



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

博士學位論文

ADCP를 활용한 제주도 자연하천의
평균유속분포 추정과 유량산정

濟州大學校 大學院

土木海洋工學科

梁世彰

2018年 8月

ADCP를 활용한 제주도 자연하천의 평균유속분포 추정과 유량산정






指導教授 楊 城 基

梁 世 彰

이 論文을 工學 博士學位 論文으로 提出함

2018年 6月

梁世彰의 工學 博士學位 論文을 認准함

審査委員長	김	남	형	
委 員	김	상	진	
委 員	박	원	배	
委 員	정	우	열	
委 員	양	성	기	

濟州大學校 大學院

2018年 8月

A STUDY ON THE MEAN VELOCITY
DISTRIBUTION OF NATURAL STREAM OF
JEJU ISLAND USING ADCP

Se-Chang Yang
(Supervised by professor Sung-Kee Yang)

A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements
for the degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering.

2018. 6.

This dissertation has been examined and approved by Doctoral Committee

Professor	Nam-Hyeong Kim
Professor	Sang-Jin Kim
Doctor	Won-Bae Park
Doctor	Woo-Yeol Jung
Professor	Sung-Kee Yang

August. 2018

DEPARTMENT OF CIVIL & OCEAN ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

目 次

目 次	i
LIST OF FIGURES	iii
LIST OF TABLES	vii
Summary	x
I. 서 론	1
1. 연구 배경 및 목적	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목적	3
2. 연구 동향	3
2.1 국외 연구동향	4
2.2 국내 연구동향	6
3. 연구 방법 및 범위	8
II. 이론적 배경	10
1. 자연하천의 유량조사 방법	10
1.1 유량관측	10
1.2 유량관측 방법	10
2. Chiu-2차원 유속분포식의 매개변수 추정방법	12
2.1 표면유속에 의한 평균유속 유도	13
2.2 엔트로피 최대화 원리에 기초한 유속분포식	14
2.3 엔트로피 매개변수 유도	14
3. 표면영상유속계(SIV)를 이용한 표면유속 측정과 유량산정	15
3.1 하천흐름의 영상획득	15
3.2 영상좌표계 변환과정	16
3.3 유속벡터에 의한 표면유속	16
III. 연구대상 유역 및 하천현장 실측자료	18
1. 연구대상 유역	18
1.1 유역 형상 및 지형 특성	19

1.2	유역 표고 및 경사 분석	21
2.	ADCP 현장 실측자료 구축	28
3.	표면영상유속계(SIV) 관측자료 구축	34
IV.	자연하천의 평균유속분포 추정 결과 및 고찰	36
1.	ADCP 실측자료를 이용한 평균유속분포 추정	36
1.1	하천 유속분포 추정을 위한 ADCP 실측자료의 이상치 보정	36
1.2	연구대상 하천의 평균유속분포 특성 및 해석	38
1.2.1	중문천의 평균유속분포 분석	38
1.2.2	강정천의 평균유속분포 분석	46
1.2.3	약근천의 평균유속분포 분석	54
1.2.4	연외천의 평균유속분포 분석	61
2.	하천 유속분포식의 매개변수 산정 및 검정	69
2.1	Chiu-2차원 유속 분포식의 매개변수 추정방법	69
2.2	연구대상 하천의 유속분포식 매개변수 산정	72
2.2.1	하천별 유속분포식 매개변수 산정	72
2.2.2	유속분포식 매개변수의 민감도 분석	100
2.2.3	실측자료의 비교·분석에 의한 매개변수의 적정성 검토	106
3.	제주 자연하천의 평균유속분포식에 의한 하천유량 산정 및 검증	123
3.1	유속분포식과 수심평균유속환산계수(0.85)에 의한 산정유량 비교·분석	123
3.2	표면유속-평균유속 회귀계수에 의한 산정유량 비교·분석	133
3.3	자연하천의 현장유량 검증	153
V.	결론	156
	참고문헌	

List of Figures

Fig. I -1. Flow-chart for the research process	9
Fig. II -1. $- \eta$ section coordinate-system(Chiu and Murray, 1992)	13
Fig. II -2. Surface image acquisition for SIV(Roh, 2005)	15
Fig. II -3. The relationship between Physical-coordinate and Image-coordinate(Fujita, 1998)	16
Fig. II -4. Cross correlation method technique(Kim, 2002)	17
Fig. III -1. Map of Basin for this study in Jeju Island	20
Fig. III -2. The altitude and slope of Jungmun-stream watershed	21
Fig. III -3. The altitude and slope of Gangjung-stream watershed	23
Fig. III -4. The altitude and slope of Akgeun-stream watershed	25
Fig. III -5. The altitude and slope of Yeonoei-stream watershed	27
Fig. III -6. ADCP operating approaches: a) fixed deployment; b) moving boat; c) cross-sectional area directly measured or unmeasured by ADCP (Kim, 2011)	29
Fig. III -7. Observation point of the Jungmun-stream	30
Fig. III -8. Application point of the ADCP in Jungmun-stream; a), b) photos of the field application; c) Applied to cross-section of ADCP	30
Fig. III -9. Observation point of the Jungmun-stream	31
Fig. III -10. Application point of the ADCP in Gangjung-stream; a), b) photos of the field application; c) Applied to cross-section of ADCP	31
Fig. III -11. Observation point of the Jungmun-stream	32
Fig. III -12. Application point of the ADCP in Akgeun-stream; a), b) photos of the field application; c) Applied to cross-section of ADCP	32
Fig. III -13. Observation point of the Jungmun-stream	33
Fig. III -14. Application point of the ADCP in Yeonoei-stream; a), b) photos of the field application; c) Applied to cross-section of ADCP	33
Fig. III -15. Rainfall and discharge observation of stream	34
Fig. III -16. Observation point(Gangjung-stream): a) state of the usual flow; b) using tracer-particle	35
Fig. III -17. Observation point(Yeonoei-stream); a) state of the usual flow; b) using tracer-particle	35
Fig. IV -1. Method of correcting outliers in observed ADCP data	37

Fig. IV-2. Field observational characteristics of ADCP sensor (observe the flow of about 0.07 m of lock)	38
Fig. IV-3. Jungmun-stream analysis result of flow velocity distribution (2011year average)	39
Fig. IV-4. Jungmun-stream analysis result of flow velocity distribution (2012year average)	40
Fig. IV-5. Jungmun-stream analysis result of flow velocity distribution (2013year average)	42
Fig. IV-6. Jungmun-stream analysis result of flow velocity distribution (2014year average)	43
Fig. IV-7. Jungmun-stream analysis result of flow velocity distribution (2015year average)	44
Fig. IV-8. Jungmun-stream analysis result of flow velocity distribution (2011~2015year average)	45
Fig. IV-9. Gangjung-stream analysis result of flow velocity distribution (2011year average)	47
Fig. IV-10. Gangjung-stream analysis result of flow velocity distribution (2012year average)	48
Fig. IV-11. Gangjung-stream analysis result of flow velocity distribution (2013year average)	49
Fig. IV-12. Gangjung-stream analysis result of flow velocity distribution (2014year average)	51
Fig. IV-13. Gangjung-stream analysis result of flow velocity distribution (2015year average)	52
Fig. IV-14. Gangjung-stream analysis result of flow velocity distribution (2011~2015year average)	53
Fig. IV-15. Akgeun-stream analysis result of flow velocity distribution (2011year average)	55
Fig. IV-16. Akgeun-stream analysis result of flow velocity distribution (2012year average)	56
Fig. IV-17. Akgeun-stream analysis result of flow velocity distribution (2013year average)	57
Fig. IV-18. Akgeun-stream analysis result of flow velocity distribution	58

(2014year average)	59
Fig. IV-19. Akgeun-stream analysis result of flow velocity distribution	60
(2015year average)	60
Fig. IV-20. Akgeun-stream analysis result of flow velocity distribution	61
(2011~2015year average)	61
Fig. IV-21. Yenoiei-stream analysis result of flow velocity distribution	63
(2011year average)	63
Fig. IV-22. Yenoiei-stream analysis result of flow velocity distribution	64
(2012year average)	64
Fig. IV-23. Yenoiei-stream analysis result of flow velocity distribution	65
(2013year average)	65
Fig. IV-24. Yenoiei-stream analysis result of flow velocity distribution	66
(2014year average)	66
Fig. IV-25. Yenoiei-stream analysis result of flow velocity distribution	67
(2015year average)	68
Fig. IV-26. Yenoiei-stream analysis result of flow velocity distribution	69
(2011~2015year average)	69
Fig. IV-27. Result of discharge rate sensitivity analysis of entropy coefficient	101
Fig. IV-28. Result of change in trend-line of entropy coefficient	103
Fig. IV-29. Result of discharge rate sensitivity analysis of coefficient	104
Fig. IV-30. Result of change in trend-line of coefficient	105
Fig. IV-31. One-to-one relationships of velocity measurement between	107
the observation data and the calculation data(Jungmun-stream)	107
Fig. IV-32. One-to-one relationships of velocity measurement between	111
the observation data and the calculation data(Gangjung-stream)	111
Fig. IV-33. One-to-one relationships of velocity measurement between	115
the observation data and the calculation data(Akgeun-stream)	115
Fig. IV-34. One-to-one relationships of velocity measurement between	119
the observation data and the calculation data(Yenoiei-stream)	119
Fig. IV-35. Result of velocity vector in Jungmun-stream using Surface Image Velocimetry(SIV)	124
Fig. IV-36. Jungmun-stream cross sectional areas for discharge calculation	124
Fig. IV-37. Result of velocity vector in Gangjung-strem using Surface Image	

Velocimetry(SIV)	126
Fig. IV-38. Gangjung-stream cross sectional areas for discharge calculation	127
Fig. IV-39. Result of velocity vector in Akgeun-stream using Surface Image Velocimetry(SIV)	128
Fig. IV-40. Akgeun-stream cross sectional areas for discharge calculation	129
Fig. IV-41. Result of velocity vector in Yeonoei-stream using Surface Image Velocimetry(SIV)	131
Fig. IV-42. Yeonoei-stream cross sectional areas for discharge calculation	131
Fig. IV-43. Comparison of the distribution of the surface velocity-average velocity(a) and R^2 result of applying the regression coefficient(Jungmun-stream)	136
Fig. IV-44. Comparison of the distribution of the surface velocity-average velocity(a) and R^2 result of applying the regression coefficient(Gangjung-stream)	141
Fig. IV-45. Comparison of the distribution of the surface velocity-average velocity(a) and R^2 result of applying the regression coefficient(Akgeun-stream)	146
Fig. IV-46. Comparison of the distribution of the surface velocity-average velocity(a) and R^2 result of applying the regression coefficient(Yeonoei-stream)	151

List of Table

Table III-1. Geological features of the studied basin	20
Table III-2. The altitude analysis result of Jungmun-stream watershed	21
Table III-3. The slope analysis result of Jungmun-stream watershed	22
Table III-4. The altitude analysis result of Gangjung-stream watershed	23
Table III-5. The slope analysis result of Gangjung-stream watershed	24
Table III-6. The altitude analysis result of Akgeun-stream watershed	25
Table III-7. The slope analysis result of Akgeun-stream watershed	26
Table III-8. The altitude analysis result of Yeonoei-stream watershed	27
Table III-9. The slope analysis result of Yeonoei-stream watershed	28
Table IV-1. Jungmun-stream analysis result of average flow characteristics (2011year average)	39
Table IV-2. Jungmun-stream analysis result of average flow characteristics (2012year average)	40
Table IV-3. Jungmun-stream analysis result of average flow characteristics (2013year average)	42
Table IV-4. Jungmun-stream analysis result of average flow characteristics (2014year average)	43
Table IV-5. Jungmun-stream analysis result of average flow characteristics (2015year average)	44
Table IV-6. Jungmun-stream analysis result of average flow characteristics (2011~2015year average)	45
Table IV-7. Gangjung-stream analysis result of average flow characteristics (2011year average)	47
Table IV-8. Gangjung-stream analysis result of average flow characteristics (2012year average)	48
Table IV-9. Gangjung-stream analysis result of average flow characteristics (2013year average)	49
Table IV-10. Gangjung-stream analysis result of average flow characteristics (2014year average)	51
Table IV-11. Gangjung-stream analysis result of average flow characteristics (2015year average)	52
Table IV-12. Gangjung-stream analysis result of average flow characteristics (2011~2015year average)	53
Table IV-13. Akgeun-stream analysis result of average flow characteristics (2011year average)	55
Table IV-14. Akgeun-stream analysis result of average flow characteristics (2012year average)	56
Table IV-15. Akgeun-stream analysis result of average flow characteristics (2013year average)	57
Table IV-16. Akgeun-stream analysis result of average flow characteristics (2014year average)	59
Table IV-17. Akgeun-stream analysis result of average flow characteristics (2015year average)	60
Table IV-18. Akgeun-stream analysis result of average flow characteristics (2011~2015year average)	61
Table IV-19. Yeonoei-stream analysis result of average flow characteristics (2011year average)	63
Table IV-20. Yeonoei-stream analysis result of average flow characteristics (2012year average)	64
Table IV-21. Yeonoei-stream analysis result of average flow characteristics (2013year average)	65
Table IV-22. Yeonoei-stream analysis result of average flow characteristics (2014year average)	66

Table IV-23.	Yenoiei-stream analysis result of average flow characteristics (2015year average)	68
Table IV-24.	Yenoiei-stream analysis result of average flow characteristics (2011~2015year average)	69
Table IV-25.	2011 year average flow velocity distribution characteristics of Jungmun-stream	73
Table IV-26.	2012 year average flow velocity distribution characteristics of Jungmun-stream	74
Table IV-27.	2013 year average flow velocity distribution characteristics of Jungmun-stream	75
Table IV-28.	2014 year average flow velocity distribution characteristics of Jungmun-stream	76
Table IV-29.	2015 year average flow velocity distribution characteristics of Jungmun-stream	77
Table IV-30.	Total average flow velocity distribution characteristics of Jungmun-stream	78
Table IV-31.	Calculation result of entropy coefficient and of Jungmun-stream	79
Table IV-32.	2011year average flow velocity distribution characteristics of Gangjung-stream	80
Table IV-33.	2012year average flow velocity distribution characteristics of Gangjung-stream	81
Table IV-34.	2013year average flow velocity distribution characteristics of Gangjung-stream	82
Table IV-35.	2014year average flow velocity distribution characteristics of Gangjung-stream	83
Table IV-36.	2015year average flow velocity distribution characteristics of Gangjung-stream	84
Table IV-37.	Toral average flow velocity distribution characteristics of Gangjung-stream	85
Table IV-38.	Calculation result of entropy coefficient and of Gangjung-stream	86
Table IV-39.	2011year average flow velocity distribution characteristics of Akgeun-stream	87
Table IV-40.	2012year average flow velocity distribution characteristics of Akgeun-stream	88
Table IV-41.	2013year average flow velocity distribution characteristics of Akgeun-stream	89
Table IV-42.	2014year average flow velocity distribution characteristics of Akgeun-stream	90
Table IV-43.	2015year average flow velocity distribution characteristics of Akgeun-stream	91
Table IV-44.	Total average flow velocity distribution characteristics of Akgeun-stream	91
Table IV-45.	Calculation result of entropy coefficient and of Akgeun-stream	93
Table IV-46.	2011year average flow velocity distribution characteristics of Yenoiei-stream	94
Table IV-47.	2012year average flow velocity distribution characteristics of Yenoiei-stream	95
Table IV-48.	2013year average flow velocity distribution characteristics of Yenoiei-stream	96
Table IV-49.	2014year average flow velocity distribution characteristics of Yenoiei-stream	97
Table IV-50.	2015year average flow velocity distribution characteristics of Yenoiei-stream	98
Table IV-51.	Total average flow velocity distribution characteristics of Yenoiei-stream	98
Table IV-52.	Calculation result of entropy coefficient and of Yenoiei-stream	100
Table IV-53.	Result of discharge rate sensitivity analysis of entropy coefficient	101
Table IV-54.	Calculation result of entropy coefficient trend-line	103
Table IV-55.	Result of discharge rate sensitivity analysis of coefficient	104

Table IV-56. Calculation result of entropy coefficient trend-line	106
Table IV-57. Result of parameter calculation for the study stream	106
Table IV-58. Calculation of Jungmun-stream for ADCP observation surface velocity and Chiu-2 dimensional velocity distribution formula surface velocity	107
Table IV-59. Calculation of Gangjung-stream for ADCP observation surface velocity and Chiu-2 dimensional velocity distribution formula surface velocity	111
Table IV-60. Calculation of Akgeun-stream for ADCP observation surface velocity and Chiu-2 dimensional velocity distribution formula surface velocity	115
Table IV-61. Calculation of Yenoiei-stream for ADCP observation surface velocity and Chiu-2 dimensional velocity distribution formula surface velocity	119
Table IV-62. Comparison of surface velocity and discharge (Jungmun-stream stream)	124
Table IV-63. Comparison of surface velocity and discharge (Gang-jung stream) ..	127
Table IV-64. Comparison of surface velocity and discharge (Akgeon-stream)	129
Table IV-65. Comparison of surface velocity and discharge (Yenoiei-stream)	131
Table IV-66. Result of regression analysis of surface velocity-average velocity(Jungmun-stream) ·	133
Table IV-67. Result of the discharge with the regression coefficient applied(Jungmun-stream)	137
Table IV-68. Result of regression analysis of surface velocity-average velocity(Gangjung-stream)	138
Table IV-69. Result of the discharge with the regression coefficient applied	142
Table IV-70. Result of regression analysis of surface velocity-average velocity(Akgeun-stream) ·	143
Table IV-71. Result of the discharge with the regression coefficient applied	146
Table IV-72. Result of regression analysis of surface velocity-average velocity(Yeonoiei-stream) ·	148
Table IV-73. Result of the discharge with the regression coefficient applied	151
Table IV-74. Comparison of ADCP discharge, depth-averaged velocity conversion factor(0.85) and regression coefficient calculated discharge	154
Table IV-75. Comparison of error rate of estimation discharge	155

Summary

ADCP flow measurement data were collected between July 2011 and June 2015 from perennial streams in Jeju Island including Jungmun-stream, Gangjeong-stream, Akgeun-stream and Yeonoe-stream. Parameters that take part in Chiu's 2-dimensional velocity distribution were predicted and verified. In addition, flow was calculated and analyzed using the velocity distribution equation and conventional depth-averaged conversion factor (0.85) and the surface velocity based on ADCP measurement and mean velocity regression coefficient. The results are as follows.

