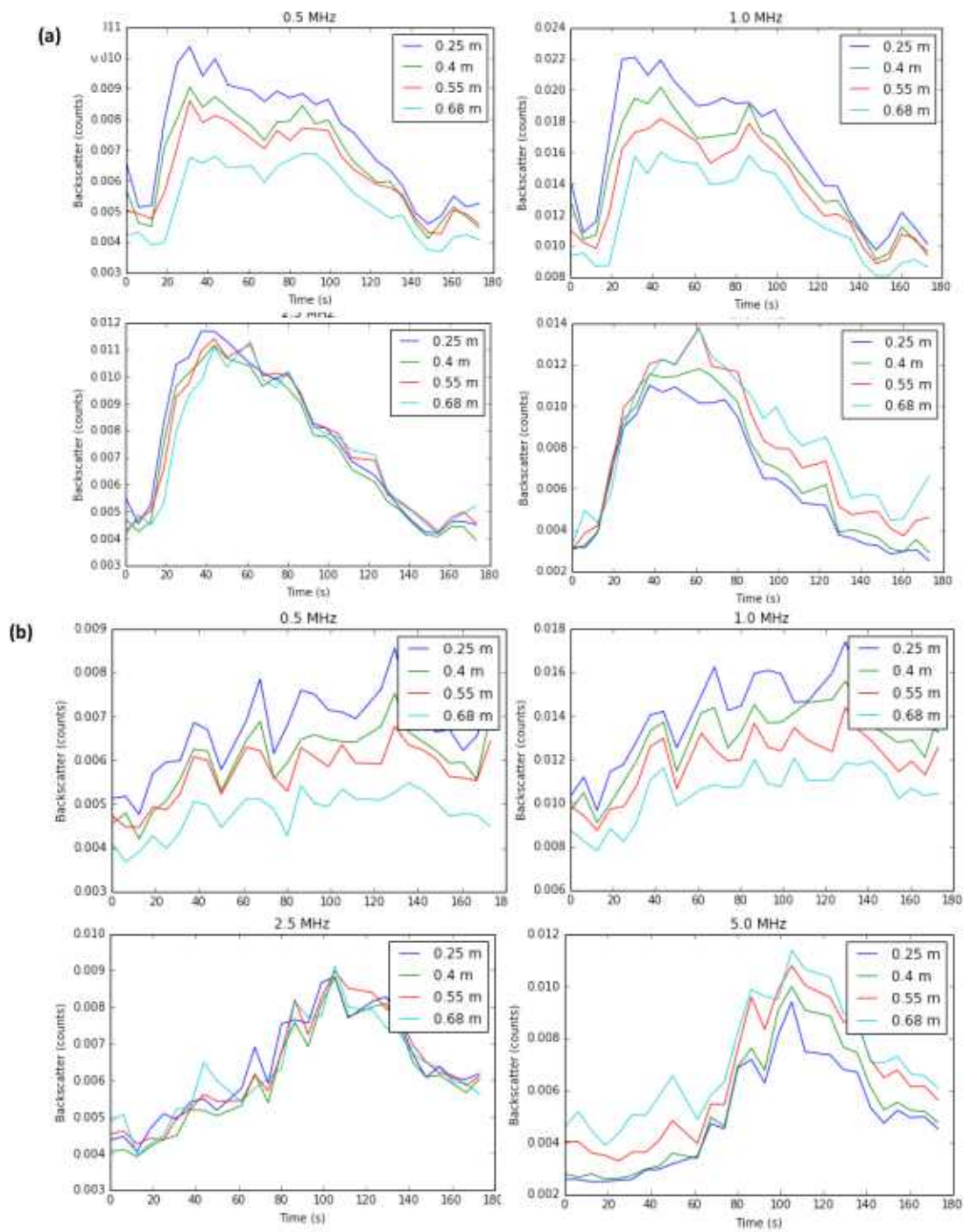


Figure 4: backscatter intensity corrected from range and water viscosity losses for 2 experiments starting at 02:51 (a), 3 buckets of "clay" and 3 of "sand" and 02:57 (b), 4 buckets of "sand"

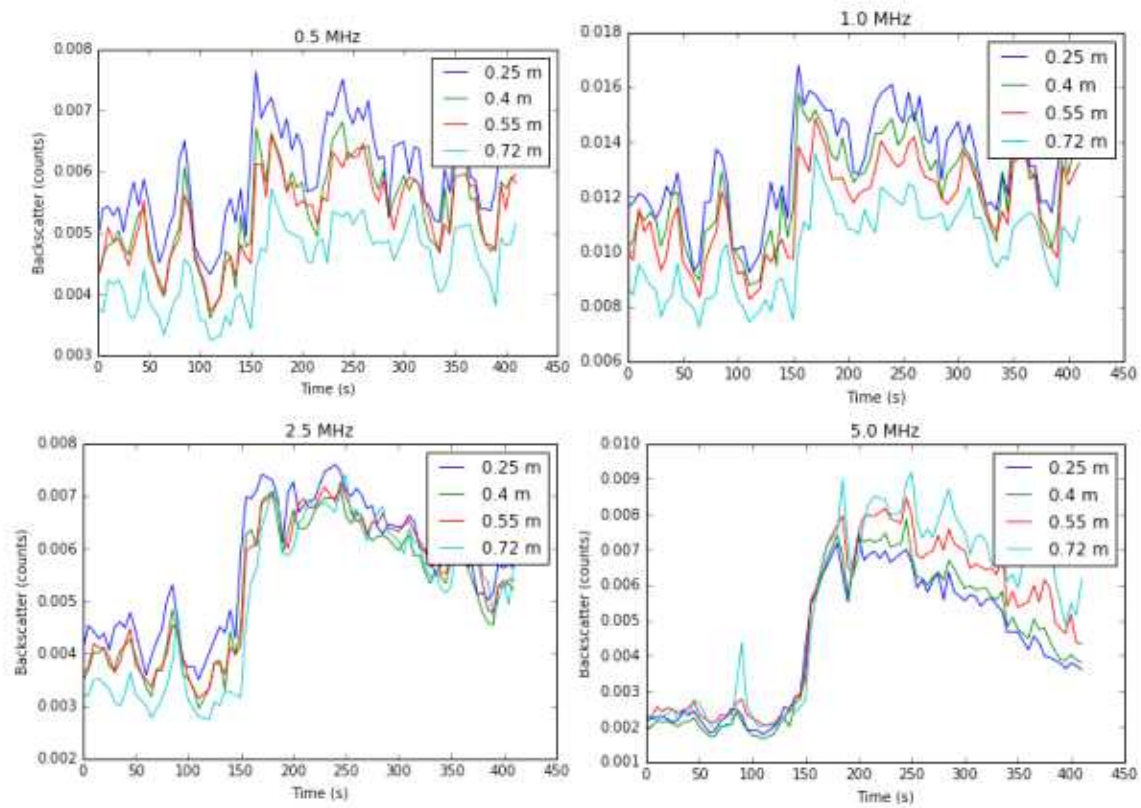


Figure 5: backscatter intensity corrected from range and water viscosity losses for the last experiment starting at 4:38pm

Further analysis

It would be very interesting to compare LISST grain size and concentration data with acoustic backscatter profiles. In particular, LISST data could be used for computing the theoretical backscatter profiles (also known as the direct problem), and compare these profiles with the recorded ones. A good correlation between the theoretical and measured profiles would give some confidence to apply acoustic inversion methods. A poor correlation may be a sign of insufficient grain size or concentration data, flocculation, air bubbles, as well as a problem in the theoretical backscatter model itself.