Based on the analysis of sectional mean velocity distribution by ADCP and computation of parameters for Chiu's 2-dimensional velocity distribution equation, the entropy coefficient (M) was 3.1136 for Jungmun-stream, 3.3459 for Gangjeong-stream, 2.7413 for Akgeun-stream and 3.597 for Yeonoe-stream. The iso-velocity curve parameter (ξ_{surf}) was 0.4620 for Jungmun-stream, 0.4375 for Gangjeong-stream, 0.4124 for Akgeun-stream and 0.4200 for Yeonoe-stream.

Flow sensitivity of the entropy coefficient (M) was evaluated within the input range of 1~2 in the range of 1~10 for all streams, and flow change rate was about 19%. Flow sensitivity of the iso-velocity curve parameter (ξ_{surf}) was evaluated within the input range of 0.1~0.2 in the range of 0.1~1.0, and flow change rate was about 47%.

Maximum velocity (u_{max}) and mean velocity (u) of each stream based on ADCP measurement data, the entropy coefficient (M) and the iso-velocity curve parameter (ξ_{surf}) were applied to Chiu's 2-dimensional velocity distribution equation. The r^2 value between surface velocity (u_{surf}) calculated using the velocity distribution equation and surface velocity of ADCP was 0.9267 for Jungmun-stream, 0.9242 for Gangjeong-stream, 0.8677 for Akgeun-stream and 0.8988 for Yeonoe-stream, showing extremely high correlation.

The mean error rate of flow based on ADCP velocity data was 16.01% with flow calculated using the conventional depth-averaged velocity conversion factor

(0.85), 6.02% with flow calculated using the surface velocity and mean velocity regression factor, and 4.58% with flow calculated using Chiu's 2-dimensional velocity distribution equation.

If surface velocity by a non-contact velocity meter is calculated as mean velocity, the error rate can be increased for large streams in the inland areas of Koera. Therefore, flow can be calculated more precisely by utilizing the velocity distribution equation that accounts for stream flow characteristics and velocity distribution instead of the conventional depth-averaged conversion factor (0.85).

A future study is required to examine the process of predicting parameters related to turbulent flow characteristics of flood and calculate flood volume in natural streams, and an additional study needs to quantify parameters related to flow characteristics and velocity distribution of independent streams.

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

1.1 연구 배경

물은 지구의 자연 생태계를 구성하는 모든 생물들의 근원이며, 우리사회에서 이수·치수·환경 등 물의 활용 목적에 따라 사회적·경제적 시스템과 밀접하게 연관되는 중요한 요소로써 국가 존속과 발전 등에 큰 영향을 미치는 자원이다. 그러나 최근 전 세계적 인 이상기후변화의 영향으로 국가적 또는 지역적으로 돌발성 집중호우에 의한 홍수피해가 빈번하게 발생하거나 극심한 가뭄에 시달리는 등 극한 기상현상이 빈발하고 있다. 특히 태풍의 발생 빈도·규모가 대형화되는 추세를 보이고 있어 자연재해에 의한 인명 및 재산피해는 매년 증가하고 있는 실정이다.

「2017 이상기후보고서(관계부처협동)」에 의하면 전 지구 평균기온이 지속적인 증가를 보이고 있으며, 평균기온이 20세기 평균기온 보다 0.84℃ 높은 14.8℃로 예측하고 있어 1880년 관측 이후 세 번째로 높은 기온을 보였다. 매년 가속화되는 전 세계적 이상기후 현상의 영향으로 국가차원에서 지역 특수성을 고려한 체계적인 이수·치수관리가 시급하다.

최근 빈번히 발생하는 자연재해 피해의 원인 중 수재해가 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 발생 빈도와 규모도 점진적으로 증가하는 추세를 보이고 있다. 따라서 기후변화의 영향에 의한 국지적·지역적 하천유출 특성을 파악하여 치수 목적의 하천치수체계 구축과 이수 목적의 운영·관리대책수립이 필요하다. 특히 기초 홍수수문 성분자료인 하천 유량자료의 지속적인 관측과 적절한 분석이 수행되어야만 지역특수성을 고려한 치수·이수 목적의 효율적인 수자원대책을 수립할 수 있다. 하천 유량자료는 해당 구역의 물 순환 해석과정에 적용되는 유출특성 해석 및 강우-유출 모델의 검·보정, 방재차원의 하천정비 및 시설물 구축 등에 기초자료로 활용되기 때문이다. 그러나 정기적·지속적이고 신뢰성이 높은 유량자료의 측정·해석 업무에는 여전히 많은 어려운 문제점이 있다. 특히 우리나라의 수자원 관련 관리기술은

시스템 측면에서 많은 발전을 보이고 있지만 이를 뒷받침하는 유량자료의 관측과 분석 및 활용에 대한 이론적인 연구는 매우 부족한 실정이다(Choo, 2002).

제주도는 우리나라 최다우 지역으로써 연평균 강우량이 약 2,061mm에 달하지만 투수성이 높은 화산암질의 지질구조로 인해 전체 143개의 하천(지방 2급 하천 60개소, 소하천 83개소) 중 9개소의 상시하천을 제외한 모든 하천이 평상시 물이 흐르지 않는 건천을 형성하고 있다(Yang, 2007). 따라서 이러한 수문환경이 우리나라 내륙 지방과는 매우 상이하거나 특이하여 특수지역으로 분류하기도 한다. 대부분의 하천은 한라산을 중심으로 경사가 급한 남·북부 사면의 제주시와 서귀포시를 중심으로 분포하고 있으며, 상대적으로 경사가 완만한 동·서부지역은 하천 발달이 매우 빈약한 특징을 나타낸다(Yang et al., 2011).

제주도내 9개 상시하천 중 제주시 지역 2개소(광령천, 옹포천) 하천을 제외한 7개소 하천(창고천, 예래천, 중문천, 강정천, 악근천, 연외천, 동홍천)이 주로 서귀포 지역에 위치하고 있으며, 이들 상시하천은 강수가 중산간 지역에서 대부분 지하수로 함양되어 하류부에서 기저유출형태로 발생하고 있다(Kim et al., 2014).

기존의 하천 유량조사를 위한 유속측정방법에는 평수기 시 프로펠러 회전식 및 전기식 유속계를 활용한 도섭법이 이용되고 있으며, 홍수기에는 부자를 이용한 유속 관측 등 주로 접촉식 유속측정결과를 하천단면에 적용하여 유량으로 산정하는 방법이 활용되고 있다. 그러나 현장관측 과정에서 많은 인력과 시간이 요구되며 측정방법과 측정시간에 따른 오차발생 문제와 홍수 유출 시에는 관측자의 안전에 위험이 있어 상황에 따라 적용 불가능한 단점도 있다. 따라서 이를 해결하기 위해 비접촉식 유속측정방법으로 보다 간편하고 정밀하게 유속을 측정할 수 있는 장비개발과 측정방법을 개선하려는 많은 연구들이 수행되고 있다(Kim et al., 2011).

최근 비접촉식 유속측정방법으로 도플러효과를 적용한 전자파 표면유속계(한국수자원공사)와 연속된 이미지 분석기법을 적용한 표면영상유속계(SIV, Surface Image Velocimeter)를 활용한 연구·개발이 국내외에서 많이 진행되고 있다(Yu et al., 2005; Kim et al., 2011). 이 같은 최신 유속측정방법은 기존 접촉식 유속측정방법의 단점을 보완하여 특수 지역의 급변하는 유량변동 상황에 대해 신속한 유속측정이 가능하며, 항천시 접근 불가능한 현장관측과 원거리에서 연속적인 유속 관측이 가능하다. 최신 비접촉식 유속측정방법은 관측 지점의 원거리에서 표면유속을 관측하고 해당 단면의 수심-단면적을 적용하여 유량으로 산정하는 공통점이 있다. 비접촉

식 유속측정 방법으로 관측된 유속은 관측 지점의 표면유속을 나타내고 있어 유량으로 산정하는 과정에서 평균유속으로 변환하는 과정이 필요하다. 이 과정에서 하천의 규모 및 상류부 굴곡부의 영향 등 하천 흐름특성과는 관계없이 일률적으로 수심평균유속환산계수인 0.85를 표면유속에 적용하도록 제시되고 있어 하천 흐름의 특성을 반영한 타당성과 개선이 필요하다.

1.2 연구 목적

자연하천과 같은 개수로의 수직유속분포는 유속관측지점의 횡방향 단면형상과 하도를 구성하는 조도계수 특성, 상류지점의 굴곡부 등의 영향을 받으므로 하천의 특성에 따라 각기 다르며, 하천별·단면별 매우 상이한 유속분포를 보인다.

전자파를 이용한 비접촉식 유속관측기법으로 표면유속을 관측하여 유량으로 환산하는 과정에서 일률적인 수심평균유속환산계수의 적용에 대한 적정성 및 신뢰성에 대한 문제와 평균유속의 대표치에 대한 검토가 필요하다. 특히, 하천의 실측 유속자료 부족으로 인해 하천단면의 유속분포를 모의하는 연구는 매우 부족하며, 자연하천의 정밀한 흐름 측정과 하천유량의 산정과정에 대한 고찰도 필요하다.

이 연구에서는 2011년 7월 22일부터 2015년 6월 5일까지 제주도 남부에 위치한 9개 상시하천 중 중문천, 강정천, 약근천, 연외천을 대상으로 월 1~2회 음향 도플러 유속계(Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP)를 활용한 하천현장 유속관측 자료와 엔트로피 확률기법을 이론적 기초로한 Chiu-2차원 유속분포식을 이용하여 흐름특성에 관여하는 매개변수를 추정하였다. 또한 하천의 횡단면 유속분포 구간에서 추정된 매개변수를 검증하기 위해 하천현장에서 표면영상유속계(Surface Image Velocimeter, SIV)를 활용하여 유속 및 유량을 산정하고 동 시간에 관측된 ADCP의 관측유량과 비교·검토하였다. 연구대상 하천의 유속분포 특성을 고려한 정밀도 높은 유량을 산정하기 위하여 유속분포식과 기존 수심평균환산계수(0.85)에 의한 산정유량을 비교·분석하고, ADCP 실측 유속자료의 표면유속과 평균유속 회귀계수에 의한 산정유량을 비교·분석하고 검증하였다.

2. 연구 동향

2.1 국외 연구 동향

최근 국외의 유량측정에 대한 기술개발 현황은 무인의 자동유량관측 방향으로 진행되고 있으며, 관측자의 안전과 유량의 품질향상을 목적으로 활발한 연구가 진행되고 있다.

미국은 1980년대에 음향 도플러 유속계(Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP)를 개발하여 해양분야의 수리동역학적 특성을 규명하였다. 해양분야의 적용 이후 ADCP를 자연하천 유량관측에 적용하여 하천단면에 연속적인 유속분포를 측정하는 기술을 축적해 오고 있다. 또한, ADCP를 활용한 유량관측 기술의 안정화를 위해 미국 USGS에서는 약 57%의 주요 유량 관측소에 설치하여 운용하고 있다(Muste et al., 2007; Kim et al., 2011; Jung, 2013). USGS는 관측유량의 품질 향상을 위해 관측 지점에서 최저 4회의 계측을 수행하고 관측 자료에 5%의 이상의 오차가 있는 경우는 재 관측하여 평균한 값을 실측 유량으로 사용하고 있다(하천관측의 신시대, 2010). 한편 영상분석기법(Image analysis method)의 일환인 LSPIV(Large-Scale Particle Image Velocimetry)에 관련한 연구가 지속적으로 진행되고 있으며, 레이더를 이용한 표면유속 측정 등 자동유량측정 장치를 개발하여 현장에 적용하고 있다(과학기술부, 2004).

일본은 하천 평수위 시 측정된 장기간 유량관측 자료를 활용하여 주요 하천별 수위-유량관계곡선식을 유도하여 사용되고 있으며, 홍수기에는 주로 부자를 활용한 접촉식 유속관측법이 적용되고 있다. 그러나 기존 접촉식 유속관측법의 관측 한계점으로 인해 1990년대부터 비접촉식 유속관측법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 대표적인 방법으로 Fujita(1994) 등에 의해 기존 LSPIV의 영상분석기법 활용하여 열악한 조건에서도 하천 표면유속을 관측할 수 있는 STIV(Space-Time Particle Image Velocimeter)가 제안되었다. 한편 수자원 분야의 많은 연구자 및 실무자들이 ADCP를 활용한 유량관측법이 매우 유효한 관측법으로 인식되면서 널리 사용되고 있는 경향을 보이고 있다.

중국은 1998년도에 발생한 대홍수피해의 영향으로 인해 중국 정부에서 수자원 분야의 대규모 투자가 확대되었으며 유량관측기술 및 관측방법과 자동화 기술면에서

많은 발전을 이루고 있다. 특히 프로펠라형 유속계, 프라이어 유속계 등 계측기기의 기술개발이 국제수준에 도달하였으며, 접촉식 유속관측법 외에도 초음파 유속계, 전자파 유속계 등 외국의 첨단 계측기기를 사용하고 있다(Yu, 2005).

자연하천의 확률론적 유속분포와 관련된 연구는 기존 로그법칙이나 떡법칙이 단면 유속분포가 연직방향으로 단순 증가하는 한계점을 인식하여 1987년도에 Chiu에 의해 시작되었으며 수리학 분야에 확률론적인 엔트로피 개념을 적용하여 2-차원 유속분포식에 관계된 식을 정립하였다.

Chiu(1988)는 유속분포의 매개변수인 엔트로피계수()을 도입하고 수치모의 자료를 이용하여 유속분포 특성을 분석하였다. Chiu & Said(1995)는 실제 자연하천에서 유속분포특성이 일정부분 평형성을 유지하는 경향이 유속분포식에 엔트로피계수(M)에 적용됨을 증명하여 단면 최대유속이 포함된 연직유속분포를 활용한 유량산정기법을 개발하였다. 또한 Chiu & Tung(2002)에 의해 특정 단면의 시간변화에 따라 유량이 변동되어도 단면 최대유속과 평균유속의 관계가 일정 범위에서 유지되는 특성이 있음을 밝혔었다. 한편 de Araujo & Chaudry(1998)는 도플러효과를 활용한 레이더 유속계 LDV를 개수로 실험에 적용하였으며, 엔트로피 확률기법을 적용한 Chiu-2차원 유속분포식을 실측 유속분포와 비교한 결과 기존의 로그분포에 비해 잘 일치하는 것을 입증하였다. Moramarco and Singh(2001)은 유량관측소의 최대유속과 평균유속의 관계를 이용하여 Chiu-2차원 유속분포식에 관계된 매개변수를 추정하고 홍수시 관측 지점에서 인접한 관측소의 유량을 추적하는 연구가 수행되었다.

Moramarco et al(2003)은 이탈리아에 형성된 대규모 티버강을 대상으로 최대유속과 평균유속의 관계를 이용하여 Chiu-2차원 유속분포식의 주요 매개변수인 엔트로피 계수(M)가 4개소의 관측소에서 거의 일치하는 경향을 밝혔으며 기존 유속분포 추정방법에 비해 자연하천의 유속분포를 합리적으로 추정할 수 있음을 보였다.

영상분석기법을 이용한 수표면의 유동장 해석에 대한 연구는 최초로 1971년에 Leese 등에 의해 시도되었으며 영상처리기술은 1991년 Adrian에 의해 도입되었다.

관련 기법을 적용한 표면영상유속계(SIV)는 일본에서 1990년대 중반에 개발되어 하천 유속측정에 활용되었다(Fujita & Komura, 1994; Aya et al., 1995; Fujita et al. 1997). 이 과정에서 Fujita & Komura(1994), Aya et al.(1995)에 의해 하천의 유

출영상을 영상저장장치에 기록하는 과정에서 2차원의 비스듬한 각도로 촬영된 영상을 보정하는 식을 개발하고 하천 제방의 유출영상을 분석하여 표면 유속장을 계산하였다. 또한 Fujita et al.(1997)은 요도강을 대상으로 홍수시 표면영상유속계를 적용하여 표면유속을 계산하였으며 분석에 적용되는 수집영상에 따라 최대 7%까지 유속 차이가 발생함을 나타냈다. 그러나 관련 기술은 관측지점의 규모에 제약 없이 적용가능성을 나타냈으며, 유속을 분석하는 과정에서 하천의 유출영상을 활용하므로 기존 유속관측방법의 적용이 불가능한 지역에서도 효과적으로 적용할 수 있음을 확인하였다. Muste et al.(2011)은 표면영상유속계를 Iowa 강에 적용하고 산정유량 결과와 ADCP 관측 결과와 비교·분석하였으며, 그 결과 표면영상유속계가 홍수 시 연속적인 유량 측정과정에서 장점과 적용 가능성을 확인하였다.

2.2 국내 연구 동향

기존 국내 유량관측방법은 부자 및 도섭법을 이용한 장기간 관측유량을 활용하여 주요하천별 수위-유량관계곡선식을 적용하여 사용되고 있으며, 최근에는 자동유량관측을 목적으로 발전된 첨단기술을 활용하는 방향으로 연구가 진행되고 있다.

국내 유량조사사업단에서는 주요하천의 유량을 관측하는 과정에서 ADCP 사용률이 2009년부터 2015년도까지 7.8%였으나 2015년부터 최근까지 69.0%로 사용률 증가를 나타내며 기존 유량관측법을 활용한 측정성과를 상회하고 있다(Kim et al., 2016).

현재 제주도의 전체 143개소 하천 중 9개소의 상시하천을 대상으로 수행된 유량관측현황은 전무한 실정이며, 제주도의 높은 투수성으로 인한 134개소의 건천은 돌발성 홍수유출특성과 급경사, 짧은 유하거리 등 지역적인 특수성으로 인해 현장관측이 매우 어려운 실정이다. 또한 국내의 유량조사사업단에서 활용되는 자동유량관측도 건천의 홍수유출시 부목, 자갈 등에 의한 부유물에 관측기기가 타격을 받아 제주도 하천에는 적용이 거의 불가능한 실정이다(Yang et al., 2015).

국내의 자연하천 유속분포에 관련된 연구에는 추태호(1999a, 1999b, 2002a, 2002b)에 의해 엔트로피 개념과 단면 최대유속을 이용한 유량산정 방법에 대해 검토하고

국내 하천에 적용하는 연구가 활발히 수행되었다. 또한 이찬주 등(2007)은 국내 8개 하천관측지점에 Chiu-2차원 유속분포식을 적용하고 ADCP의 관측자료와 비교하여 적용성을 검토하였으며 자연하천의 엔트로피계수() 값이 일정 범위를 나타내는 것을 보였다. 김창완 등(2008)은 실제 자연하천을 대상으로 Chiu-2차원 유속분포식을 적용할 경우 하천 단면의 비대칭성이 큰 경우와 횡방향 흐름단면이 복잡한 경우 산정유량의 정확도가 떨어짐을 나타냈다.