○ 향후 분석

- 지금까지 분석된 결과는 단순히 한국-프랑스 국제협력 실험을 통해 측정한 자료를 정리한 결과로 추후에는 프랑스 연구진과 협력하여 다양한 계측장비로부터 측정한 부유사 농도 자료를 활용하여 초음파도플러유속계로부터 측정 결과에 상관관계를 분석하고 초음파반사율 보정 알고리즘 적용을 통해 부유사 농도를 산정할 예정
- 또한, 프랑스와의 추후 추가 실험 논의 및 실규모 실험 자료의 분석 결과를 바탕으로 초음파 반사율 보정알고리즘 최적화 관련 회의를 통해 국내에 적용이 가능할 것으로 기대

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표달성도

○ 본 행사를 통한 목표 달성도는 다음과 같음

구 분	수행내용	달성도 (%)
한국-프랑스 국제협력 워크숍 개최	- 한국-프랑스 워크숍 개최 - 최신 계측 장비를 활용 실규모 유사량 측정 실험	100
초음파 기반 유사량 측정 기술 국내 도입 방안 도출	- 하천 유사량 계측 실무진들과의 토론을 통한 도입 방안 논의 - 하천 유사량 계측 실무진들의 의견을 반영한 소프트웨어 개발계획 논의	100
한국-프랑스 국제협력 지속을 위한 계획	- 워크숍 실험 결과 분석을 통한 공동 연구 일정 계획 - 향후 국제협력 지속을 위한 과제 관련 계획	100

2. 관련 분야 기여도

가. 기술적 측면

○ 초음파도플러유속계를 활용한 부유사 측정 기술의 확보

- 국내 최초로 초음파 기반 부유사 측정 기술 적용을 통한 프로그램 개발
- 국내시장 선점 및 하천 유사량 측정 기술의 첨단화, 선진화 기대
- 국내 특허권 확보 및 프로그램 개발을 통한 지식재산권 확보
- 부유사 측정 기술 선진화를 통한 해외 기술 대비 우위 확보
- 지속적인 유사량 관측 자동화 시스템을 통한 실시간 하천 유사량 정보 제공

○ 하천계측분야 유사량 측정 기술 향상 및 선진화

- 기존의 유사량 재침기를 활용한 유사량 측정방법은 매우 많은 시간과 인력이 필요해 많은 지점에서 수행되지 못하고 있는 한계점을 가지고 있었으나, 초음파 기술을 활용한 유사량 측정 방법을 국내 하천에 적용할 경우 다지점에서 유사량 측정이 가능해 현재의 유사량 측정기술 대비 매우 효율적일 것으로 기대
- 국내에 설치되어 있는 자동유량측정장치에 유사량 측정 기술 적용이 가능하면 하천의 유량, 수위 등의 자료들과 함께 실시간으로 제공이 가능하여 하천관리를 위한 중요자료로 활용 가능
- 현재 국·내외 모두 초음파도플러유속계의 기술 발달로 인해 많은 지점에서 유량관측

이 가능하지만, 유사량 측정의 경우 측정의 어려움으로 점차 측정지점이 감소하고 있어 초음파기반 유사량 측정 기술의 확보를 통해 기술 수출 가능 기대

○ 선진국 기술 대비 경쟁력 향상

- 해외 초음파를 활용한 부유사 측정 방법에 대한 연구가 수행되고 있지만 현재 프로그래밍화 되어 있지 않아, 전문가에 의해서만 초음파를 활용한 부유사 측정이 가능하며, 아직까지 연구단계로 머물러 있음
- 이에 비해 국내 연구진들의 경우, 초음파를 이용한 부유사 측정 기술의 알고리즘의 대한 이해가 해외 연구자들에 비해 떨어지지만, 초음파도플러유속계를 이용한 유량 및 유속 등 후처리 소프트웨어를 개발한 경험을 바탕으로 해외 선진 기술을 습득하여 소프트웨어로 만들 경우 경쟁력을 확보할 수 있고 실용화가 가능할 것으로 기대함

나. 사회·경제적 측면

○ 유사량 측정 비용 절감

- 현재 설치되어 운영되고 있는 자동유량측정장치(H-ADCP)에 기술 적용을 통해 국가 하천 주요지점에서 유량과 함께 유사량 정보 제공 가능
- 기존의 고비용/저효율의 채집기를 이용한 방법을 대체할 수 있어 경제적으로 매우 유리
- 현재 국내 수문조사 기관에서 현안으로 떠오르고 있는 하천 유사량 측정에 기존 측정 방법 대비 경제성 확보
- 기존에 설치되어 있는 자동유량측정장치를 활용할 수 있어 유사량 측정지점의 구축비용 절감

○ 유사로 인한 하천환경 변화에 따른 경제적 손실 감소

- 4대강 사업 전·후 하천 하도 관리의 중요성이 증대되고 있는 만큼 본 기술의 개발을 통해 하천 하도관리에 중요자료인 유사자료를 제공할 수 있을 것으로 기대
- 하천 구조물의 안정성 평가 및 보, 댐과 같은 수리구조물의 침식과 퇴적의 경향을 파악할 수 있어 기존의 하천 준설과 같은 유지 보수비의 비용을 줄일 수 있을 것으로 기대

○ 해외 기술 수출로 인한 창조경제 활성화 기여

- 초음파도플러유속계를 활용한 유량측정은 국내뿐만 아니라 중국, 동남아시아 등의 해외 국가에 수출이 가능하여 국내에서 개발된 유사량 측정 기술의 해외수출로 인한 창조경제 활성화에 기여
- 특허 출원을 통해 원천기술을 확보하고 향후 소프트웨어화하여 경제/산업적인 이익 발생 기대