국내의 표면영상유속계(SIV)에 대한 연구에는 윤병만(2001) 등에 의해 영상분석기법의 일환인 PIV(Particle Image Velocimeter)를 수리학분야에 적용성을 검토하고 곤지암천을 대상으로 LSPIV(Large-Scale Particle Image Velocimeter)기법을 적용하여 표면유속장을 추출하였다. 또한 노영신(2002) 등은 LSPIV기법을 검증하기 위해 개수로 실험장치를 활용하고 관측된 표면유속을 평균유속으로 환산하는 방법을 개발하였다. 류권규 등(2008)은 영상저장장치를 이용한 하천 유출영상을 수집하는 과정에서 흔들리는 영상을 보정하여 분석하는 알고리즘을 개발하였으며, 김서준(2008)은 하천 표면유출영상의 촬영각도와 수표면에 반사되는 빛의 밝기변화에 따른 오차율을 분석하였다. 한편 김영성(2006)과 이현석(2010)은 표면영상유속계를 활용하는 과정에서 오차발생 요인에 대해 27개의 오차 성분들을 정리하고 수집된 연속 이미지 내의 입자군 분포와 크기에 따라 표면영상유속계의 산정결과에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 김서준(2013)은 표면영상유속계(SIV)의 분석과정에서 상관영역 크기에 따른 오차분석과 적외선 카메라를 이용한 야간유속측정 방법에 대한 연구를 진행하였다. 류권규(2015)는 안드로이드 기반의 스마트폰을 활용하여 실시간 유속관측이 가능한 표면영상유속계(SIV)의 개발과 분석결과의 정확도 향상을 위한 시공간 영상의 상호상관분석법에 대해 연구하였다.

이 연구에서는 국내외에서 진행된 자연하천의 유속분포식에 관련된 연구와 영상분석기법을 적용한 표면영상유속계의 연구·개발동향을 선행연구로 참하였다. 그러나 기존의 연구에서는 Chiu-2차원 유속분포식과 관련된 실측 자료의 부족으로 자연하천의 단면 2차원 유속분포를 모의하는 연구는 거의 이루어지지 못하였다. 또한 과거 유량관측기기의 정도 저하문제로 인해 정밀도 높은 연구가 수행되지 못하고 이론 및 실내실험 중심으로 연구가 수행되어 상대적으로 자연하천을 대상으로 한 연

구는 부족한 실정이다. 특히 제주도 상시하천을 대상으로 하천 유속분포특성을 고려한 정밀한 유량산정 연구가 전무한 실정이다.

3. 연구 방법 및 범위

제주도 서귀포지역의 상시하천(중문천, 강정천, 악근천, 연외천)을 대상으로 하천의 평균유속분포 특성 및 해석을 위해 5개년(2011.7~2015.6)간 ADCP를 활용한 유량관측을 실시하였다. ADCP 현장실측 자료는 Chiu-2차원 유속분포식(1987, 1988)에 관계된 매개변수인 M 과 urf, ϕ 를 추정하는 과정에서 매우 중요한 자료로 활용되었으며, Chiu-2차원 유속분포식으로 산정된 표면유속과 관측 표면유속을 비교·분석하여 추정된 매개변수의 신뢰성을 검토하여 자연하천의 적용성을 분석하였다. 또한 ADCP 실측자료 기반의 표면유속-평균유속 회귀계수를 산정하고, 기존 각 수문분야에서 표면유속을 평균유속으로 환산하는 과정에서 자연하천의 유출특성을 고려하지 않고 일률적으로 사용되는 수심평균유속환산계수(0.85)와 유속분포 산정식 결과를 비교·분석하여 신뢰성을 검토하였다. 특히 ADCP를 활용한 자연하천의 흐름특성에 관계된 매개변수 추정과 하천 유속분포특성을 고려한 유량산정 결과의 검증을 위해 표면영상유속(SIV)를 적용하고, 연구대상 하천의 유속분포 특성을 고려한 정밀도 높은 유량 산정과정을 검토·제안 하였다([Fig.I-1]).

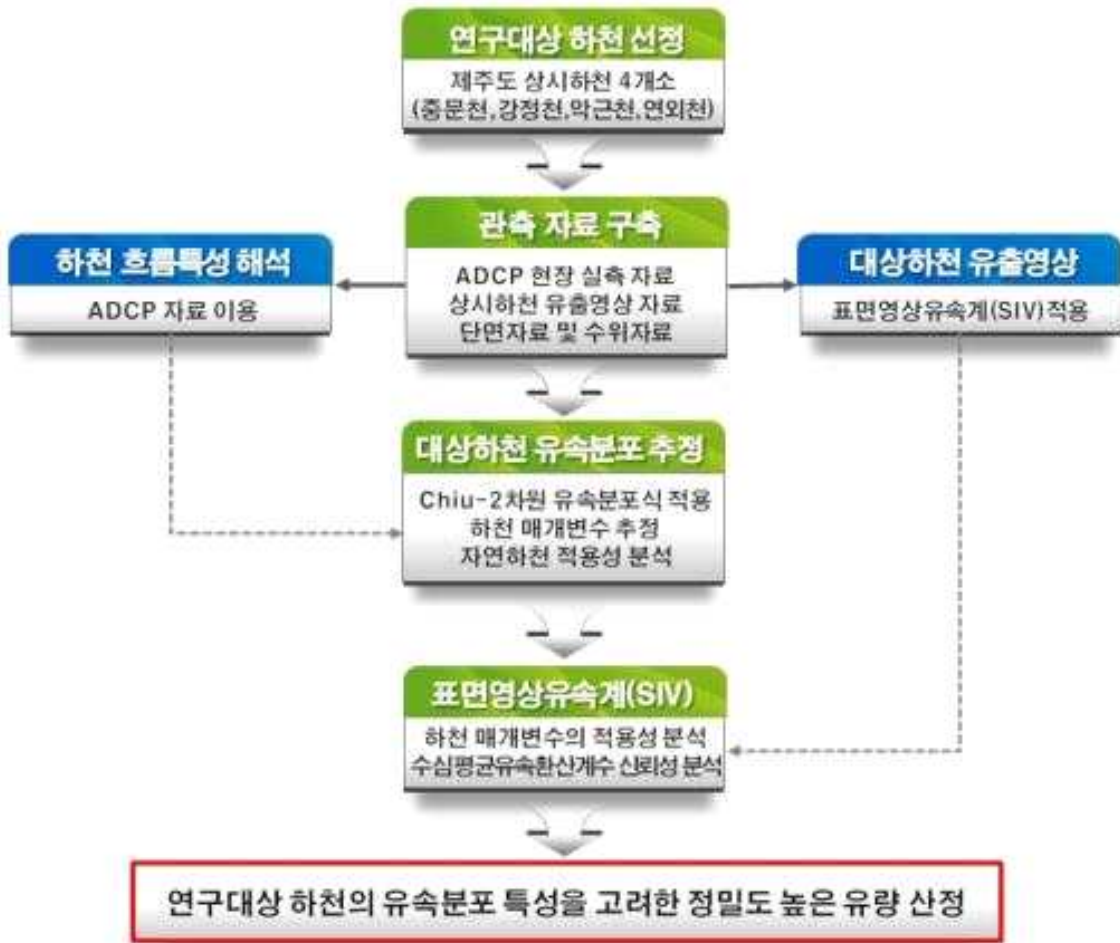


Fig. I -1. Flow-chart for the research process

II. 이론적 배경

1. 자연하천의 유량조사 방법

1.1 유량관측

특정 지역을 대상으로 해당 수자원의 효율적인 관리를 위해서는 지속적이고 신뢰적인 유량 조사 자료 수집과정이 매우 중요하다. 수집된 유량 자료는 모든 수문분야에서 기초자료로 활용되지만, 장기적이고 관측자료의 신뢰도가 높은 유량자료의 수집과정은 기술적으로나 경제적으로 많은 어려움이 있다.

특정 하천의 유량 자료란 관측 횡단면을 기준으로 단위시간 동안 통과하는 물의 양을 의미하며 관련 식은 식 (II-1)과 같이 해당 횡단면을 통과하는 유속(V /sec)과 이를 통과하는 단면적(A)으로부터 산정할 수 있다..

$$Q = AV \quad (\text{II-1})$$

여기서, Q 는 유량(m^3/sec), A 는 수심-단면적(m^2), V 는 유속(m/sec)이다.

전체 단면을 기준으로 측정되는 유량은 단일 지점의 유속을 단면적에 적용하여 유량을 산정하는 것보다 여러 개의 측선을 구분하여 측선에 해당되는 유속들과 설정된 측선 사이의 단면적을 적용하여 개별 유량 산정 후 전체 합산하여 유량을 산정한다.([식(II-2)])

$$Q = \sum_{i=1}^n A_i V_i \quad (\text{II-2})$$

1.2 유량관측 방법

1.2.1 유속계에 의한 방법

기존 유량 측정방법에는 단면의 유속을 관측하고 해당 단면적을 적용하여 전체 유량을 산정하는 과정이 주를 이루고 있다. 이 과정에서 적용되는 유속계의 종류에는 플로펠라 회전식 유속계, 전자식 유속계, 초음파 수직평균 유속계가 있다. 유속계에 의한 지점유속계의 유량산정 과정은 관측자의 안전상의 이유로 홍수 시에는 적용이 불가하며 평상시에만 적용이 가능하다.

상기의 지점 유속을 활용하는 유속 관측 장비 중 대외적으로 초음파를 이용하는 유속계의 정밀도가 높은 것으로 인식되고 있으나 연구대상 지역인 제주도 상시하천과 같이 평상시 수위가 낮은(약 30 cm) 미안의 수심에서는 정확도가 낮아지며 일반적인 유속관측 장비에 비해 사용이 제한되는 단점이 있다.

1.2.2 부자에 의한 방법

기존 접촉식 유속관측 방법은 평상시 유출상태에서만 적용이 가능하므로 홍수시의 적용은 현실상 불가능하다. 따라서 홍수시에는 부자를 활용하여 해당 단면의 유속을 측정하는 방법이 주로 활용되고 있다. 부자에 의한 유속 측정방법은 관측지점에 부자를 투하하여 부자의 이동 거리와 시간을 이용하여 평균유속을 산정하는 방법이다. 그러나 연구대상 지역인 제주도의 홍수 사상에 대해 부자를 적용할 경우 매우 심각한 난류성 흐름이 발생하여 부자를 적용하는 과정에서 측선을 따라 이동하지 않는 경우가 발생하여 제주도의 흐름특성을 고려하였을 때 현실적인 적용이 매우 어려운 방법이다.

1.2.3 전자파표면유속계에 의한 방법

유속 관측 방법 중 전자파를 이용한 유속관측방법은 하천 흐름방향을 기준으로 상류 방향에 도플러 효과를 이용하여 전자파를 발사한 후 반사되는 전자파를 이용하여 유속을 측정하는 방법이다. 전자파표면유속계에 의해 관측되는 유속이 수표면의 순간적인 유속을 관측하므로 동일지점의 연속적인 유속을 관측하고 평균하여 산정하고 있으나, 수표면의 유속을 이용하므로 유량산정하는 과정에서 관측 하천의 흐름특성을 고려하여 표면유속-평균유속의 관계를 정립할 필요가 있다. 현재 연구대상

지역인 제주도내의 주요 하천의 일부구간에는 고정식 전자파표면유속계(Kalesto)가 설치되어 운영되고 있다. 전자파 표면유속계는 상기의 유속측정 방법에 비하여 원거리에서 유속을 관측하므로 관측자의 기본적인 안정성을 확보할 수 있으며, 주·야간 구분 없이 연속적인 유속·수심 관측이 가능하여 가장 현실적인 방법이라고 할 수 있다. 그러나 관측되는 유속 자료는 하천 단면을 기준으로 단일 지점의 유속 관측 값이며, 이 값을 수심의 영향에 따른 전체 단면적을 적용하여 유량을 산정하므로 과대 또는 과소로 산정되는 단점이 있으므로 특정 하천에 설치된 전자파표면유속계를 활용할 경우 장기간 관측된 유속자료를 기준으로 보정식을 산정하는 과정이 추가적으로 필요하다.

1.2.4 초음파 유속분포측정기(ADCP 또는 ADP)

현재 수자원 관측 분야에서 활발하게 적용되는 초음파유속분포측정기(ADCP, ADC)는 관측기 하부 센서에서 초음파를 발생하여 도플러 효과를 이용한 연속적인 유속분포를 측정할 수 있는 계측장비이다. 관측장비 센서에서 발생하는 초음파는 반사되어 되돌아오는 음파를 일정 시간간격으로 분할하며 적용 수심을 기준으로 하부의 셀단위로 분리하여 유속을 계산한다. 이 과정에서 2~100 cm 단위로 빔의 진행방향에 따라 각각의 빔에서의 3차원 유속을 측정하기 위해 수학적으로 전환하여 유속을 측정한다.

본 연구에 적용된 Sontek사의 River-surveyor M9 장비는 센서 하부에 9개의 관측 센서가 설치되어 있어 저수심과 고수심에 적용할 수 있도록 설계되어 있다.

2. Chiu-2차원 유속분포식의 매개변수 추정방법

2.1 표면유속에 의한 평균유속 유도

최신 유량관측방법들은 비접촉식으로 관측되는 유속을 활용하여 단면적을 적용한 유량 산정과정으로 진행되며, 단면의 일부분의 수표면 유속을 이용하여 전체 단면에 적용되므로 해당 관측 하천(관측 지점)의 유속분포에 대한 이론적인 기초가 필

요하다. 이 과정에서 확률통계에서 사용되는 엔트로피 최대화의 개념을 수리학적으
로 응용한 2차원 유속분포식이 Chiu(1987, 1988)에 의해 처음으로 제안되었으며, 본
논문에서 Chiu-2차원 유속분포식에 해당되는 전체 관계식들의 이론적 배경으로 적
용(인용)하였다.

2.1.1 등유속선-직교선 좌표체계

Chiu-2차원 유속분포식은 적용 단면의 동일한 유속을 연결하는 등유속선 와 직
교선 η 로 구성되는 $\xi-\eta$ 좌표계를 이용한다([Fig. II-1]). 단면 하폭과 수심의 성분으
로 구성된 직교 좌표계는 식(II-7)에 의해 $\xi-\eta$ 좌표계로 변환된다(Chiu and
Murray, 1992).

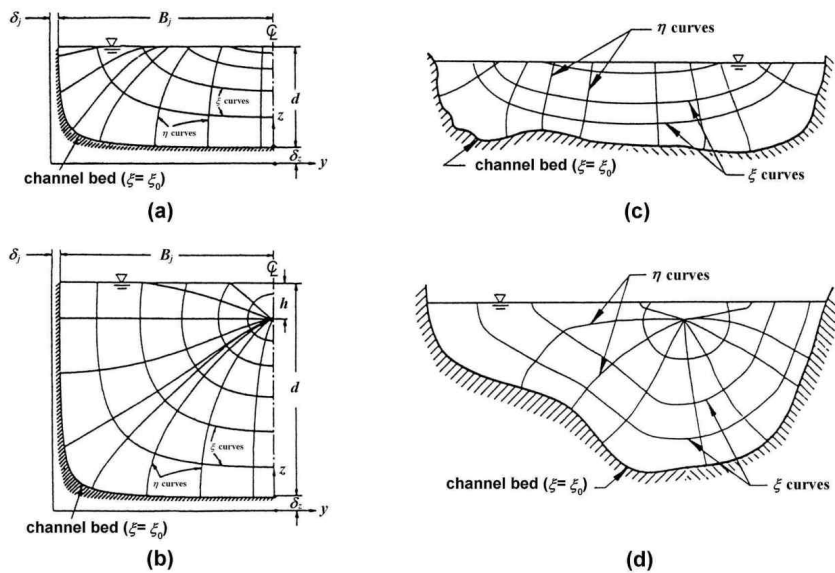


Fig. II-1. $\xi-\eta$ section coordinate-system(Chiu and Murray, 1992)

$$\xi = (1 - Z) \exp(\beta_i Z - Y + 1) \quad (\text{II-3})$$

여기서 $Y = \frac{y + \delta_y}{D + \delta_y + h}$, $Z = \frac{z}{B_i + \delta_i}$ 이며, y 는 직교좌표에서 하상으로부터의 연직방
향 거리, D 는 연직방향으로 최대유속이 발생하는 위치의 수심, h 는 최대유속 발생

위치의 수면으로부터 거리, ξ 는 최대유속측에서 하안 방향 거리, ξ_{\max} 는 최대유속측으로부터 하안까지 수면폭이며, 좌안과 우안을 별도로 계산된다(Chiu and Murray, 1992).

2.2 엔트로피 최대화 원리에 기초한 유속분포식

본 연구에 적용되는 Chiu-2차원 유속분포식은 하천단면에서 흐름특성에 관계되는 엔트로피 계수(M)가 일정하다는 가정으로 시작되며 관계 식은 다음과 같이 정리된다(Chiu, 1988).

$$\frac{u}{u_{\max}} = \frac{1}{M} \ln \left[1 + (e^M - 1) \frac{\xi - \xi_0}{\xi_{\max} - \xi_0} \right] \quad (\text{II-4})$$

여기서 등유속선 ξ 에서 유속 u 를 나타내는 일반적인 유속분포식은 식 (II-5)와 같이 유도할 수 있다(Chiu, 1988).

$$u = \frac{u_{\max}}{M} \ln \left[1 + (e^M - 1) \frac{\xi - \xi_0}{\xi_{\max} - \xi_0} \right] \quad (\text{II-5})$$

식 (II-4)은 M 을 매개변수로 갖는 개수로 단면에서의 2차원 유속분포에 관한 일반 공식이며, 단면상에서 특정 등유속선 ξ 상에 있는 모든 유속은 식 (II-5)에 의해 계산될 수 있다(Chiu, 1988).

2.3 엔트로피 매개변수 유도

Chiu-2차원 유속분포식에서 유속분포의 동질성을 결정하는 수리학적 매개변수 M 에 관한 식은 식 (II-6)과 같다.

$$\phi(M) = \frac{u}{u_{\max}} = \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \quad (\text{II-6})$$

여기서 ()은 단면의 최대유속과 단면 전체의 평균유속 간의 비율을 나타내며, 엔트로피 계수(M)의 함수이다. 본 연구대상 하천을 대상으로 ADCP로 관측된 최대 유속과 평균유속을 적용하고 역산하여 하천의 엔트로피 계수를 계산한다. 엔트로피 계수(M)은 특정하천의 유속분포에 가장 큰 영향을 미치는 변수 값으로써 적용된다 (Chiu, 1988).

3. 표면영상유속계(SIV)를 이용한 표면유속 측정과 유량산정

표면영상유속계(SIV)에 의한 유속측정 과정은 수집된 유출 영상을 연속적인 이미지로 분할하여 이미지 사이의 시간 간격과 수집 이미지의 화소에 따른 명암 등급을 분석하여 동일한 입자군의 이동거리를 계산하여 최종적으로 수표면의 유속을 관측하는 방법이다.

3.1 하천흐름의 영상획득

표면영상유속계(SIV)는 수표면의 유동을 촬영한 영상자료를 활용하므로 분석구간의 유동장을 2차원의 화면에 담는 과정이 매우 중요하다. 이 과정에서 대상영역의 기준점을 포함한 구역설정을 사전에 실시하고 항천시 유출영상을 한 화면에서 최대한 흔들이 적은 상태로 유출영상을 수집하여야 분석과정에서 오차율을 줄일 수 있다.

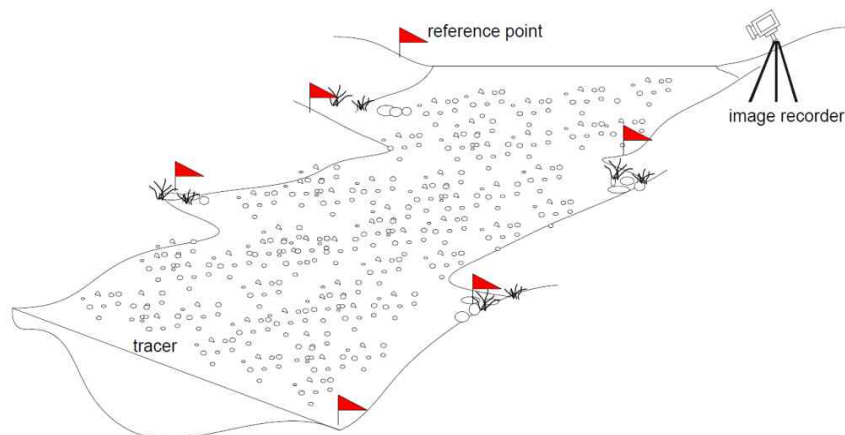


Fig. II-2. Surface image acquisition for SIV(Roh, 2005)

3.2 영상좌표계 변환과정

실제 3차원의 유출영상을 영상장비를 이용한 기록과정에서 2차원의 평면 상태로 저장·분석되므로 이 과정에서 발생하는 영상왜곡을 보정하기 위해 실제 좌표계와 이미지상의 좌표계를 이용하여 보정을 실시한다.

보정식은 1997년 일본의 Fujita 등에 의해 정립되었으며, 2차원 투영좌표변환법을 활용하여 의한 실제 물리좌표계(X,Y)와 수집된 이미지 상의 영상좌표계(x, y)간의 관계식을 다음 식(II-7)과 식(II-8)와 같이 유도하였다.

$$\begin{aligned} & (b_5 - b_6b_8)x + (b_3b_8 - b_2)y + (b_2b_6 - b_3b_5) \\ & (b_4b_8 - b_5b_7)x + (b_2b_7 - b_1b_8) + (b_1b_5 - b_2b_4) \end{aligned} \quad (\text{II-7})$$

$$Y = \begin{aligned} & (b_6b_7 - b_4)x + (b_1 - b_3b_7)y + (b_3b_4 - b_1b_6) \\ & (b_4b_8 - b_5b_7)x + (b_2b_7 - b_1b_8)y + (b_1b_5 - b_2b_4) \end{aligned} \quad (\text{II-8})$$

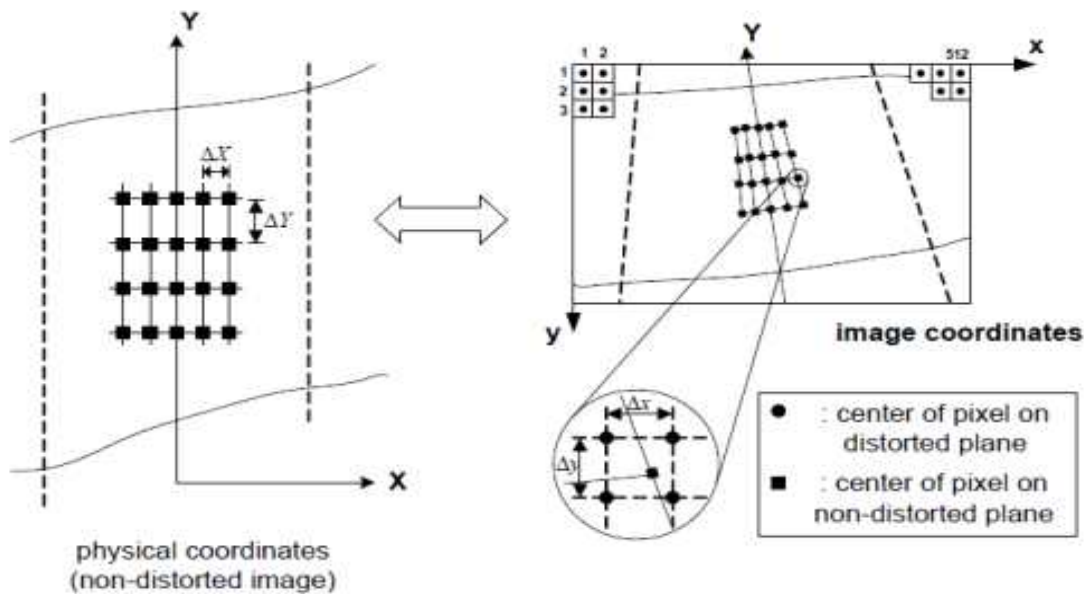


Fig. II-3. The relationship between Physical-coordinate and Image-coordinate(Fujita, 1998)

3.3 유속벡터에 의한 표면유속

표면영상유속계(SIV)의 유속벡터는 상관영역의 x 방향, y 방향 이동거리와 연속된 이미지의 시간간격을 이용하여 식 (II-19)와 식(II-20)에 의해 계산된다(Kim, 2013).

$$u = \alpha \frac{(x - x_1)^2}{\Delta t} = \alpha \frac{\Delta dx}{\Delta t} \quad (\text{II-19})$$

$$v = \alpha \frac{\sqrt{(y_2 - y_1)^2}}{\Delta t} = \alpha \frac{\Delta dy}{\Delta t} \quad (\text{II-20})$$

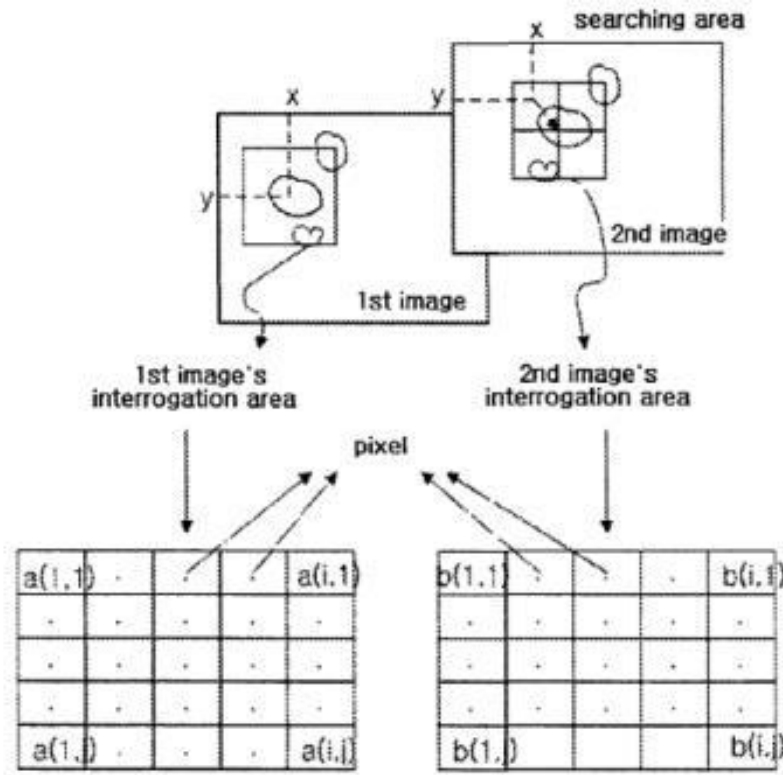


Fig. II-4. Cross correlation method technique(Kim, 2002)

여기서, u , v 는 이미지의 x , y 방향에 대한 표면유속을 나타내며, α 는 실제좌표와 영상좌표의 변환계수, Δt 는 연속된 이미지의 시간간격, x_1 , y_1 은 유속벡터 분석 지점의 첫 번째 이미지의 도심 좌표, x_2 , y_2 는 두 번째 이미지에서 상관계수가 가장 높은 상관영역의 도심 좌표를 나타낸다(Kim, 2013).

Ⅲ. 연구대상 유역 및 현장 실측자료

1. 연구대상 유역

제주도의 하천 분포현황은 EL.1,950 m의 한라산을 중심으로 방사형 유역의 독립적인 유출특성을 나타내며 형성되어 있다. 대부분의 하천 분포현황은 경사도가 높은 남·북부 지역에 분포하고 있으며, 비교적 경사도가 낮은 동·서부 지역은 하천 발달이 매우 미약한 편이다. 국가하천이 없는 제주도는 지방하천과 소하천을 포함하여 전체 143개소 하천이 형성되어 있으나 대부분의 하천이 투수성이 매우 높은 지질적인 특성으로 인해 평상시 유출이 발생하지 않는 건천의 형태를 나타내고 있다. 특히 전체 143개소의 하천 중 단 9개소의 하천만 강우의 영향 없어도 평상시 유출량이 발생하는 상시하천의 형태로 발달되었다. 9개소의 상시하천 중 북부지역(제주시)의 2개소 하천(웅포천, 광령천), 남부지역(서귀포시)의 7개소 하천(동홍천, 연외천, 악근천, 중문천, 창고천, 강정천, 예래천)이 형성되어 있으며 본 연구에서는 7개소의 상시하천이 집중되어 있는 제주도 남부지역을 대상으로 중문천, 강정천, 악근천, 연외천을 연구대상 유역으로 선정하였다. 연구대상 유역의 특징은 제주도 남부 지역에서 인구밀도가 가장 높으며 지표수 이용이 매우 미비한 제주도의 이수특성을 고려할 때 간헐적으로 표면수를 가장 많이 이용하는 지역이다. 따라서 제주도의 독특한 수리·수문특성을 고려하였을 경우 최신 기법의 적용과 수리·수문적 이론 적용 등 연구의 중요성이 매우 높은 지역이다.

제주도의 상시하천을 대상으로 지속적이고 신뢰성 있는 유량 측정업무는 매우 미비한 편이다. 특정 지역을 대상으로 유량자료의 중요성을 고려했을 때 현재 개발된 첨단 유량관측기기를 이용한 지속적·정기적 관측이 필요하다. 제주도의 일부 유량관측은 고정식 전자파표면유속계(Kalesto)를 주요지점에 설치하여 비접촉식으로 운영되고 있다. 그러나 관측 유량자료의 품질향상을 위해 보정식 개발과 단면의 측정자료 이용 시 검정·보정이 필요하며, 관측된 연속적인 수위, 유속자료가 관측 하천 횡단면의 일부분의 관측결과로써 유량산정 시 전체 단면에 적용되므로 해당 관측하천의 유속분포에 대한 이론적인 기초가 필요한 실정이다.

9개소의 상시하천은 용출량이 많아 제주도 수문순환시스템의 연구에 매우 중요한 의미를 가지며, 지속적·정기적인 기저유출량 자료 구축이 필요하다. 이 연구에서는 4개 상시하천(중문천, 강정천, 악근천, 연외천)을 대상으로 2011년 7월부터 2015년 7월까지 ADCP를 활용한 정밀관측을 수행하고 흐름특성을 분석하였다. 또한 9개소의 상시하천 중 중문천, 강정천, 악근천, 연외천을 대상으로 ADCP 실측자료를 기반으로 흐름특성을 분석하고 Chiu-2차원 유속분포식에 관계된 매개변수를 추정하였다. 연구대상 하천의 추정 매개변수를 이용하여 표면영상유속계(SIV)로 분석한 표면유속을 평균유속으로 산정하여 유량을 계산하고 동시간에 관측된 ADCP 관측유량과 비교·분석하여 적용성을 검토하였다.

1.1 유역 형상 및 지형적 특성

연구대상 지역의 상시하천 분포 현황은 제주시에 2개소 하천(광령천, 옹포천)이 형성되어 있으며, 서귀포시에 7개소 하천(창고천, 예래천, 강정천, 악근천, 중문천, 연외천, 동홍천)이 형성되어 있다. 2011년 7월부터 2015년 7월까지 연구대상 하천을 대상으로 최신관측 장비인 ADCP를 활용하여 하천별로 관측지점을 동일하게 관측을 수행하였다.

연구대상 유역 중 제주도 중문천은 동경 $126^{\circ}24' \sim 126^{\circ}28'$, 북위 $33^{\circ}13' \sim 33^{\circ}20'$ 사이에 형성되었으며, 위노로오름에서 발원하여 남류하다가 녹하지악을 거쳐 대포리 해안으로 유입되는 지방하천이다. 하천 특성은 유로연장이 12.89 m, 유역면적은 26.29 km²이며 하상경사는 1/9~1/48로 비교적 급경사를 이루고 있다(제주도, 2009, 하천기본계획, 2011)..

강정천은 동경 $126^{\circ}27' \sim 126^{\circ}30'$, 북위 $33^{\circ}13' \sim 33^{\circ}21'$ 사이에 형성되었으며, 한라산 서쪽 능선에서 발원하여 남류하다가 강정동 해안으로 유입되는 지방하천이다. 하천 특성은 유로연장이 16.63 km, 유역면적은 38.23 km²이며 하상경사는 1/12~1/37로 비교적 급경사를 이루고 있다. 강정천의 전체 유로에서 상류지점은 평상히 유출이 발생하지 않는 건천의 형태를 보이지만 하류지점은 지하수 용출 등의 영향으로 인해 상시유출이 발생되고 있다(제주도, 2009, 하천기본계획, 2011).

악근천은 동경 $126^{\circ} 29' \sim 126^{\circ} 32'$, 북위 $33^{\circ} 13' \sim 33^{\circ} 20'$ 사이에 위치하며 한라산 서쪽 능선에서 발원하여 남류하다가 강정동 해안으로 유입되는 지방하천이

다. 하천 특성은 유로연장이 12.11 m, 유역면적은 23.67 km 이며, 하상경사는 1/17~1/132로 비교적 급경사를 이루고 있다.(제주도, 2009, 하천기본계획, 2011).

연외천은 동경 126° 31′ ~ 126° 34′, 북위 33° 13′ ~ 33° 19′ 사이에 위치하며, 한라산에서부터 호근천과 합류한 후 바다로 유입되는 하천이다. 하천특성은 유로연장이 12.00 km, 유역면적은 22.20km² 이고 하상경사는 1/5~1/23 비교적 급경사를 이루고 있다(제주도, 2009, 하천기본계획, 2011).

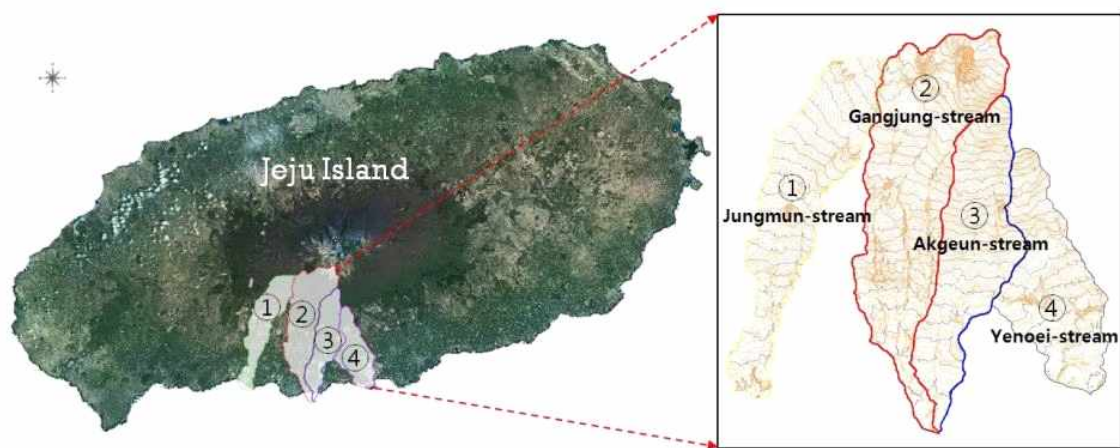


Fig. III-1. Map of Basin for this study in Jeju Island

Table III-1. Geological features of the studied basin

Stream	Drainage area (m)	Basin length (km)	Average width (km)	Shape factor
Jungmun basin	26.29	12.89	2.29	0.16
Gangjung basin	39.22	16.63	2.36	0.14
Akgeun basin	22.99	17.37	1.32	0.08
Yenoiei basin	19.46	9.06	2.14	0.24

1.2 유역 표고 및 경사 분석

1.2.1 중문천 유역

중문천 유역의 표고범위를 0 m ~ 2000 m까지 200 m 단위로 구분하여 표고 분석한 결과는 1000 m~1400 m 지역에서 228.47%로 가장 큰 분포범위를 보이며, 200 m ~ 600 m 지역은 35.35%, 0 m ~ 200 m까지 전체 유역의 15.49%를 차지하고 있으며, 600 m~1000 m 지역은 11.10%로 제주도 지형 특성과 비슷한 간격으로 형성되었다([Fig. III-2.], [Table III-2.]).