제5장. 행사성과의 활용계획

1. 기대성과

- 본 연구는 국내 최초로 초음파를 활용한 부유사 농도를 계측 기법을 구축하기 위한 국제기술협력 행사로서 국내 하천 계측 기술을 세계적인 수준으로 높일 것으로 기대
- 기존의 고비용/저효율의 부유사 직접 채취기의 한계를 비약적으로 뛰어 넘어 매우 효율적이고 정확하며 위험성이 낮은 유사량 자동 계측 기법의 개발로 조사비용의 절감을 극대화할 수 있기 때문에 경제적인 효과가 매우 우수할 것으로 기대
- 하천 해석의 주요 요소인 부유사 자료를 다량으로 확보할 수 있으므로 학문적으로도 하천수리학의 유사 문제에 대한 이해를 높일 수 있는 기초 연구의 역할도 할 수 있을 것으로 기대
- 유량조사사업단의 초음파 활용 자동유량계측기에 본 연구 성과를 적용함으로써 실시간 유사량 관측 가능
- 본 연구로 도출되는 기술을 통해 효율적인 유사량 측정으로 광범위한 영역의 하천에 토사의 침식 및 퇴적 등의 경향을 파악할 수 있어 하천의 자연/인공 구조물의 안정성 대책 수립에 기여함으로써 홍수 등의 재해로부터 국민의 생명과 재산을 보호할 수 있는 역할 기대
- 특히 4대강 사업으로 향후 하상 및 다기능보 주변의 침식 및 퇴적 경향 파악은 매우 시급한 과제로 본 기술의 개발은 우리나라가 당면한 문제를 해결할 수 있게 하는 실용적인 역할을 할 것으로 기대
- 특히 출원을 통해 원천기술을 확보하고 향후 소프트웨어화하여 기술의 해외수출을 통해 경제/산업적인 이익 발생 기대

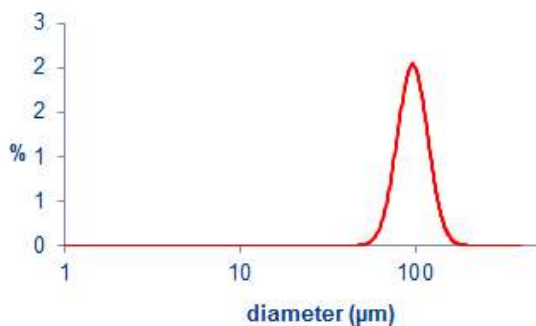
2. 활용계획

- 국내 4대강 사업의 핵심 이슈로 대두되고 있는 하천의 침식 및 퇴적을 해석하는 데 필수적인 유사량 산정의 효율화로 국가 수자원 정책 수립의 기반기술로 활용가능
- 본 연구의 결과로 도출 예상되는 ADCP 활용 부유사 농도 측정 기법은 실무에 즉각 적용될 수 있는 기술로서 하천 유사량 측정에 적극 활용 가능
- 국제기술협력을 통한 초음파 활용 유사량 농도 측정 기법은 실무자가 ADCP 측정 직후 부유사 농도를 손쉽게 확인 및 저장할 수 있는 소프트웨어 개발로 상업화도 가능
- 본 행사를 통해 향후 하천 모니터링 분야의 국제적 기술을 보유하고 있는 프랑스 Irstea 기관과 함께 연구할 수 있는 좋은 기회가 될 것이며, 좀 더 다양한 국제공동연구가 가능하게 될 것으로 기대

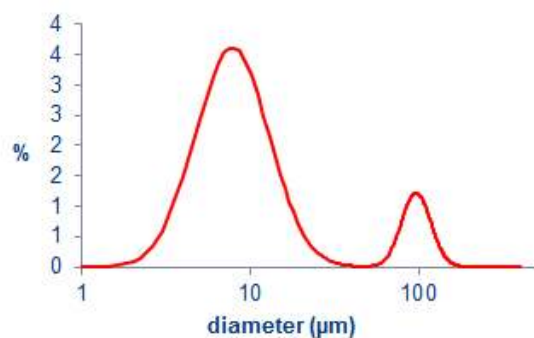
제6장. 행사 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. 초음파 기반 부유사 측정 알고리즘

- 초음파를 활용한 부유사 측정 방법은 Sonar 방정식을 기초로 해양 분야에서 개발되어 사용되기 시작함
- 해양에서 부유사는 일반적으로 조립질의 유사로 다양한 입도분포의 부유사가 존재하는 하천에서 적용하기에는 한계점이 있어 왔음
- 현재 개발된 부유사 측정 알고리즘은 대부분 해양에서 사용되던 알고리즘을 바탕으로 개발되어 다양한 입도분포를 포함하고 있는 하천에서는 적용이 어려워 다양한 입도분포를 분석할 수 있는 기술이 필요함



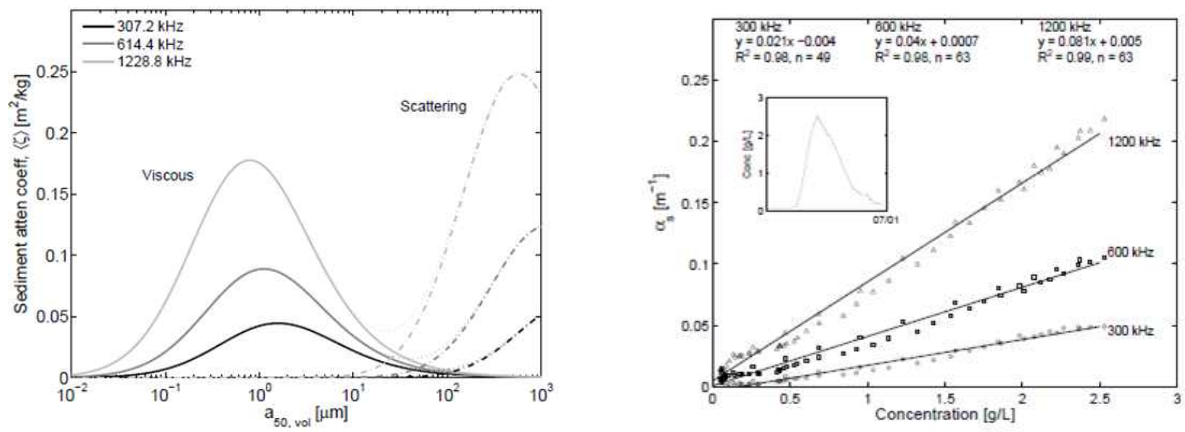
Unimodal (Ocean)



Bimodal (River)

실제 해양 및 하천의 입도분포 곡선

- 프랑스 Irstea 연구진에서는 다양한 지점에서 측정 부유사 농도를 바탕으로 다양한 방법의 초음파반사율 보정 알고리즘을 적용한 바 있음
- 각각의 적용된 알고리즘을 통해 측정지점의 하천 환경에 적합한 부유사 농도 보정식을 적용하였지만, 실제 하천에서 개발된 부유사 보정식을 실규모의 정밀한 조건에서 측정이 가능한 수리실험에서 검증한 사례는 존재하지 않음
- 또한, 초음파의 주파수의 크기에 따라 입도에 반사되어 돌아오는 초음파반사율의 특성이 변하게 되는데 이를 해결하기 위한 실험적인 방법들은 대부분 규모가 작은 실내실험 결과를 바탕으로 개발되어 있음