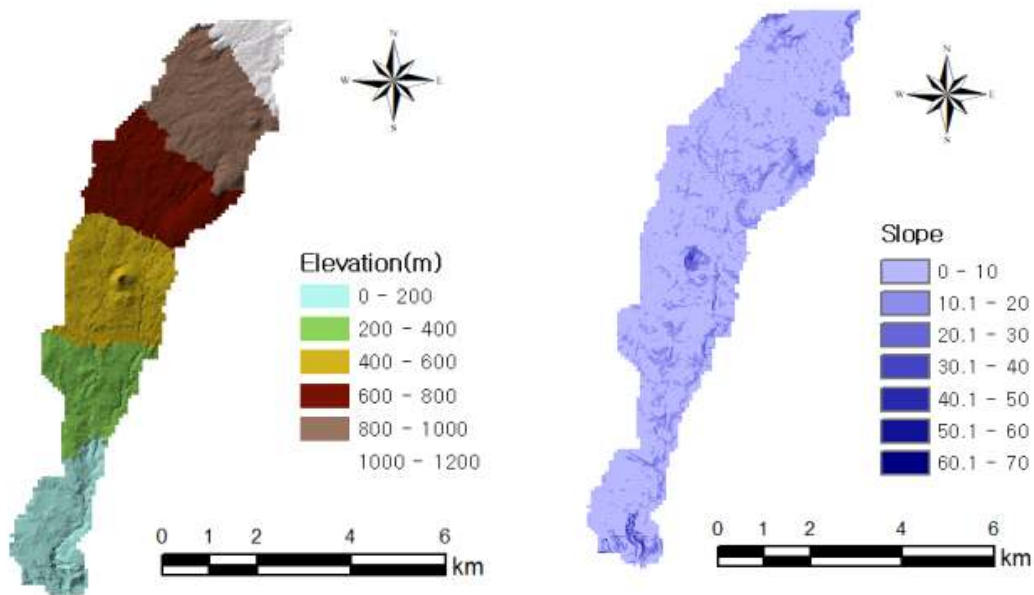


Fig. III-2. The altitude and slope of Jungmun-stream watershed

Table III-2. The altitude analysis result of Jungmun-stream watershed

Elevation range (m)	Watershed area (m)	Area ratio (%)	Accumulate watershed area (km ²)	Accumulate ratio (%)
0~200	4.07	15.49	4.07	15.49
200~400	3.71	14.12	7.78	29.60
400~600	5.58	21.23	13.36	50.84
600~800	5.44	20.70	18.80	71.45

800~1000	5.66	21.54	24.46	93.07
1000~1200	1.82	6.93	26.28	100.00
1200~1400	-	-	-	-
1400~1600	-	-	-	-
1600~1800	-	-	-	-

중문천 유역의 경사 분석 결과를 보면 10° 이하의 지역이 전체 면적의 80.10%로 가장 높은 비율로 형성되었으며, 10~20°는 16.93%, 20°이상인 지역은 2.97%로 분석되었다([Table III-3.]).

Table III-3. The slope analysis result of Jungmun-stream watershed

Elevation range (m)	Watershed area (m)	Area ratio (%)	Accumulate watershed area (km ²)	Accumulate ratio (%)
0~10	21.05	80.10	21.05	80.10
10~20	4.45	16.93	25.50	97.03
20~30	0.62	2.36	26.12	99.39
30~40	0.13	0.49	26.25	99.88
40~50	0.03	0.11	26.28	99.99
50~60	0.01	0.04	26.29	100
60~70	-	-	-	-
70~80	-	-	-	-
80~90	-	-	-	-

1.2.2 강정천 유역

강정천 유역의 표고범위를 0 m에서 2000 m까지 200 m 단위로 구분하여 표고 분석한 결과는 0m~200m까지 전체 유역의 12.18%를 차지하고 있으며, 200m~600m 지역은 25.97%, 600m~1000m 지역은 27.54%, 1000m~1400m 지역은 25.77%로

200m~1400m까지 비교적 일정한 간격으로 형성되었음을 확인할 수 있다. 또한 1400m 이상인 지역은 8.55%로 분석되었다([Fig. III-3.], [Table III-4.]).

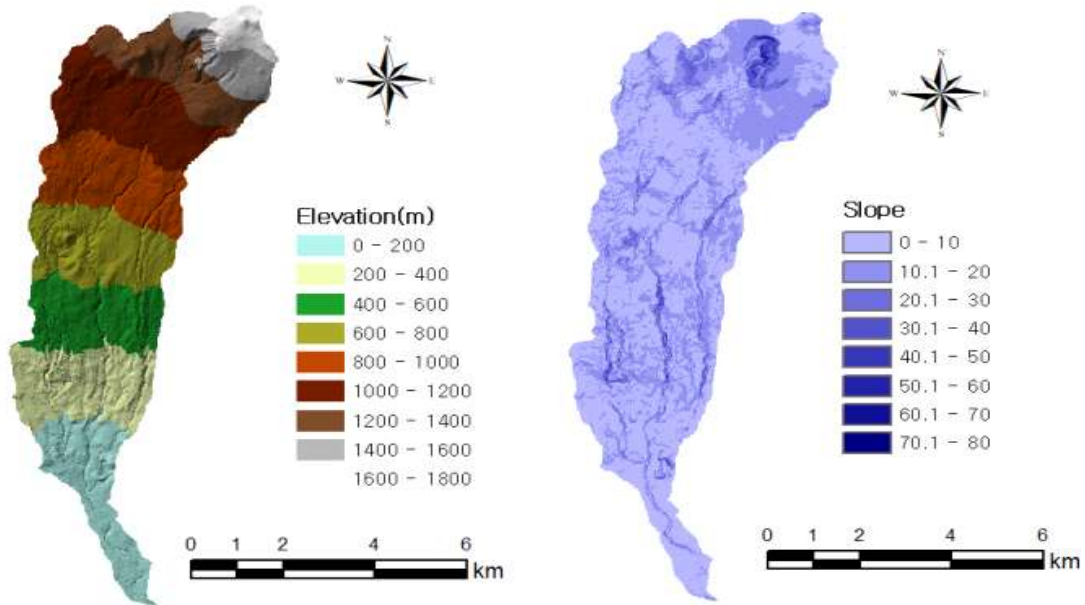


Fig. III-3. The altitude and slope of Gangjung-stream watershed

Table III-4. The altitude analysis result of Gangjung-stream watershed

Elevation range (m)	Watershed area (m)	Area ratio (%)	Accumulate watershed area (km ²)	Accumulate ratio (%)
0~200	4.78	12.18	4.78	12.18
200~400	5.47	13.95	10.25	26.13
400~600	4.71	12.02	14.96	38.15
600~800	5.36	13.67	20.32	51.82
800~1000	5.44	13.87	25.76	65.69
1000~1200	6.14	15.66	31.91	81.35
1200~1400	3.97	10.11	35.87	91.46
1400~1600	2.22	5.66	38.09	97.12
1600~1800	1.13	2.89	39.22	100.00

강정천 유역의 경사 분석 결과를 보면 10° 이하의 지역이 전체 면적의 61.39%로 가장 높은 비율로 형성되었으며, 10~20°는 31.17%, 20°이상인 지역은 7.44%로 분석되었다([Table III-5.]).

Table III-5. The slope analysis result of Gangjung-stream watershed

Elevation range (m)	Watershed area (m)	Area ratio (%)	Accumulate watershed area (km ²)	Accumulate ratio (%)
0~10	24.08	61.39	24.08	61.39
10~20	12.22	31.17	36.30	92.56
20~30	1.97	5.03	38.27	97.59
30~40	0.65	1.65	38.92	99.24
40~50	0.22	0.56	39.14	99.80
50~60	0.08	0.20	39.22	100.00
60~70	-	-	-	-
70~80	-	-	-	-
80~90	-	-	-	-

1.2.3 악근천 유역

악근천 유역을 0m에서 2000m까지 200m 단위로 구분하여 표고분석한 결과는 0m~200m까지 전체 유역의 21.47%를 차지하고 있으며, 200m~400m 지역은 23.15%, 400m~800m 지역은 30.77%, 800m~1200m 지역은 20.59%로 형성되었음을 확인할 수 있다. 또한 1200m 이상인 지역은 3.66%로 분석되었다([Fig. III-4.], [Table III-6.]).

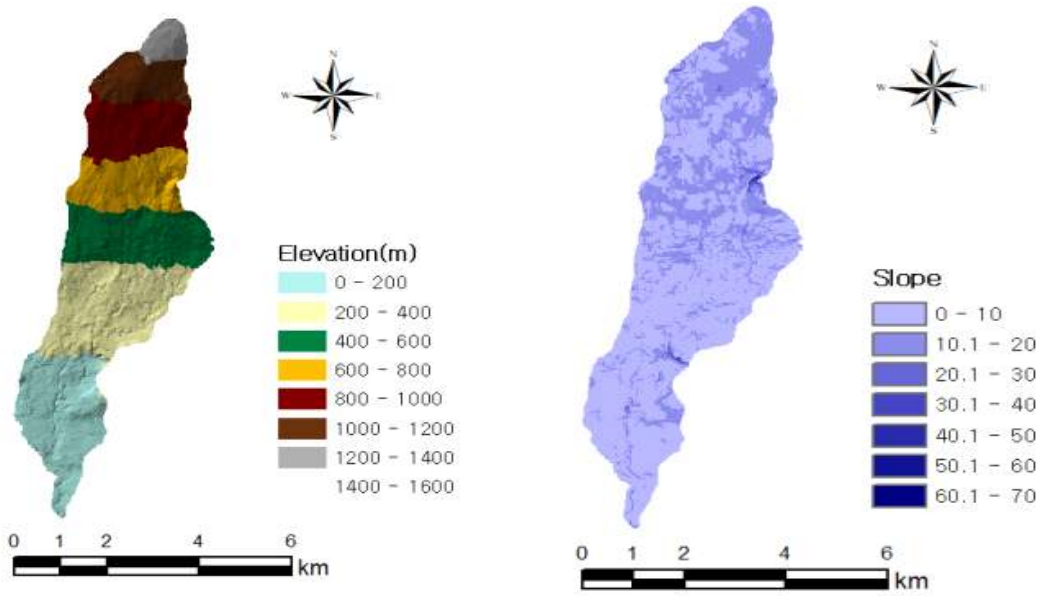


Fig. III-4. The altitude and slope of Akgeun-stream watershed

Table III-6. The altitude analysis result of Akgeun-stream watershed

Elevation range (m)	Watershed area (m)	Area ratio (%)	Accumulate watershed area (km ²)	Accumulate ratio (%)
0~200	4.94	21.47	4.94	21.47
200~400	5.32	23.15	10.26	44.62
400~600	4.01	17.46	14.27	62.08
600~800	3.06	13.31	17.33	75.39
800~1000	2.83	12.31	20.16	87.70
1000~1200	1.99	8.64	22.15	96.34
1200~1400	0.84	3.66	22.99	100.00
1400~1600	-	-	-	-
1600~1800	-	-	-	-

약근천 유역의 경사 분석 결과를 보면 10° 이하의 지역이 전체 면적의 68.45%로 가장 높은 비율로 형성되었으며, 10~20°는 30.17%, 20°이상인 지역은 1.38%로 분석되었다([Table III-7.]).

Table III-7. The slope analysis result of Akgeun-stream watershed

Elevation range (m)	Watershed area (m)	Area ratio (%)	Accumulate watershed area (km ²)	Accumulate ratio (%)
0~10	15.74	68.45	15.74	68.45
10~20	6.94	30.17	22.67	98.62
20~30	0.24	1.04	22.91	99.66
30~40	0.08	0.34	22.99	100.00
40~50	-	-	-	-
50~60	-	-	-	-
60~70	-	-	-	-
70~80	-	-	-	-
80~90	-	-	-	-

1.2.4 연외천 유역

연외천 유역을 0m에서 2000m까지 200m 단위로 구분하여 표고 분석한 결과는 0m~200m까지 전체 유역의 31.67%를 차지하고 있으며, 200m~600m 지역은 51.64%, 600m~1000m 지역은 16.15%, 1000m~1200m 지역은 0.54%로 200m~400m까지 비교적 일정한 간격으로 형성되었음을 확인할 수 있다([Fig. III-5.], [Table III-8.]).

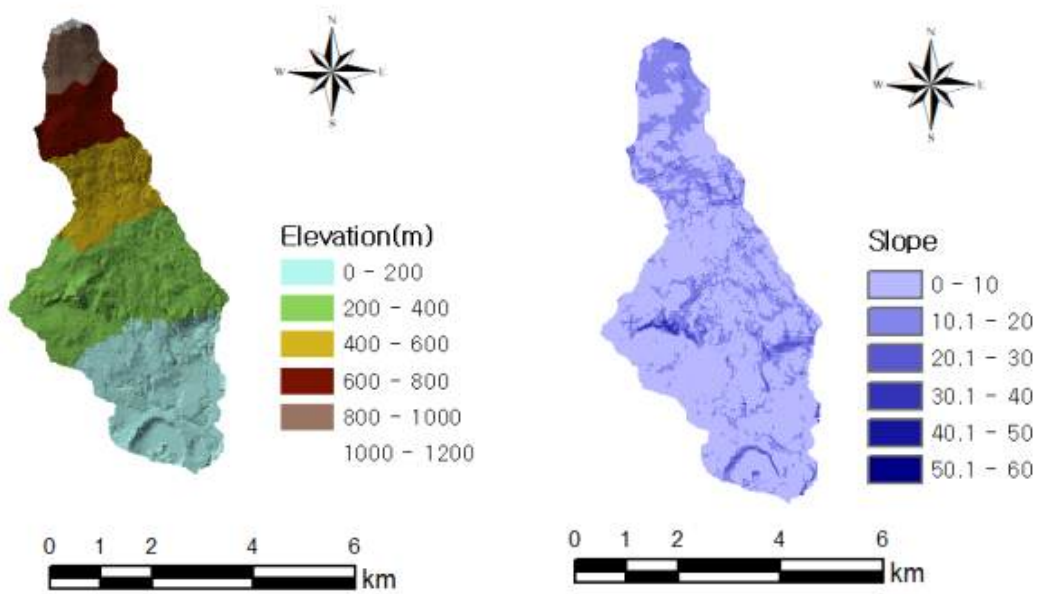


Fig. III-5. The altitude and slope of Yeonoei-stream watershed

Table III-8. The altitude analysis result of Yeonoei-stream watershed

Elevation range (m)	Watershed area (m)	Area ratio (%)	Accumulate watershed area (km ²)	Accumulate ratio (%)
0~200	6.16	31.67	6.16	31.67
200~400	7.25	37.24	13.41	68.91
400~600	2.80	14.40	16.21	83.31
600~800	2.05	10.54	18.26	93.85
800~1000	1.09	5.61	19.35	99.46
1000~1200	0.11	0.54	19.46	100.00
1200~1400	-	-	-	-
1400~1600	-	-	-	-
1600~1800	-	-	-	-

연외천 유역의 경사 분석 결과를 보면 10° 이하의 지역이 전체 면적의 82.25%로 가장 높은 비율로 형성되었으며, 10~20°는 16.99%, 20°이상인 지역은 0.76%로 분석되었다([Table III-9.]).

Table III-9. The slope analysis result of Yeonoei-stream watershed

Elevation range (m)	Watershed area (m)	Area ratio (%)	Accumulate watershed area (km ²)	Accumulate ratio (%)
0~10	16.01	82.25	16.01	82.25
10~20	3.31	16.99	19.31	99.24
20~30	0.13	0.65	19.44	99.89
30~40	0.02	0.11	19.46	100.00
40~50	-	-	-	-
50~60	-	-	-	-
60~70	-	-	-	-
70~80	-	-	-	-
80~90	-	-	-	-

2. ADCP 현장 실측자료 구축

특정 하천의 흐름 조건에 관계되는 매개변수(Chiu-2차원 유속분포식의 관련 매개변수)를 추정하기 위해 2011년 7월 22일부터 2015년 6월 5일까지 제주도 남부지역에 위치한 중문천, 악근천, 강정천, 연외천을 대상으로 ADCP를 활용하여 동일 관측 지점의 지속적인 유속 및 유량을 측정을 하였다. 관측된 ADCP 자료는 Chiu-2차원 유속분포식을 자연하천에 적용하는 과정에서 해당하천의 유속분포를 분석하고 매개변수를 추정하는데 사용된다.

연구대상 하천의 흐름특성에 관계되는 유속분포를 관측하기 위해 적용되는 ADCP는 초음파 속도측정기로써 관측단면의 순간적이고 연속적인 유속 값을 셀 단위로 관측하여 최종적으로 유량을 산정하는 장비로써 1980년도에 초기 개발되어 하천 및 해양분야에서 적용되고 지속적으로 지금까지 개발되어 효율성을 향상시켜왔다. 관측 시 3차원 유속과 수심자료를 연속적인 측정이 가능하며 기존 전통적인 유량산정 방법에 비해 매우 정밀한 관측이 가능하다. 특히 ADCP는 현재 개발·운영되는 유

량 관측 기법 중 매우 정확한 기법으로 알려져 있으며 미국의 경우 지리조사국 (USGS; United States Geological Survey)에서 약 57%의 유량 관측소에 설치하여 운영되고 있다(Muste et al., 2007),(Kim et al., 2011),(Jung, 2013).

ADCP의 연속적인 유속관측 원리는 관측 센서에 의한 포음파를 발사하여 도플러 편차(약 200kHz - 3MHz 분포)에 의해 유속분포가 계산된다. 이때 빔 진행방향의 유속을 2~100cm 단위로 측정하고 각각의 빔에서 측정된 픽셀단위의 유속을 측정된 단면의 관측 셀의 크기에 따라 전체 유량을 산정한다(SonTek, 2010), (Jung, 2013).

이 연구에서는 대상하천을 대표하는 유속분포를 모의하기 위해 SonTek사의 River Surveyer M9 ADCP를 사용 관측기간 동안 동일지점을 대상으로 정밀한 관측을 실시하였다. 관측에 사용된 M9 ADCP의 장비특징은 저수심과 고수심에 사용하도록 설계되었으며 센서 부의 수심측정기를 별도로 장착한 9개의 빔으로 구성되어있다 (SonTek, 2010).

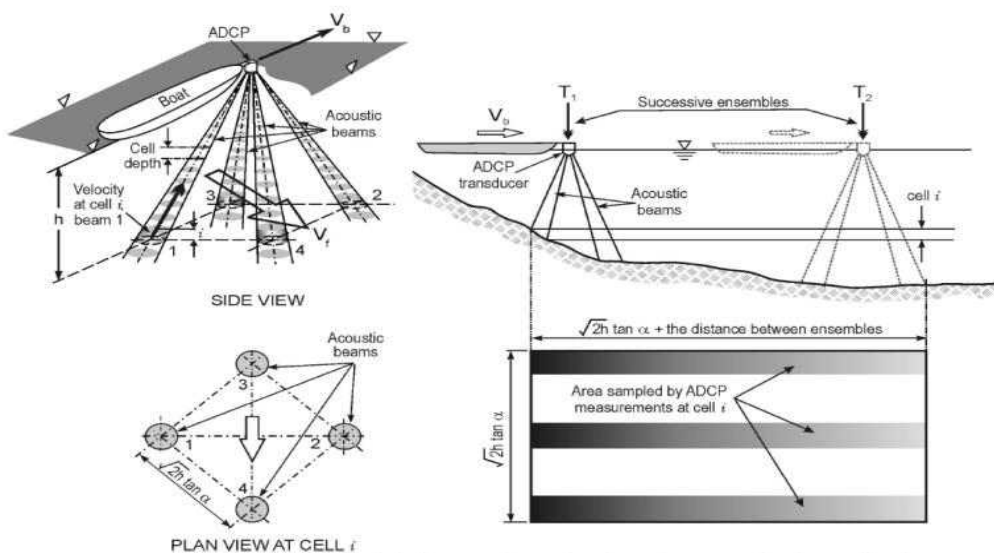


Fig. III-6. ADCP operating approaches: a) fixed deployment; b) moving boat; c) cross-sectional area directly measured or unmeasured by ADCP (Kim, 2011)

중문천의 ADCP 관측지점은 [Fig. III-7]과 같으며 ADCP 현장관측 사진과 수집되는 관측 결과는 [Fig. III-8]와 같다. 중문천 관측지점의 하폭은 약 21 m이며 평상시 수위는 약 160 cm를 유지한다.