주파수에 따른 초음파반사율 보정 계수 산정

- 프랑스와의 공동워크샵을 통해 현재 국외에서 수행되고 있는 초음파를 활용한 부유사 측정 방법의 연구 진행 상황과 향후 초음파를 활용한 부유사 측정방법의 적용을 위한 추가분석의 방향에 대한 다양한 토론을 진행함으로써 향후 연구 진행 방안을 도출

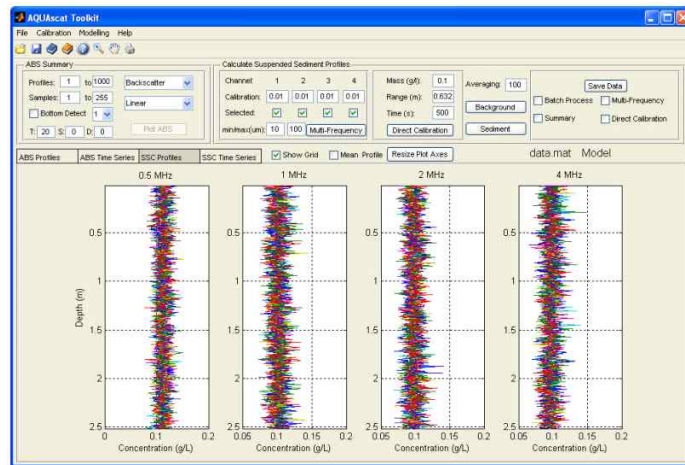
2. AquaScat

- AquaScat은 초음파를 이용한 부유사계측기기인 ABS(Acoustic Backscatter Sensor)로 한번 측정에 4개의 주파수(Multi-Frequency)를 활용하여 초음파 반사율을 측정할 수 있는 계측 기기로 측정된 초음파 반사율을 활용하여 부유사 농도와 입도분포를 계산



실규모 하천에서의 AquaScat을 활용한 실험

- 측정 가능한 주파수는 0.5MHz, 1MHz, 2MHz, 4MHz로 다양한 주파수를 사용하여 연직 프로파일링이 가능하기 때문에 각각의 주파수로부터 분석된 부유사 농도를 분석할 수 있어 ADCP에 비해 정확한 부유사 농도의 측정이 가능



AquaScat 후처리 소프트웨어

- 또한 AquaScat은 Matlab을 기반으로 소프트웨어가 만들어져 있어 사용자가 비교적 쉽게 부유사 농도를 측정할 수 있도록 개발
- 하지만 실측 부유사 농도와 비슷한 결과를 알기 위해서 사용되는 다양한 매개변수에 대한 사전 지식이 부족할 경우 사용이 어렵고 Matlab 기반으로 소프트웨어가 만들어져 있어 Matlab이 설치되지 않은 컴퓨터에서는 사용이 어려운 단점이 있음
- 또한, AquaScat은 아직까지 연구용으로 제작된 계측기기로 실용화되어 사용되기에는 아직 한계점이 있고, 부유사 농도만을 측정 할 수 있어 하천 유량 및 유속 등과 같은 하천의 수리량은 별도 측정이 필요
- 본 행사를 통해 프랑스 연구진이 보유하고 있는 AquaScat를 직접 실습해보고, 측정결과를 함께 공유



AquaScat 소프트웨어 학습

제7장. 연구개발성과의 보안등급

- 해당과제는 일반등급에 속하는 연구과제임
-

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-

제9장. 행사 수행과정에서의 안전 조치 이행 실적

1. 연구실 안전조치 이행계획

가. 연구실 안전 점검 체계 및 실시

1) 실험실 안전 점검 체계

- 연구실 일상점검 실시 : 연구활동종사자가 육안으로 연구활동 시작전 매일 1회 실시
- 연구실 정기점검 실시 : 외부 전문기관에 의뢰하여 안전점검기기를 이용 매년 1회 실시
- 연구실 정밀안전진단 실시
 - 대상 : 연구개발활동에 유해화학물질 관리법 제2조 7호에 따른 유해화학물질을 취급하는 연구실, 산업안전보건법 제39조에 따른 유해인자를 취급하는 연구실, 과학기술부령이 정하는 독성가스를 취급하는 연구실
 - 실시 : 2년마다 1회 실시

2) 연구실안전관리규정 작성 : 2007년 2월 작성하여 연구실안전관리규정 준수

나. 교육 훈련

- 1) 개요 : 연구(실험)실 안전 확보 및 사고예방을 위하여 연구실 법정안전교육
- 2) 교육대상 : 상시연구활동종사자, 연구활동과 관계없이 학부과정의 수업에만 참여하는 학부생 모두
- 3) 교육 · 훈련시간 및 교육 내용

교육 과정	교육 대상	교육 시간	교육 내용
1. 정기 교육 · 훈련	연구활동종사자	반기별 6시간 이상	· 연구실 안전환경 조성 법령에 관한 사항 · 연구실내 유해·위험요인에 관한 사항 · 안전한 연구개발활동에 관한 사항 · 물질안전자료에 관한 사항 · 그 밖에 연구실 안전관리에 관한 사항
2. 신규채용 등에 따른 교육 · 훈련	신규채용된 연구활동 종사자(계약직 포함)	8시간 이상	· 연구실 안전환경 조성 법령에 관한 사항 · 연구실내 유해·위험요인에 관한 사항
	대학·연구기관등에 채용된 자 외의 자로서 신규로 연구개발활동에 참여하는 연구활동종사자(대학생·대학원생)	2시간 이상	· 보호장비 및 안전장치 취급과 사용에 관한 사항 · 연구실 사고사례 및 사고예방 대책에

	등)		관한 사항 • 안전표지에 관한 사항 • 물질안전자료에 관한 사항 • 그 밖에 연구실 안전관리에 관한 사항
3. 특별안전교육·훈련	중대 연구실사고 발생 및 연구내용 변경 등의 경우 연구주체의 장이 필요하다고 인정하는 연구활동종사자	2시간 이상	• 연구실내 유해·위험요인에 관한 사항 • 안전한 연구개발 활동에 관한 사항 • 물질안전보건자료에 관한 사항 • 그 밖에 연구실 안전관리에 관한 사항
※ 비고 정기교육·훈련은 사이버교육의 형태로 실시할 수 있다. 다만, 이 경우 평가를 실시하여 100점을 만점으로 하여 60점 이상을 득점한 사람에 한정하여 교육이수를 인정한다.			

4) 정기안전교육은 이러닝교육시스템을 활용하여 온라인 교육 실시(반기별 6시간 이상)

○ 개별 접속 후 동영상으로 수강하는 시스템

○ 교육이수 여부 및 이수시간 등 확인가능

5) 신규교육은 신입생 O/T과 병행하여 실시(2시간 이상)

다. 보험 가입 현황 : 아래 표 내용과 같으며 매년 주관부서에서 갱신

보 험 명	보 상 내 용	대 상	주관부서
학교경영자 배상책임보험	• 상해사망, 후유장해 - 대인보상 : 1사고당 15억원, 1인당 2억원(자기부담금 10만원) • 상해 의료실비 - 구내·외 치료비 : 1인 1사고당 200만원	학부생 대학원생	학생팀
연구활동종사자 상해보험	• 상해사망 및 후유장해 : 1인당 1억원 • 상해 의료실비 : 1인당 1천만원		
플러스연구활동단체 상해보험	• 상해사망, 후유장해 : 1억원 • 상해 의료실비 : 1천만원	연구원	산학협력단
교직원 단체상해보험	• 상해사망 및 후유장해 : 1억원 • 질병사망 및 후유장해 : 3천만원 • 일반암, 허혈성 심장질환, 뇌혈관질환 : 1천만원 • 상피내암, 기타피부암, 경계성종양, 갑상샘암 : 3백만원 • 입원 의료비 : 1천만원	전임교원, 비전임교원(겸임, 명예교수 제외), 직원(계약직포함), 학사조교ABC, 행정조교	인사교육팀

* 연구실 안전환경 조성에 관한 법률 시행규칙 제6조에 의거 인건비의 1~2%이하의 금액을 안전관련 예산으로 반영하여야 함

라. 연구활동종사자 건강검진 실시

○ 인체에 치명적인 위험물질 및 바이러스 등에 노출될 위험성이 있는 상시 연구활동종사

자에 대하여 정기적으로 매년 일반건강검진과 특수건강검진 실시(병원에서 검진)

마. 추가 이행

- 1) 연구실환경개선공사 : 매년 연구실 정기점검결과를 근거로 하여 지적된 연구실의 문제점을 보완하기 위하여 지속적인 연구실안전 환경개선사업을 실시하여 연구실의 안전확보에 만전을 기하고 있음
- 2) 실험실 폐기물처리 : 폐기물은 성상별로 분리·수집하여 창고에 보관 후 외부 처리업체에 위탁처리

2. 행사 수행과정에서의 안전 조치 예방대책

○ 안전관리대책

- 근원적으로 에러를 100% 막는다는 것은 실제로 매우 힘들 수 있고, 경제성 때문에 그렇게 할 수 없는 경우가 많으므로 가능한 에러 발생 확률을 최대한 낮추어 줄 수 있는 심리적 안전 환경을 조성함

○ 행사 실험과정에서 참여연구진 및 참가자들의 안전을 확보하기 위한 안전장비의 구비 및 착용, 관련 장비운용의 안전한 활용을 위한 교육과 안전사고 발생 시 조치를 위한 응급 대처 방안 교육

○ 실험규모 하천실험의 사용으로 인한 위험 요인에 노출될 때를 대비해 참여연구원들에게 물에 들어갈 경우 구명조끼를 착용하도록 하였고, 실험 시 물에 빠질 경우를 대비하여 구명환을 구비

○ 참여연구원들의 규칙 준수

- 위에 언급한 조치들에 의해 위험요소가 완화되거나 개인 보호장비가 갖추어지더라도, 최종적으로 안전에 대해서도 각 참여연구원이 안전 규칙을 준수해 행동하도록 주지함

제10장. 행사에 대한 주관연구기관 및 상대국 참여기관 의견서

○ 단국대학교

Review for 1st Korea-France International Joint Workshop

1. Overall review for the Joint workshop

- 실제 하천 계측관련 연구원들과 국가연구기관의 실무진이 행사에 참여하여 성공적으로 워크샵을 개최함
- 워크샵 개최를 통해 초음파를 이용한 하천 유사량 계측방법의 연구 동향을 알 수 있었고, 단순히 발표를 통한 워크샵이 아니라 실규모의 하천실험시설을 활용한 유사 실험을 공동으로 수행할 수 있어 국내 연구진들의 기술에 대한 이해도를 높일 수 있는 기회를 제공할 수 있어 매우 좋은 시간이었음
- 본 워크샵을 계기로 향후 한국-프랑스 국제협력을 통해 우수한 연구 성과를 도출할 수 있을 것으로 기대함

2. Achievements of the workshop

- 초음파를 활용한 부유사량 측정 기술의 이론 발표와 국내 연구진들의 연구결과발표를 통해 하천 부유사 측정에 대한 기본적인 이해도를 높일 수 있었음
- 또한, 동일한 수리조건을 유지할 수 있는 실규모의 하천 실험을 바탕으로 첨단 부유사 계측장비를 활용한 실험을 수행하여 추후 세계적 수준의 연구 성과를 도출할 수 있을 것으로 기대
- 본 연구는 국내 최초로 초음파를 활용한 부유사 농도를 계측 기법을 구축하기 위한 국제기술협력 행사로서 국내 하천 계측 기술을 세계적인 수준으로 높일 것으로 기대
- 국내에서는 아직까지 연구가 미흡한 초음파를 이용한 부유사량 측정 알고리즘에 대한 기본적인 이론 및 실제 적용 사례를 학습할 수 있어 추후 국내에 설치되어 있는 자동 유량장치에 적용할 수 있는 기술적 기반을 마련

3. Plan for continuous collaboration

- 한국건설기술연구원의 안동하천실험센터에서 워크샵을 개최함으로써 국제적 수준의 하천실험센터를 홍보할 수 있는 기회를 마련했고, 이를 통해 향후에는 연구주관기관인

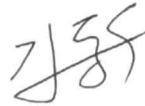
단국대뿐만 아니라 국내의 연구기관도 함께 국제협력을 추진할 계획

- 워크숍 개최 시 수행했던 초음파도플러유속계를 이용한 부유사 측정 실험 결과를 함께 분석함으로써 지속적인 연구결과를 공유
- 특히, 초음파 기반 유사량 측정 기술의 세계적인 성과를 내고 있는 Irstea와 연구 결과 공유를 통해 국내의 자동유량측정장치(H-ADCP)에 기술 적용을 통해 국가 하천 주요 지점에서 유량과 함께 유사량 정보 제공 가능할 수 있도록 소프트웨어를 개발할 예정
- 향후 본 과제와 같은 국제협력 과제를 통해 단국대와 Irstea 간의 공동연구를 계속적으로 진행할 계획

Organization: 단국대학교

Name: 김 동 수

Signature:



Date: 2016.09.05

Review for 1st Korea-France International Joint Workshop

1. Overall review for the Joint workshop

- The workshop was very beneficial for mutual learning, technical demonstration and development of joint research
- The workshop particularly involved PhD students from Korea and France
- The workshop was also useful in advertising the research potential of the KICT REC in Andong

2. Achievements of the workshop

- Scientific seminar with presentations on theory, methods and experimental results from field campaigns and laboratory experiments
- Joint experiments in the REC and demonstration of advanced technologies (ABS Aquascap, Doppler profilers, LISST laser grain sizer, UAV monitoring, etc.)