Fig. III-7. Observation point of the Jungmun-stream

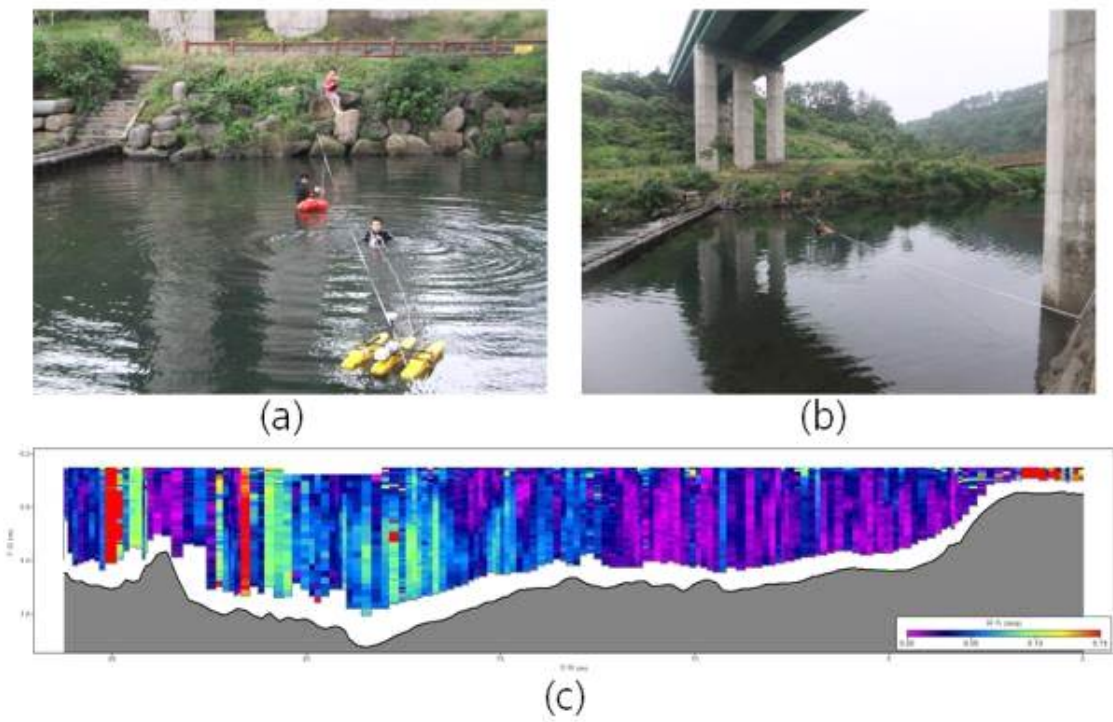


Fig. III-8. Application point of the ADCP in Jungmun-stream; a), b) photos of the field application; c) Applied to cross-section of ADCP

강정천의 ADCP 관측지점은 [Fig. III-9]와 같으며 ADCP 현장관측 사진과 수집되는 관측 결과는 [Fig. III-10]과 같다. 강정천 관측지점의 하폭은 약 20 m이며 평상시 수위는 약 80 cm를 유지한다.

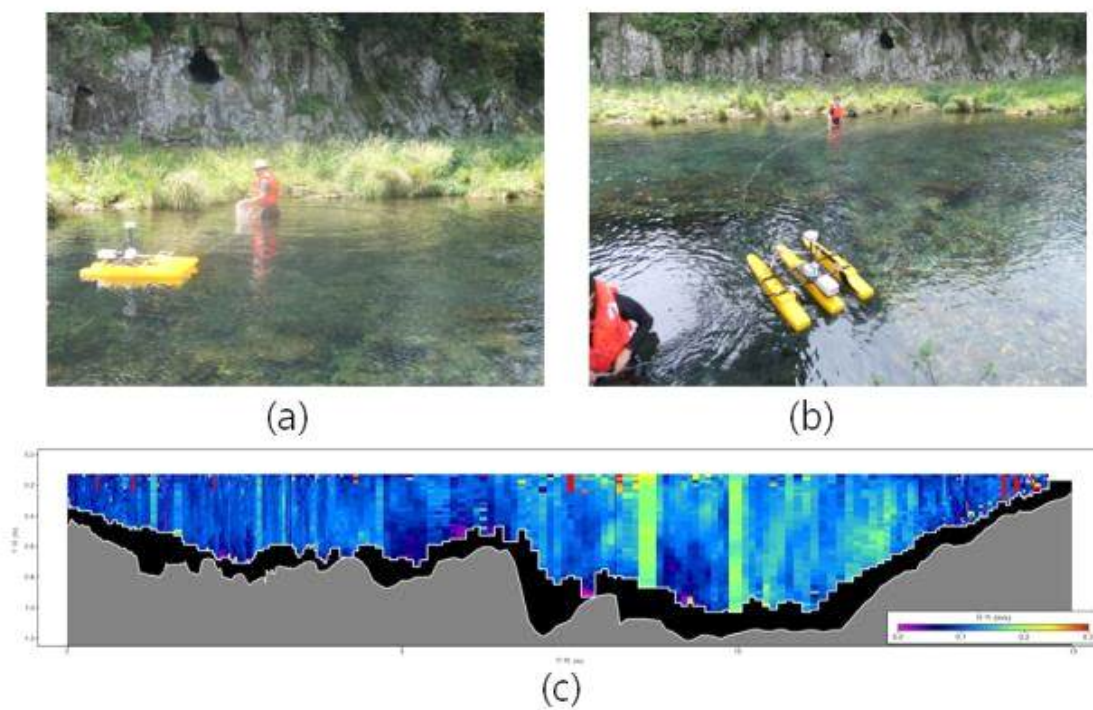
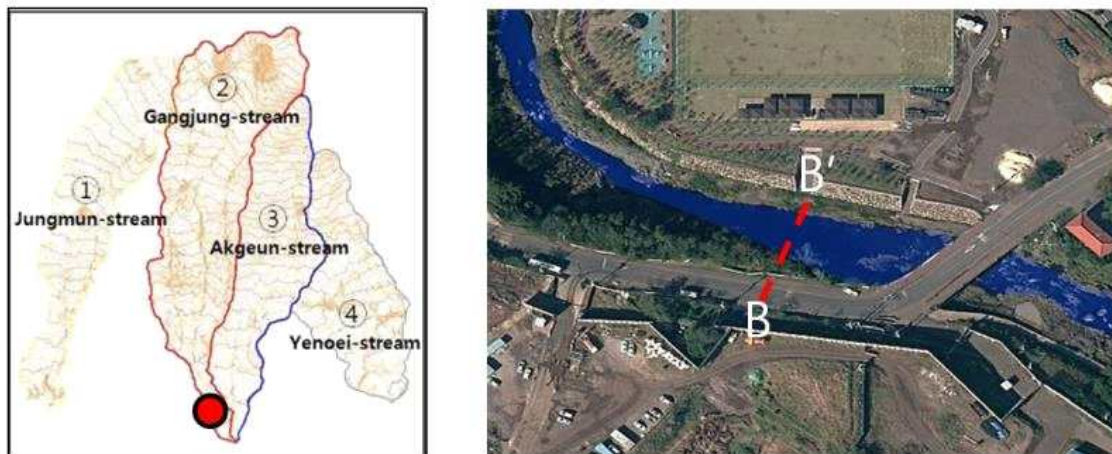


Fig. III-10. Application point of the ADCP in Gangjung-stream; a), b) photos of the field application; c) Applied to cross-section of ADCP

약근천의 ADCP 관측지점은 [Fig. III-11]과 같으며 ADCP 현장관측 사진과 수집되는 관측 결과는 [Fig. III-12]와 같다. 약근천 관측지점의 하폭은 약 40 m이며 평상시 수위는 약 50 cm를 유지한다.

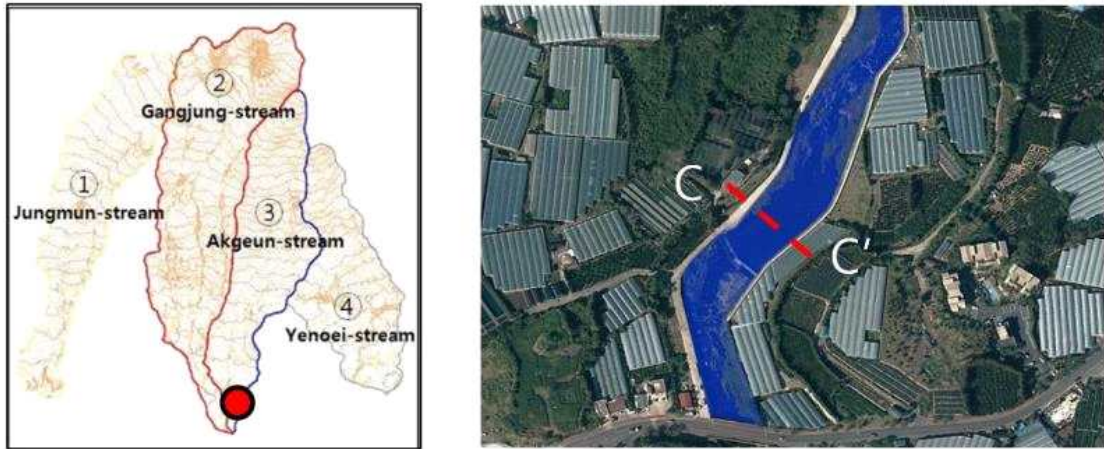


Fig. III-11. Observation point of the Jungmun-stream

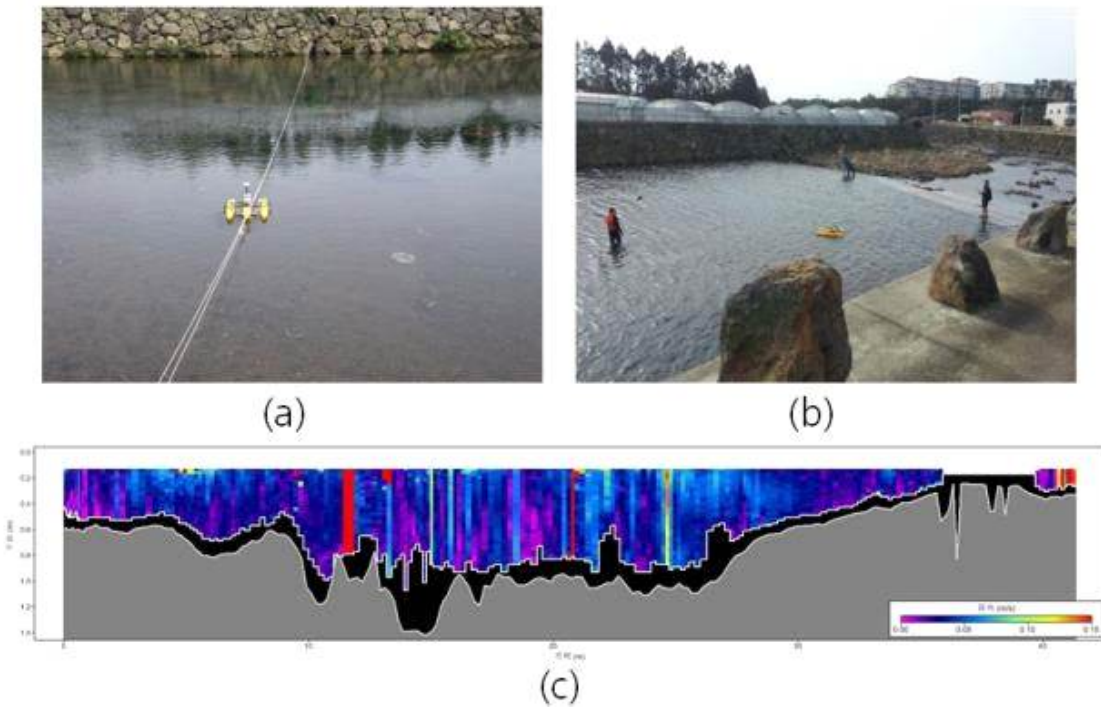


Fig. III-12. Application point of the ADCP in Akgeun-stream; a), b) photos of the field application; c) Applied to cross-section of ADCP

연외천의 ADCP 관측지점은 [Fig. III-13]과 같으며 ADCP 현장관측 사진과 수집되는 관측 결과는 [Fig. III-14]와 같다. 악근천 관측지점의 하폭은 약 21 m이며 평상시 수위는 약 50 cm를 유지한다.

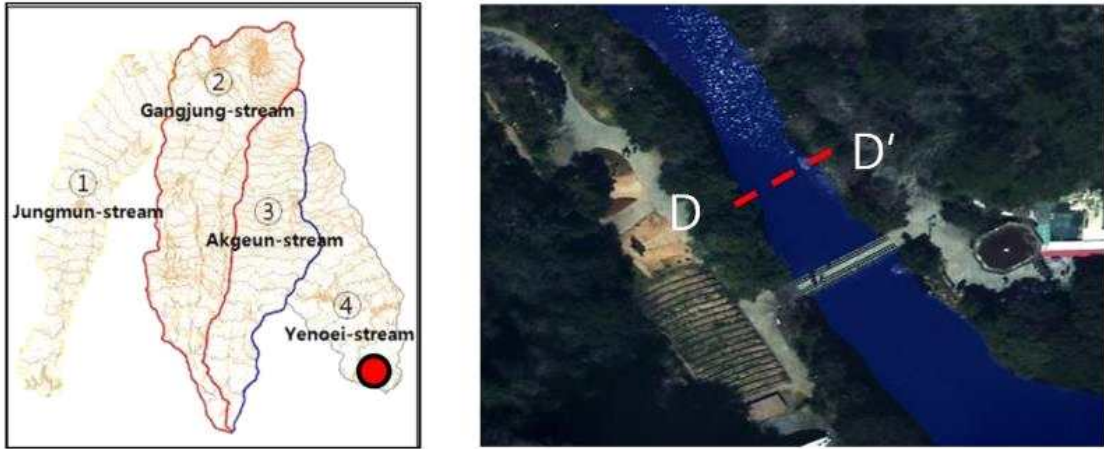


Fig. III-13. Observation point of the Jungmun-stream

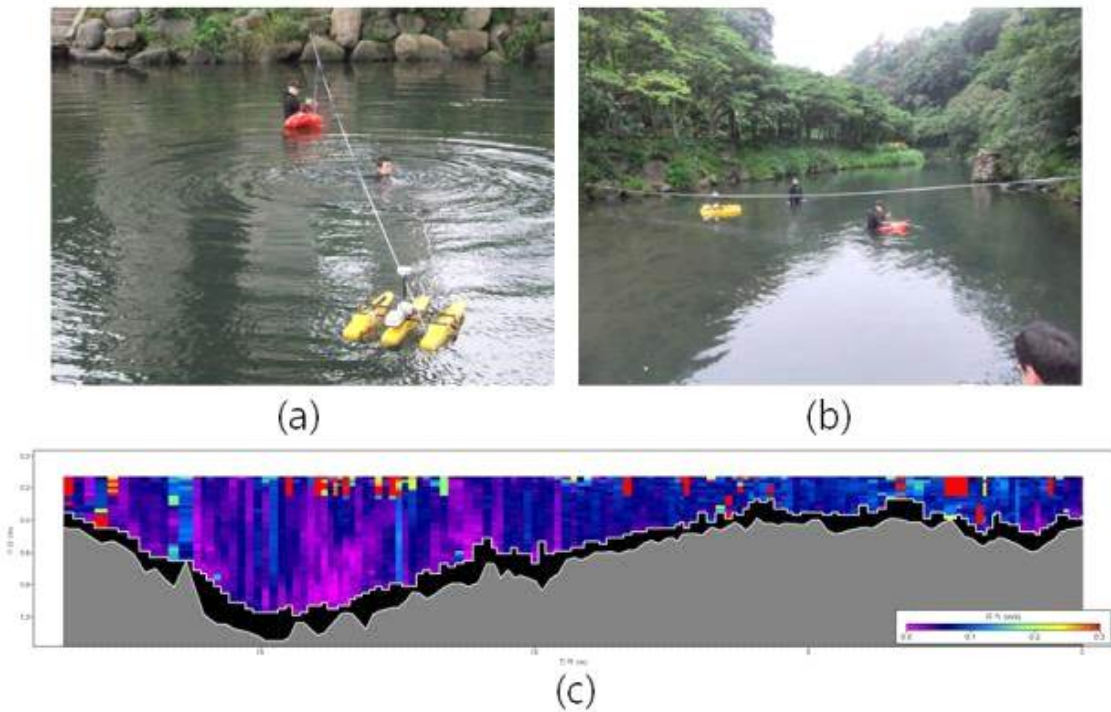


Fig. III-14. Application point of the ADCP in Yeno-i-stream; a), b) photos of the field application; c) Applied to cross-section of ADCP

[Fig.III-15]는 관측기간 동안의 일강우량과 연구대상 하천별 ADCP 관측 유량을 나타낸다. 관측기간 동안 2012년에는 6월에서 10월사이에 유례 없는 태풍 내습이 연속적으로 발생하였으며, 집중호우까지 포함하여 약 9회의 대규모 강우가 발생하

였다. 유량관측 결과를 보면 전반적으로 해당 시기에 유량이 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 2012년 11월부터 2013년 5월까지의 상대적으로 강우 발생빈도가 적은 관계로 유량이 감소하는 경향을 나타냈다. 2014년에는 3회의 집중호우가 발생하고 3회의 태풍이 영향을 주었으며 2012년도와 유사한 유량 결과를 보인다.

전체적으로 해당년도에 발생하는 강우빈도에 따라 수위 및 유량이 직접적으로 영향을 나타내는 것으로 보인다. [Fig.Ⅲ-15]와 같이 강우빈도에 따라 연구대상 하천의 유량변동에 직접적인 영향을 미치는 수문학적 특징을 고려하여 이수 및 치수목적에 위한 대한 계획수립이 필요하다.