3. Plan for continuous collaboration

- Enhance collaboration perspectives between Irstea and KICT (cf. visit of KICT delegation in Nov. 2016 and their participation to the French ADCP intercomparison experiment, project of a MoU between both organisations)
- Continue research collaboration between Irstea and Dankook University: PhD students, processing of hydro-acoustic measurements (suspended sediment concentration, uncertainty analysis, flow mapping)

Organization: IRSTEA, France

Name: Dr. LE COZ Jérôme

Signature:



Date

4 September
2016

Review for 1st Korea-France International Joint Workshop

1. Overall review for the Joint workshop

- The workshop was a great opportunity for mutual learning. With quality presentations and discussions.
- The planning of the workshop was excellent with a good mix between theory and experimentation
- The measurements taken are encouraging for the continuation of our collaboration on sand flow measurement.

2. Achievements of the workshop

- Scientific seminar with presentations
- Experimentations on sediment injection in the flume
- Measurement with several technologies (acoustics, optical, sampling)

3. Plan for continuous collaboration

- Enhance collaboration between KICT and Irstea (cf. visit of KICT delegation in France in November 2016)
- Continue research collaboration between Dankook University and Irstea (suspended sediment measurement, uncertainty analysis, LSPIV)

Organization: IRSTEA

Name: Dramais

Signature:



Date 07/09/2016

Review for 1st Korea-France International Joint Workshop

1. Overall review for the Joint workshop

- Experimental training / mutual learning on the latest measurement technologies (acoustic and laser mainly)
- Very productive scientific talks, both on theory and experiment issues
- Very good organization and facilities

2. Achievements of the workshop

- High level scientific presentations and discussions during the seminar
- Recording of useful data to compare the different instruments
- Preliminary test of the REC facilities for suspended sediment transport research, promising feedback

3. Plan for continuous collaboration

- Processing and discussion on recorded data
- Talks on further experiments design

Organization: Irstea, France

Name:

Adrien Vergne, PhD candidate

Signature:



Date

12 / 03 / 2016

제11장. 기타 사항

1. 예산 집행결과

- 당초 연구비 예산은 연구활동비 21,000,000원, 연구과제추진비 11,000,000원이었으나 실제 연구비를 집행한 결과, 연구활동비 12,785,000원, 연구과제추진비로 19,215,000원을 사용함
- 연구활동비와 연구과제추진비의 세부항목별 사용액과 당초계획대비 증감비율은 다음과 같음

항목		세부항목	당초계획		최종예산사용		당초계획대비
			금액	비율(%)	금액	비율(%)	증감비율(%)
직 접 비	연구활동비	인쇄비	1,000	3.13%	418	1.31%	- 1.82%
		위탁정산수수료	500	1.56%	450	1.41%	- 0.16%
		전문가활용	3,000	9.38%	5,100	15.94%	+ 6.56%
		회의장사용료	2,000	6.25%	0	0.00%	- 6.25%
		번역료	2,500	7.81%	3,135	9.80%	+ 1.98%
		수리실험	12,000	37.50%	3,682	11.51%	- 25.99%
	연구과제 추진비	국내출장여비	6,800	21.25%	11,616	36.30%	+ 15.05%
		회의비	3,200	10.00%	4,836	15.11%	+ 5.11%
		식대	1,000	3.13%	2,763	8.63%	+ 5.51%
소계			32,000	100%	32,000	100%	0%

- 각 세부 항목별 사용내역은 다음과 같음
 - 인쇄비: 워크샵 개최 현수막, 프로그램북, 발표자료
 - 위탁정산수수료
 - 전문가활용: 워크샵 발표자 자문비활용 및 실험분석 관련 자문
 - 번역료: 워크샵 통역료
 - 수리실험: 실규모 수리실험 사용료 및 회의장 사용료
 - 국내출장여비: 워크샵 관련 예비 실험 및 워크샵 출장비 사용
 - 회의비: 하천 유사량 관련 회의 및 예비실험 결과 분석 회의
 - 식대: 워크샵 개최 준비 및 예비실험 결과 분석

- 연구비 예산 중 가장 많은 비용을 차지하고 있는 수리실험시설 사용료는 연구활동비의 경우 당초 예상했던 비용보다 적게 산정되어 차액을 연구과제추진비로 변경하여 사용함
- 본 국제 공동 워크숍은 발표뿐만 아니라 해외 연구진들과의 공동 실험을 통해 지속적인 국제협력을 구축하는데 목표가 있으므로 성공적인 워크숍 개최를 위해 관련 예비실험이 필요했음. 따라서 수리실험시설 사용료로 인해 변경된 차액을 활용하여 예비실험을 위한 출장비, 예비 실험 결과분석을 위한 야근식대, 실험 분석 결과 관련 회의를 위한 회의비로 사용하였고 관련 내용은 적절히 증빙하였음
- 또한, 워크숍 개최 시에 필요한 회의장에 대해 따로 사용료를 지불하지 않고 수리실험 비용과 함께 책정되어 남은 금액을 워크숍 개최 발표자 분들의 초빙을 위한 전문가 활용비와 국제 공동 워크숍의 이해도를 높이기 위한 통역료 사용에 필요한 추가금액으로 사용함

○ 상대국 연구자 예산 지출내역

- 상대국 연구자의 예산 지출내역을 요청하여 송부된 지출 영수증은 다음과 같음



Duplicata FACTURE WD11800324 du 17/06/2016

Direction Générale France
Service Financier

30, avenue Léon Gaumont
75985 Paris cedex 20
France

GUILLAUME DRAMAIS
91 RUE DES HEURES DES PRES
42800 GENILAC
FRANCE

CENTRE DE RELATION CLIENT FRANCE IATA N° : 20498170
TEL :

DATE EMISSION	NUMERO DU DOCUMENT	NOM DU PASSAGER	REFERENCES	DATE DE DEPART	NATURE DE LA PRESTATION	MONTANT HT	TVA		AUTRES TAXES	MONTANT TTC
							TAUX	MONTANT		
17/06/2016	0572384050978	DRAMAIS GUILLAUME		17/07/2016	Aérien International CHARLES DE GAULLE / INCHEON INTL / CHARLES DE GAULLE	1 176.00	0.00	0.00	74.37	1 250.37
17/06/2016	0572384050978	DRAMAIS GUILLAUME		17/07/2016	Frais de service	5.00		0.00		5.00