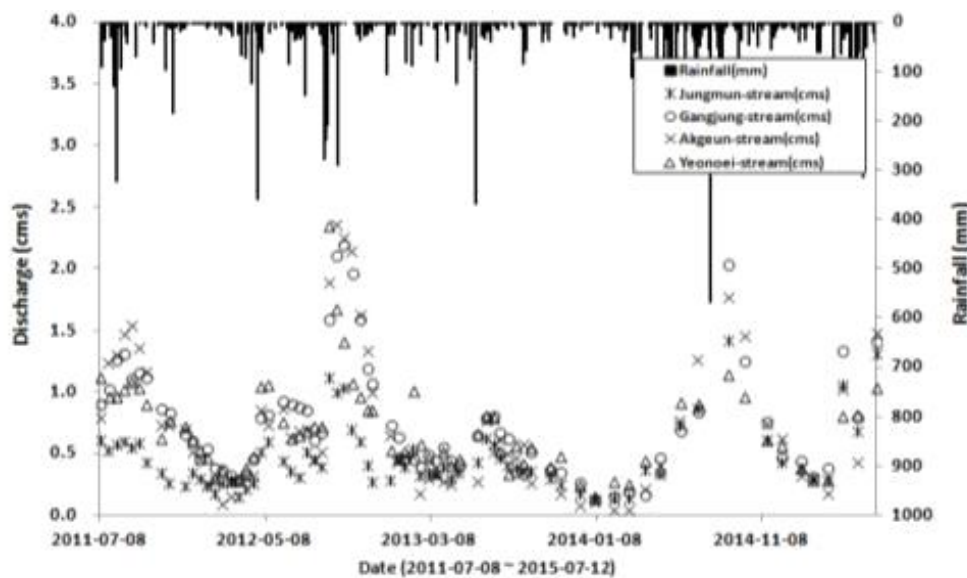


Fig. Ⅲ-15. Rainfall and discharge observation of stream

3. 표면영상유속계(SIV) 관측자료 구축

ADCP 실측자료를 활용하여 Chiu-2차원 유속분포식에 관계되는 매개변수를 추정하고 검증에 위해 표면영상유속계(SIV)를 활용하였다. 표면영상유속계(SIV)로 관측된 표면유속을 평균유속으로 환산하는 과정에서 기존의 방법인 0.85를 적용하여 산정한 유량과 Chiu-2차원 유속분포식에 적용하여 산정된 평균유속을 적용한 유량결과를 비교하고 동시간에 관측한 ADCP의 유량관측결과와 비교하였다.

연구대상 하천의 표면영상유속계(SIV)를 적용 과정에서 수집되는 표면유출 영상은

휴대용 캠코더인 HMX-S16BD를 활용하여 촬영하였다. 본 연구의 연구대상 하천 중 강정천과 연외천은 평상시 흐름이 [Fig. III-16, (a), III-17, (a)]와 같이 관측 지점 주변에 음영이 형성되지 않고 하도가 직접적으로 투시될 정되는 맑은 물의 상태를 유지하고 있어 입자의 이동거리를 이용하는 표면영상유속분석(SIV) 적용에 적합한 유출영상을 수집하기 매우 부적합하다. 따라서 [Fig. III-16, (b), Fig. III-17, (b)]과 같이 수표면의 입자를 추적하지 위해 자연 친화적인 추적 입자(옥수수 콘)를 투하하여 표면유속을 촬영하였다. 이 과정으로 인해 표면영상유속계를 자연하천에 적용하는 과정 중 수집된 연속된 이미지를 대상으로 연속적인 추적 입자의 이동거리를 계산할 수 있었으며 추후 산정된 유량 결과에 비교치로 적용된다.



(a)



(b)

Fig. III-16. Observation point(Gangjung-stream): a) state of the usual flow; b) using tracer-particle



(a)



(b)

Fig. III-17. Observation point(Yeonoei-stream); a) state of the usual flow; b) using tracer-particle

IV. 자연하천의 평균유속분포 추정 결과 및 고찰

1. ADCP 실측자료를 이용한 하천유속분포 측정 결과

1.1 하천유속분포 추정을 위한 ADCP 실측자료의 이상치 보정

제주도 전체 9개소 상시하천 중 중서귀유역의 중문천, 강정천, 약근천, 연외천을 대상으로 Chiu-2차원 유속분포식을 적용하고 흐름특성과 관련된 매개변수를 추정하기 위해 2011년 7월 22일부터 2015년 6월 5일까지 음향 도플러 유속계(Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP)의 관측자료를 활용하였다. 전체 72회의 실측된 ADCP 자료는 Chiu-2차원 유속분포식을 자연하천에 적용하는 과정에서 연구대상 하천의 표면유속, 최대유속, 단면 평균유속 등 전체 단면의 평균유속분포 분석에 활용된다. 또한 하천 유속분포의 변동성 및 불확실성의 정도를 나타내는 엔트로피계수(M)와 유속분포의 특성함수인 ξ_{urf} (단면평균유속과 최대유속의 비), 하천 단면의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 ξ_{urf} 와 같이 연구대상 하천의 평균유속분포 매개변수를 추정하는데 사용된다.

연구대상 하천의 ADCP 실측된 유속은 측정시의 순간유속을 나타내므로 난류의 진동과 불확실성을 그대로 관측한다(Lee et al., 2007). 관측된 ADCP의 순간적인 유속 데이터들은 관측시간 동안의 평균유속과 다른 유속 속성을 의미하므로 단면 전체의 흐름특성에 관계된 유속분포 범위를 파악하는데 문제가 있다. 그러나 측정된 단면 유속분포 자료의 이상치를 제거하는 후처리 과정을 거칠 경우 시간평균 유속과 거의 비슷한 결과를 나타낸다(Lee et al., 2005).

[Fig. IV-1]와 같이 2011년 7월부터 2015년 6월까지 관측된 각각의 ADCP 자료에서 관측단면의 연속된 유속분포 범위에서 이상치가 측정된 경우 인접한 상·하·좌·우의 셀 유속값을 평균하여 사용하였다.

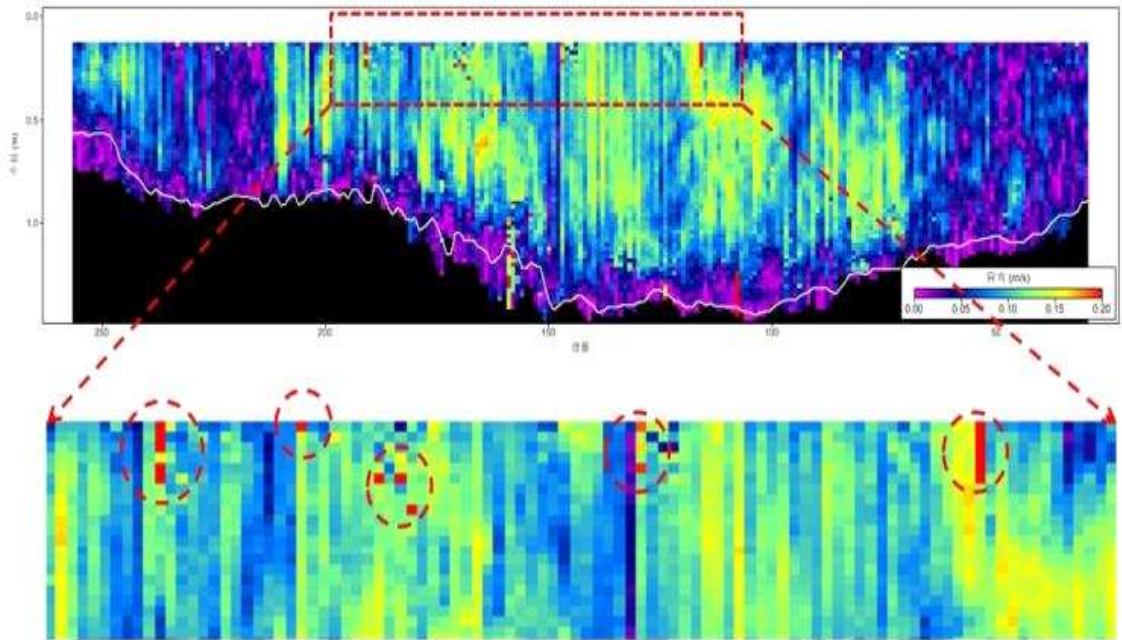


Fig. IV-1. Method of correcting outliers in observed ADCP data

관측결과인 ADCP의 단면 전체의 유속분포들은 관측 단면을 이동하는 순간의 유속이므로 관측 시 난류의 불확실성을 그대로 기록·저장된다. 따라서 본 연구에서는 각각 연구대상 하천의 흐름특성에 관계된 유속분포 특성을 파악하기 위해 전체 관측기간을 년도별 구분하여 평균유속분포를 산정하였다. 또한 ADCP의 관측 특성상 데이터로 저장되는 표면유속 값들은 수표면을 기준으로 약 0.07 m(수표면 기준의 ADCP 센서 깊이) 정도 잠긴 흐름을 관측한다. 그러나 이 연구에서는 표면유속으로 구분하여 계산된 값과 비교하였다. 그 이유는 현재 개발된 최신 유량 관측기 중본 연구에 사용된 ADCP가 가장 높은 정밀도를 나타내며, 표면영상유속계(SIV)를 활용한 산정결과의 검증과정에서 현재 연속적이고 정밀한 수표면 유속(유량)을 관측하는 기기가 본 연구에 적용된 ADCP를 제외한 다른 관측기기로는 비교·검토 목적으로는 불가능하기 때문이다.

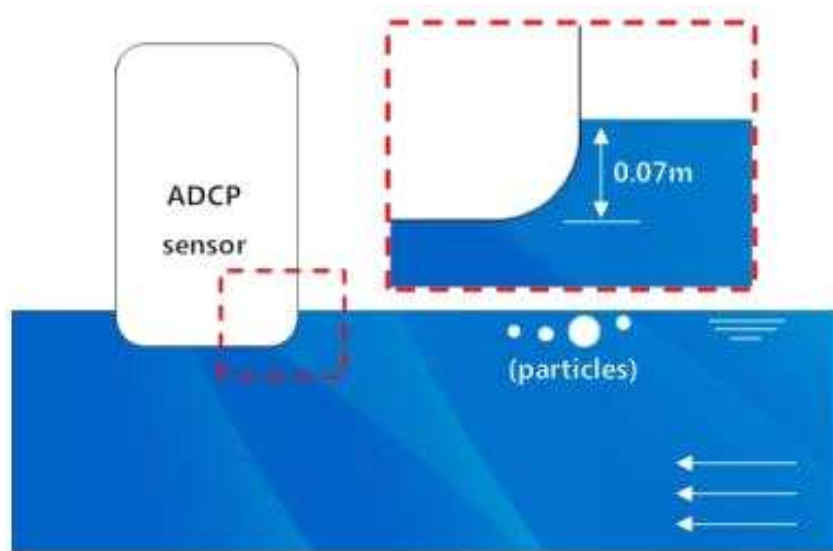


Fig. IV-2. Field observational characteristics of ADCP sensor (observe the flow of about 0.07 m of lock)

1.2 연구대상하천의 평균유속분포 특성 및 해석

1.2.1 중문천 평균유속분포 분석 결과

2011년 7월 22일부터 2015년 6월 5일까지 중문천을 대상으로 ADCP 현장 실측 자료를 이용한 유속분포 분석현황은 [Fig. IV-3] ~ [Fig. IV-8]과 같다. 중문천 ADCP 관측지점의 하폭은 약 27 m이며, 2.07 m 간격으로 수직성분의 표면유속과 최대유속을 포함한 유속분포 범위를 셀별로 분석하였다.

ADCP의 운영과정에서 관측 데이터의 불확실성(순간적인 유속변화)을 제거하기 위해 관측 년도별로 필터링 작업을 실시하였다. 또한 연구대상 하천별 평균유속분포 현황의 최대유속과 표면유속의 관계를 이용하여 매개변수를 산정하고 Chiu-2차원 유속분포식에 적용하였다.

(1) 2011년 중문천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-3]은 중문천 관측지점을 대상으로 2011년 7월 22일부터 12월 23일까지 총 12회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2011년의 대표유속분포를 나타낸다.

2011년 중문천의 최대수심은 2011년 9월 2일 1.92 m, 최저수심은 2011년 2월 7일 1.75 m로 나타냈으며, 12회의 평균수위는 1.80 m를 나타냈다. 하상기준을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.07 /sec, 최대 유속은 4-section에서 0.16 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0125 m/sec의 유속을 나타냈다([Table IV -1]). 또한 중문천 하상을 기준으로 1.80 m의 평균 수심 중 약 1.16 m 지점과 좌안 기준 약 6 ~ 8 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2015년의 중문천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

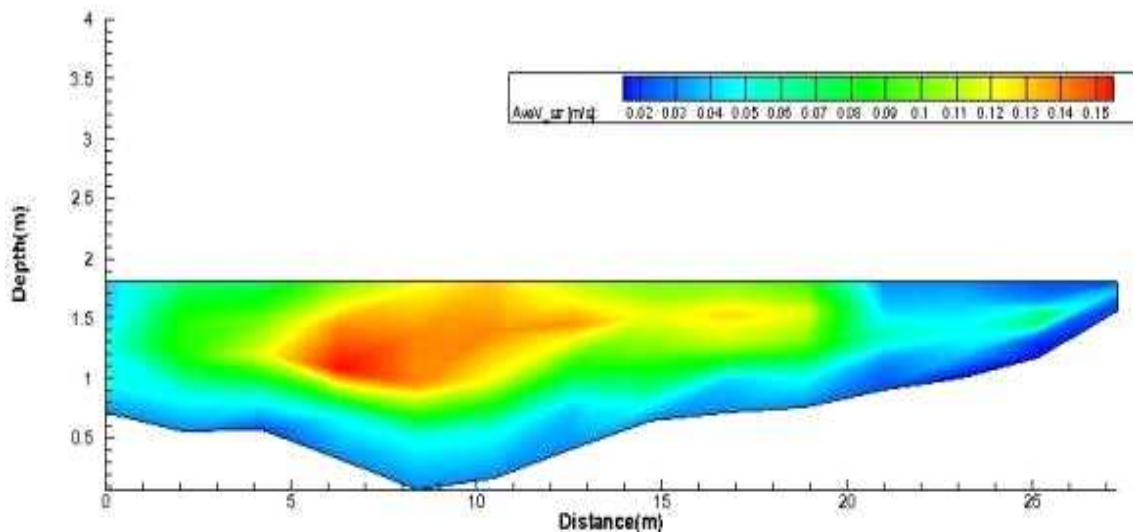


Fig. IV-3. Jungmun-stream analysis result of flow velocity distribution (2011year average)

Table IV-1. Jungmun-stream analysis result of average flow characteristics (2011year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2011	12	1.8023	0.0730	0.1602	0.0125

(2) 2012년 중문천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-4]는 중문천 관측지점을 대상으로 2012년 1월 6일부터 12월 22일까지 총 23회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2012년의 대표유속분포를 나타낸다.

2012년 중문천의 최대수심은 2012년 9월 14일 1.83 m, 최저수심은 2012년 12월 22일 1.71 m로 나타냈으며, 23회의 평균수위는 1.78 m를 나타냈다. 하상기준을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.05 /sec, 최대 유속은 5-section에서 0.11 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0133 m/sec의 유속을 나타냈다 ([Table IV-2]). 또한 중문천 하상을 기준으로 1.78 m의 평균 수심 중 약 1.10 m 지점과 좌안 기준 약 10 ~ 11 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2012년의 중문천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

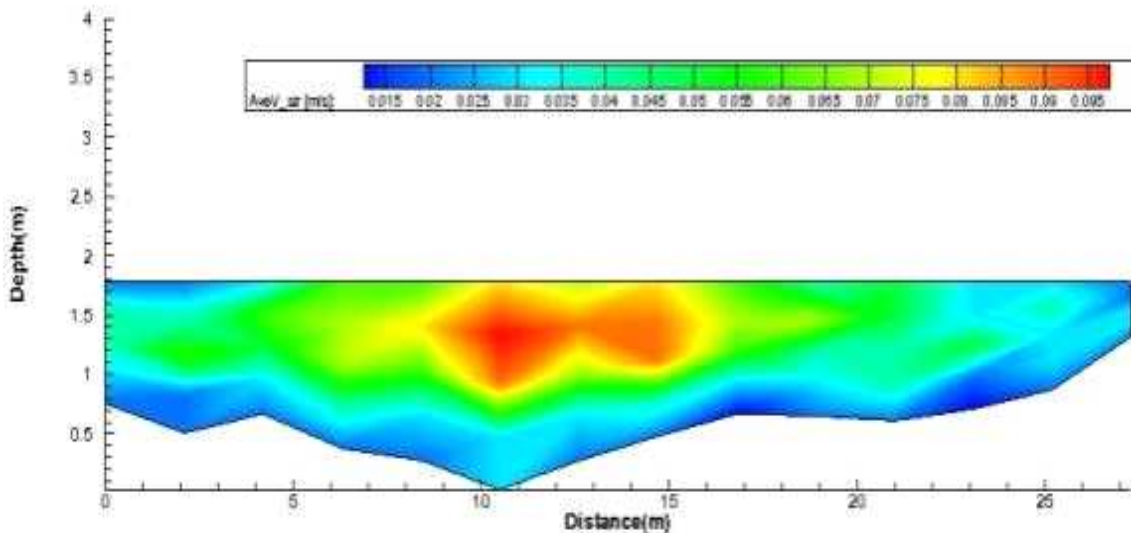


Fig. IV-4. Jungmun-stream analysis result of flow velocity distribution
(2012year average)

Table IV-2. Jungmun-stream analysis result of average flow characteristics
(2012year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2012	23	1.7811	0.0470	0.1033	0.0133

(3) 2013년 중문천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-5]는 중문천 관측지점을 대상으로 2013년 1월 18일부터 12월 6일까지 총 19회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2013년의 대표유속분포를 나타낸다.