Références fiscales	Montant TVA	Base taxable
Taux de TVA 10,00 %		
Taux de TVA 20,00 %		
Exonération de la TVA sur transport aérien	0.00	1 255.37
* Montant taxable : 65% du montant HT		

Mentions légales

Facture payable au comptant
Tout retard de règlement entraînera le paiement des intérêts de retard au taux légal en vigueur
Indemnité forfaitaire de 40 euros pour frais de recouvrement entre professionnels

Mentions délai de règlement
N/A

	EUR
Total HT	1 181.00
Total TVA	0.00
Total autres taxes	74.37
NET A PAYER	1 255.37
Règlement	
Carte EUROCARD	1 255.37
Total règlement	1 255.37

Duplicata FACTURE WD11800324 du 17/06/2016 PAGE 1/1

Société AIR FRANCE - Société anonyme au capital de 126,748.775 EUR
420 495 178 RCS Bobigny, Code APE5110 Z, Notre N° d'identification à la TVA: FR 61 420 495 178
Siège Social : 45, rue de Paris 95747 Roissy CDG cedex



By phone at 3654 (*)
(*) 0,35 EUR TTC/minute + coût de l'appel

Vous pouvez consulter les émissions de CO2 liées à votre voyage, sur le site corporate Air France.

Si vous avez soumis une réclamation à notre service client, mais que notre réponse ne vous satisfait pas, vous pouvez contacter la Médiation Tourisme et Voyage. Les coordonnées et modalités de saisine du médiateur sont disponibles sur le site <http://www.mtv.travel>

You can check the CO2 emissions of your flight on the Air France corporate website.

If you have submitted a claim to our customer service department but are unsatisfied with the response, you can contact La Médiation Tourisme et Voyage (the French Tourism and Travel Mediation group). Contact information and referral procedures are available in French on the site <http://www.mtv.travel>

Reçu de paiement / Receipt

Nom Name	Numéro de billet Ticket Number	Mode de paiement Form of Payment	Tarif HT Fare excluding VAT	Taxes, surcharge transporteur et frais de service Taxes, carrier surcharge and applicable ticketing fees
VERGNE ADRIEN MR (Adulte / Adult)	057 238 402 057 5	CCVI	EUR 756.00	27.83 Taxe aéroport / Airport tax 200.00 Surcharge transporteur / Carrier surcharge 5.00 Frais de service / Service Fees 46.54 Autres taxes / Other taxes

Montant total / Total cost : EUR 1035.37

Date et lieu d'émission / Date and place of issue : 17 Jun 2016 DIR - WEB - France PARIS CEDEX 20

IATA: 20498170

Restriction(s) / Restriction(s) : PENALTIES APPLIES CTC AF

상대국 연구자 항공권 이용내역

2. 국제협력을 위한 계획

- 향후 지속적인 국제협력을 위해 국제공동 워크숍을 통해 수행된 실험의 분석결과에 대해 공동으로 분석을 수행할 예정
- 또한, 분석된 결과들을 활용하여 추후 국제공동과제를 추진하여 지속적인 국제협력이 가능하도록 계획할 예정임
- 국제협력을 위한 계획은 다음과 같음

기간	주요일정
2016년 8월 ~ 10월	- 워크숍 및 공동실험 1차 결과분석
2016년 11월 초	- 한국-프랑스 공동 화상회의
2016년 11월 ~ 12월	- 회의결과기반 2차 결과분석
2017년 1월 ~ 3월	- 공동 논문 작성 검토 - 지속적 협력을 위한 국제공동과제 추진
2017년 4월 ~ 5월	- Irstea 기관 방문(예산고려)
2017년 6월 ~ 7월	- 한국건설기술연구원 안동하천실험센터 공동협력 관련 2차 실험
2017년 8월 ~ 9월	- Irstea 연구진 국내 재방문(예산고려)
2017년 10월 이후	- 실험결과 재분석, 초음파반사도 보정 알고리즘 개발 등 협력 관계 지속 추진

- 지속적인 국제협력을 증빙하는 관련 이메일을 첨부함

From: Vergne Adrien [mailto:adrien.vergne@irstea.fr]

Sent: Tuesday, October 11, 2016 4:44 PM

To: Dongsu Kim <kds406@gmail.com>

Subject: Re: Workshop experiment feedback

Thank you Dongsu, let's keep in touch on these points. We will also discuss about that when the KICT will visit us on November 3-4.

Best regards,

Adrien VERGNE

PhD student - Irstea Lyon-Villeurbanne

5 rue de la Doua, CS70077 69 626 Villeurbanne Cedex - FRANCE

+33 (0)4 72 20 86 11

www.irstea.fr/hhly

1. **De:** "Dongsu Kim" <kds406@gmail.com>
2. **À:** "Vergne Adrien" <adrien.vergne@irstea.fr>
3. **Cc:** "Le Coz Jérôme" <jerome.lecoz@irstea.fr>, "Dramais Guillaume" <guillaume.dramais@irstea.fr>, "Berni Celine" <celine.berni@irstea.fr>
4. **Envoyé:** Mardi 11 Octobre 2016 09:16:20
5. **Objet:** RE: Worshop experiment feedback

Hi Adrien and other colleagues,

Thank you for your preliminary analysis. Results are interesting!! It is obvious Acuascats are really nice!!

On our side, we are also moving forward to do relevant data analysis, but still not quite done yet.

It was mainly because my student Geunsoo and myself have been swamped with another sediment data analysis measured in river confluence (one of our projects: these data look also promising for our further collaboration as well!). So, data analysis for Andong dataset was a bit delayed.

Among others in various Andong dataset, we will firstly prepare LISST and water sampling data (documentation and data) up to October 25 and send them to you for your analysis. Then, the remaining results based on ADCP data analysis will be shared afterward (hopefully in November).

Let's keep in mind that 1) these preliminary experimental results will be used to make other projects like PHC STAR; 2) the next experiments (probably 2017 spring) will be accordingly planned no matter what a project is made; 3) an official collaboration between KICT Andong (Dankook Univ) with Irstea will be able to be formulated to make a formal association between us.

Thank you for your patience, and let's keep in touch~

Best,

Dongsu

Dongsu Kim

Associate Professor/Ph.D.

Civil and Environmental Engineering

Dankook University, South Korea

Phone: 031-8005-3611 (office), 010-7407-4095 (mobile)

6. **From:** Vergne Adrien [mailto:adrien.vergne@irstea.fr]

7. **Sent:** Thursday, October 06, 2016 12:42 AM

8. **To:** Dongsu Kim <kds406@gmail.com>

9. **Cc:** Le Coz Jérôme <jerome.lecoz@irstea.fr>; Dramais Guillaume <guillaume.dramais@irstea.fr>; Berni Celine <celine.berni@irstea.fr>

10. **Subject:** Worshop experiment feedback

Dear Dongsu,

I hope everything is going well in Korea. As for me I am back to Lyon, working in the lab for now. I am trying to deploy the Aquascats in a tank, with a suspension of fine sediments.

You will find attached 2 little documents. One is a quick analysis of some Aquascats data, mainly showing that the sediment load was quite unstable. The other one presents some ideas of improvement for further experiments. We are very interested in your feedback on these documents, as we will talk about these topics with some of your colleagues from the KICT who are coming in Lyon on November 3-4.

Best regards,

Adrien VERGNE

PhD student - Irstea Lyon-Villeurbanne

5rue de la Doua, CS7007769626 Villeurbanne Cedex - FRANCE

+33 (0)4 72 20 86 11

www.irstea.fr/hhly

- 지속적인 국제협력을 증빙하는 관련 자료로 1차 공동실험 결과로 바탕으로 작성된 문서를 첨부함



Acoustic measurement of suspended sediments

KICT River Experiment Center – feedback on the workshop experiments of 21-22 July 2016 and considerations for further experiments

Sediment supply

Two types of suspended sediments are of interest: fine sediments, ideally fully mixed in the water column, and sand sediments, which are transported close to the bottom of the canal. The supply of these 2 types of sediments should be considered separately.

Fine sediment supply: the mixers used during the workshop worked well when they were located far upstream in the steep, sinuous section of the channel, allowing a good mixing of the sediments before they reached the measurement section. However, a higher concentration and a longer period of stable concentration would be required. The mixing / releasing capacities would need to be improved. Ideally, a concentration of 1 g/L of fine sediments during a period of 20 minutes would be great. This needs to release sediment during ~30 minutes, in order to get a good mixing and a stable concentration during the 20 minutes of measurements. For a 3.0 m³/s reference flow, it requires around 5.5 tons of sediments, injected in 30 min.

Coarse (sand) sediment supply: the workshop experiments showed that sand can be transported in the measurement section. However, rather than injecting the sand from outside, which would require huge quantities in order to get an equilibrium transport, it looks more interesting to put it directly on the canal bed before filling the canal with water, and measure local transport. For instance, a sand dune could be built right upstream of the measurement section. It will be gently eroded by the water flow, creating a sand sediment load at the bottom of the canal. The topography of the dune could be monitored to give an estimation of the erosion. The sand dune should be big enough to supply sand sediment during all the duration of the experiment.

Sediment monitoring

Turbidity sensors would be very useful to ensure that the concentration of fine sediments is stable during the measurement period and that the sediments are fully mixed in the measurement section. In other words, they can be used to monitor the homogeneity of the suspended load in the measurement cross-section, both in space and time. Turbidity sensors placed upstream and downstream could also provide information on a possible deposition of sediments along the canal reach.

The use of a video camera mounted on a drone was very helpful to follow the sediment plume and its advection/diffusion during the workshop experiments. This would be useful to do again in further experiments.

Sediment sampling

In order to assess the precision of acoustic inversion methods, acoustic data should be coupled with direct water sampling, at the same location as the acoustic measurements. The best sampling device would ideally take several samples at several depths in the same time. A pumping system could be a good option, with several water inlets at different depths. The pumping flow should also be regulated according to the water flow velocity, to make the sampling isokinetic.

Taking water samples calls for being able to process them on site. It needs some filtration equipment, a precision weighting scale and a sterilizer for measuring the concentration. Ideally, a laser grain sizer for measuring the grain size distribution in the water samples would also be very useful.

Water flow monitoring

Ideally, the water flow should remain constant during all the experiment. Monitoring the actual flow of the canal would therefore be very helpful. Some ADCP cross-sections were recorded during the workshop experiments. It was useful and it would be interesting keep measuring the flow regularly with an ADCP for further experiments. A pressure or ultrasonic sensor would also be very useful to monitor the water level of the supply tank, in order to provide an estimation of the real water inlet.

제12장. 참고 문헌

- Woo, H., Kim, W., and Ji, W. (2015). “River Hydraulics 2nd edition”, Cheong Moon Gak Publishing Co.
- Jung, S. (2008). “Current and Future of Hydrological Survey Center”, Magazine of Korea Water Resources Association, 41(8), 10-14.
- Choi, G., Lee, H., Koo, B., and Seo, J. (2007). “Compare and analysis of the sediment formula measuring a nature river” Proceeding of Korea Water Resource Association Civil ○ ○ Expo, 1293-1296.
- Colby, B.R. and Hubbell, D.W. (1961). Simplified methods for computing total sediment discharge with the Modified Einstein Procedure, U.S. Geological Survey, Water Supply Paper 1953.
- Sequoia (2012). LISST-100X User’s Manual Version 5.
- Throne, P., Hardscastle, P. (2007). “Acoustic measurement of suspended sediments in turbulent currents and comparison with in-situ samples” Journal of Acoustic Society and Atmosphere, 101(5), 2603-2614.
- Houtink, A., Hoekstra, P. (2005). “Observation of suspended sediment from ADCP and OBS measurements in a mud dominated environment” Coastal Engineering, 52(2), 103-118.
- Gartner, Jeffrey W. (2004). “Estimating suspended solids concentrations from backscatter intensity measured by acoustic Doppler current profiler in San Francisco Bay, California.” Marine Geology, 211.3: 169-187.
- Guerrero, M., Szupiany, R., and Latosinski, F. (2015). “Multi-frequency acoustics for suspended sediment studies: an application in the Parana River,” Journal of Hydraulic Research, 51(6) 696-707.
- Lee, C. J., Kim, W., Kim, C. Y. and Kim, D. G (2005). “Velocity and Discharge Measurement using ADCP” Journal of Korea Water Resource Association, Vol. 38, No. 10, pp. 811-824.
- Thorone, P.D. and Campbell, S.C. (1992). “Backscattering by a suspension of spheres”, The Journal of the Acoustical Society of America, Volume 92, Issue 2, pp.978-986.
- Deines, K. L. (1999) Backscatter Estimation Using Broadband Acoustic Doppler Current Profilers, TRDI Report.
- RDI, (1996). Acoustic Doppler Current Profilers - Principle of operation, A Practical Primer. San Diego, CA, RD Instruments.

- Wall, G., Nystrom, E., Litten, S. (2006). “Use of an ADCP to compute suspended sediment discharge in the Tidal Hudson River, New York” USGS Scientific Investigations Report 2006-5055.
- Guerrero, M., Szupiany, R. N., and Latosinski, F. (2013). “Multi-frequency acoustics for suspended sediment investigation: Validation in the Parana River.” *Journal of Hydraulic Research*, 51(6), 696 - 707.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.