2013년 중문천의 최대수심은 2013년 7월 12일 1.38 m, 최저수심은 2013년 12월 6일 1.08 m로 나타냈으며, 19회의 평균수위는 1.50 m를 나타냈다. 하상기준을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.06 /sec, 최대 유속은 7-section에서 0.10 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0185 m/sec의 유속을 나타냈다 ([Table IV-3]). 또한 중문천 하상을 기준으로 1.50 m의 평균 수심 중 약 0.96 m 지점과 좌안 기준 약 13 ~ 15 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2013년의 중문천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

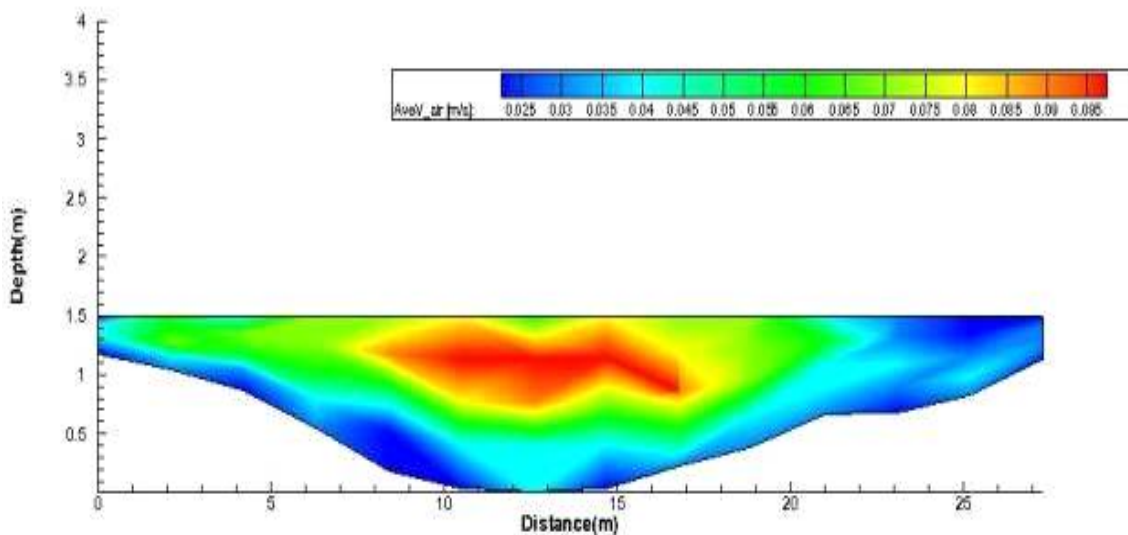


Fig. IV-5. Jungmun-stream analysis result of flow velocity distribution
(2013year average)

Table IV-3. Jungmun-stream analysis result of average flow characteristics
(2013year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2013	19	1.5023	0.0561	0.1048	0.0185

(4) 2014년 중문천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-6]은 중문천 관측지점을 대상으로 2014년 1월 3일부터 12월 12일까지 총 12회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2014년의 대표유속분포를 나타낸다.

2014년 중문천의 최대수심은 2014년 9월 5일 1.61 m, 최저수심은 2014년 3월 7일 1.45 m로 나타냈으며, 12회의 평균수위는 1.56 m를 나타냈다. 하상기준을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.07 /sec, 최대 유속은 6-section에서 0.13 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0212 m/sec의 유속을 나타냈다([Table IV-4]). 또한 중문천 하상을 기준으로 1.56 m의 평균 수심 중 약 1.01 m 지점과 좌안 기준 약 11 ~ 13 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2014년의 중문천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

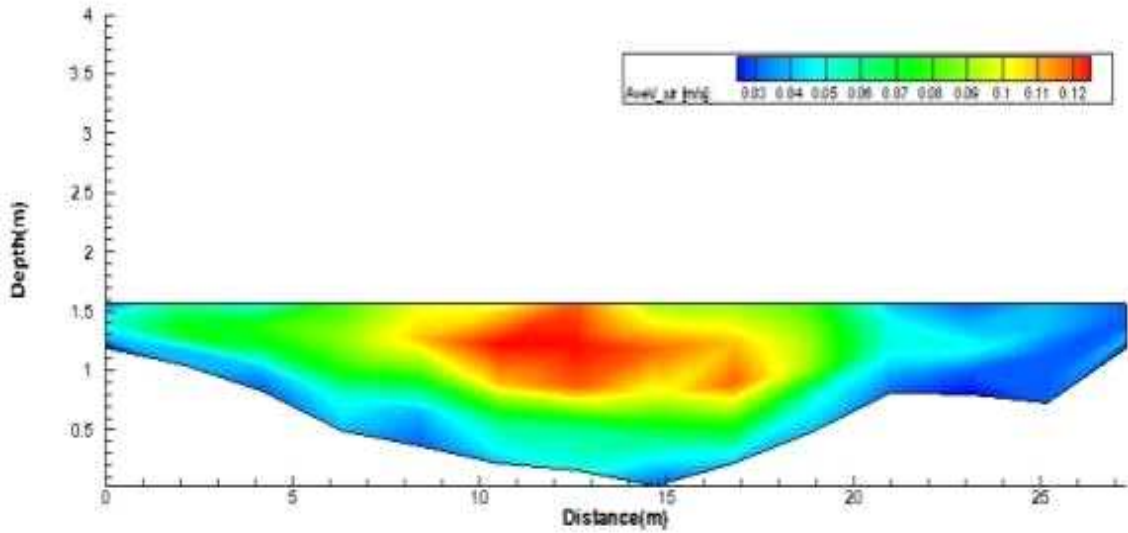


Fig. IV-6. Jungmun-stream analysis result of flow velocity distribution
(2014year average)

Table IV-4. Jungmun-stream analysis result of average flow characteristics
(2014year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2014	12	1.5632	0.0663	0.1312	0.0212

(5) 2015년 중문천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-7]은 중문천 관측지점을 대상으로 2015년 1월 16일부터 6월 5일까지 총 6회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2015년의 대표유속분포를 나타낸다.

2015년 중문천의 최대수심은 2015년 4월 3일 1.61 m, 최저수심은 2015년 3월 6일 1.37 m로 나타냈으며, 6회의 평균수위는 1.50 m를 나타냈다. 하상기준을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.07 /sec, 최대 유속은 6-section에서 0.15 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0228 m/sec의 유속을 나타냈다([Table

IV-5)]. 또한 중문천 하상을 기준으로 1.50 m의 평균 수심 중 약 0.98 m 지점과 좌안 기준 약 11 ~ 13 m에서 색선기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2015년의 중문천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

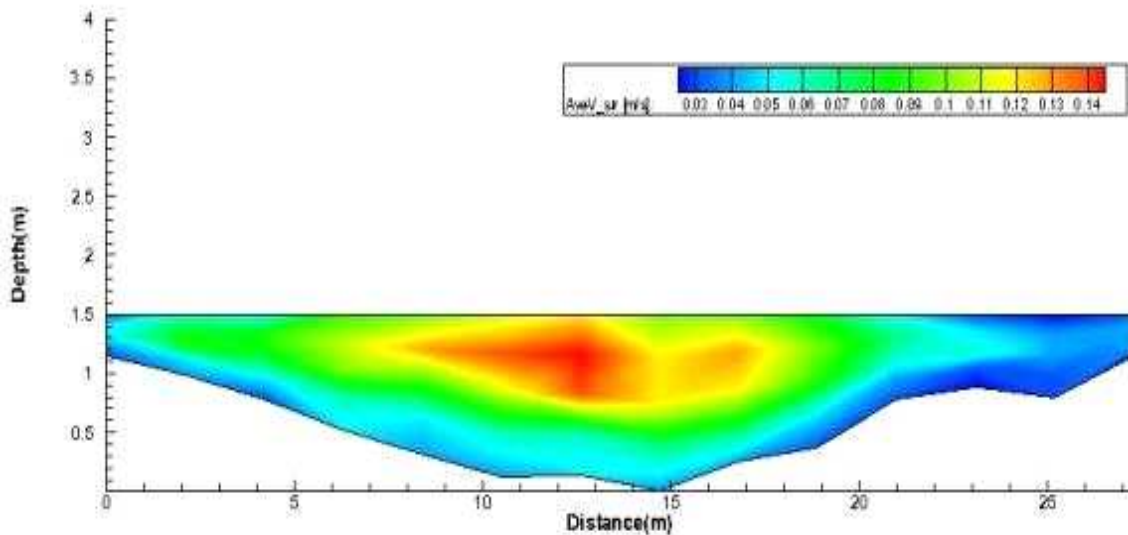


Fig. IV-7. Jungmun-stream analysis result of flow velocity distribution (2015year average)

Table IV-5. Jungmun-stream analysis result of average flow characteristics (2015year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2015	6	1.5102	0.0722	0.1450	0.0228

(6) 전체 관측기간의 중문천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-8]은 중문천 관측지점을 대상으로 2011년부터 2015년까지 총 72회로 관측

된 ADCP 데이터를 전체 평균하여 관측 횟수에 부합되는 강정천의 대표유속분포를 나타낸다.

2011년부터 2015년까지 분석된 결과의 평균수위는 1.63 m를 나타냈다. 하상을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.06 m/sec, 최대 유속은 6-section에서 0.12 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0178 m/sec의 유속을 나타냈다 ([Table IV-6]). 또한 중문천 하상을 기준으로 1.63 m의 평균 수심 중 약 1.04 m 지점과 좌안 기준 약 10 ~ 13 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 72회 관측 횟수에 부합(2011년 ~ 2015년)되는 중문천 ADCP 관측 지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 urf 를 추정하는데 적용된다.

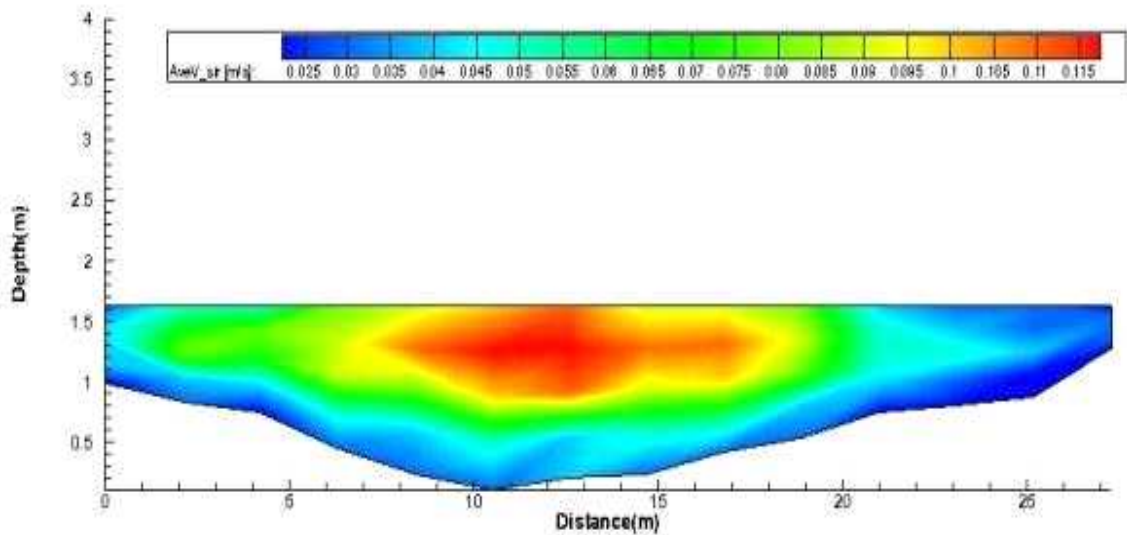


Fig. IV-8. Jungmun-stream analysis result of flow velocity distribution (2011~2015 year average)

Table IV-6. Jungmun-stream analysis result of average flow characteristics (2011~2015 year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)

2011~2015	72	1.6318	0.0629	0.1214	0.0178
-----------	----	--------	--------	--------	--------

1.2.2 강정천 평균유속분포 분석

2011년 7월 22일부터 2015년 6월 23일까지 강정천을 대상으로 ADCP 현장 실측 자료를 이용한 유속분포 분석현황은 [Fig. IV-9] ~ [Fig. IV-15]와 같다. 강정천 ADCP 관측지점의 하폭은 약 13 m이며, 1 m 간격으로 수직성분의 표면유속과 최대유속을 포함한 유속분포 범위를 셀별로 분석하였다.

ADCP의 운영과정에서 관측 데이터의 불확실성(순간적인 유속변화)을 제거하기 위해 관측 년도별로 필터링 작업을 실시하였다. 또한 연구대상 하천별 평균유속분포 현황의 최대유속과 표면유속의 관계를 이용하여 매개변수를 산정하고 Chiu-2차원 유속분포식에 적용하였다.

(1) 2011년 강정천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-9]는 강정천 관측지점을 대상으로 2011년 7월 22일부터 12월 23일까지 총 16회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2011년의 대표유속분포를 나타낸다.

2011년 강정천의 최대수심은 2011년 7월 22일 1.47 m, 최저수심은 2011년 12월 23일 1.13 m로 나타냈으며, 12회의 평균수심은 1.34 m를 나타냈다. 하상을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.09 /sec, 최대 유속은 9-section에서 0.18 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.01333 m/sec의 유속을 나타냈다 ([Table IV-7]). 또한 강정천 하상을 기준으로 1.34 m의 평균 수심 중 약 0.78 m 지점과 좌안 기준 약 7 ~ 9 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2011년의 강정천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

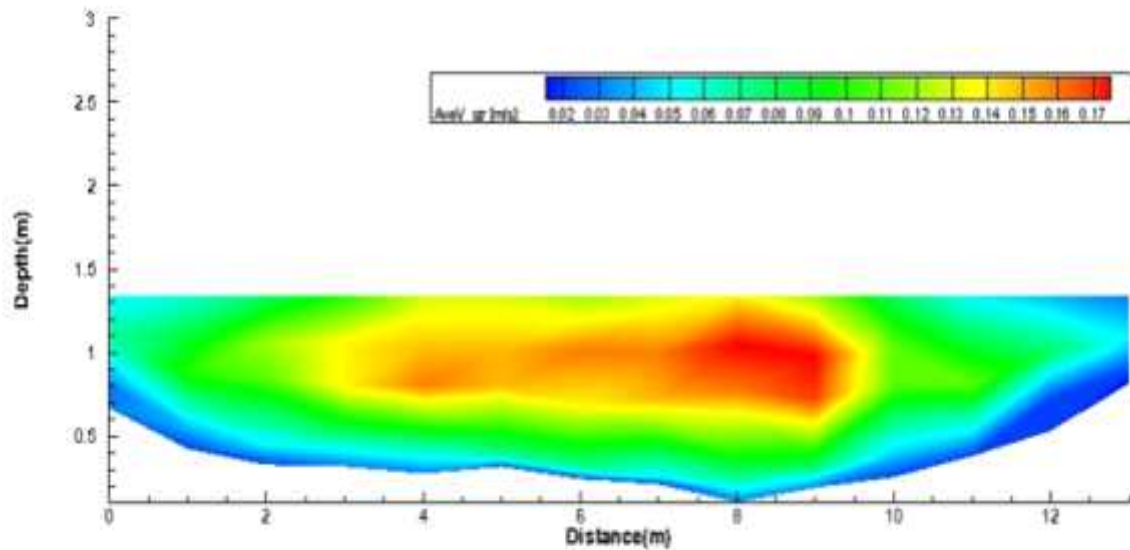


Fig. IV-9. Gangjung-stream analysis result of flow velocity distribution
(2011year average)

Table IV-7. Gangjung-stream analysis result of average flow characteristics
(2011year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2011	12	1.336	0.0908	0.1799	0.0133

(2) 2012년 강정천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-10]은 강정천 관측지점을 대상으로 2012년 1월 6일부터 12월 22일까지 총 23회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2012년의 대표유속분포를 나타낸다.

2012년 강정천의 최대수심은 2012년 9월 14일 1.54 m, 최저수심은 2012년 2월 16일 1.17 m로 나타냈으며, 23회의 평균수심은 1.33 m를 나타냈다. 하상을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.09 /sec, 최대 유속은 7-section에서 0.19 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0247 m/sec의 유속을 나타냈다([Table

IV-8]). 또한 강정천 하상을 기준으로 1.33 m의 평균 수심 중 약 0.64 m 지점과 좌안 기준 약 6 ~ 8 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2012년의 강정천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

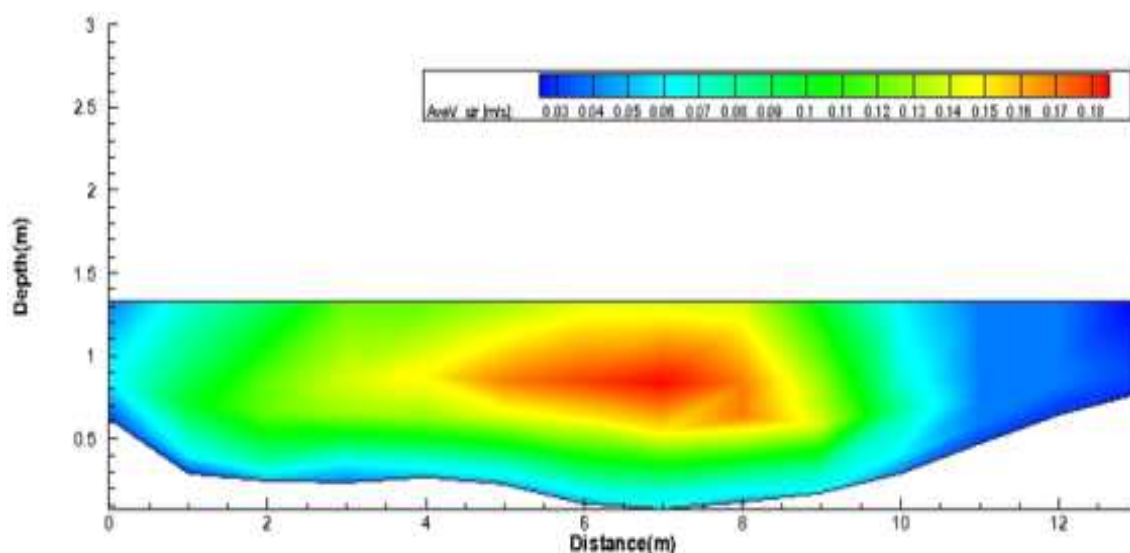


Fig. IV-10. Gangjung-stream analysis result of flow velocity distribution
(2012 year average)

Table IV-8. Gangjung-stream analysis result of average flow characteristics
(2012 year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2012	23	1.3321	0.0897	0.1908	0.0247

(3) 2013년 강정천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-11]은 강정천 관측지점을 대상으로 2013년 1월 18일부터 12월 6일까지 총

15회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2013년의 대표유속분포를 나타낸다.

2013년 강정천의 최대수심은 2013년 7월 12일 1.31 m, 최저수심은 2013년 11월 1일 0.89 m로 나타냈으며, 15회의 평균수위는 1.19 m를 나타냈다. 하상을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.07 /sec, 최대 유속은 8-section에서 0.13 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0236 m/sec의 유속을 나타냈다([Table IV-9]). 또한 강정천 하상을 기준으로 1.19 m의 평균 수심 중 약 0.66 m 지점과 좌안 기준 약 5 m 지점, 8 m 지점에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2013년의 강정천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 urf 를 추정하는데 적용된다.

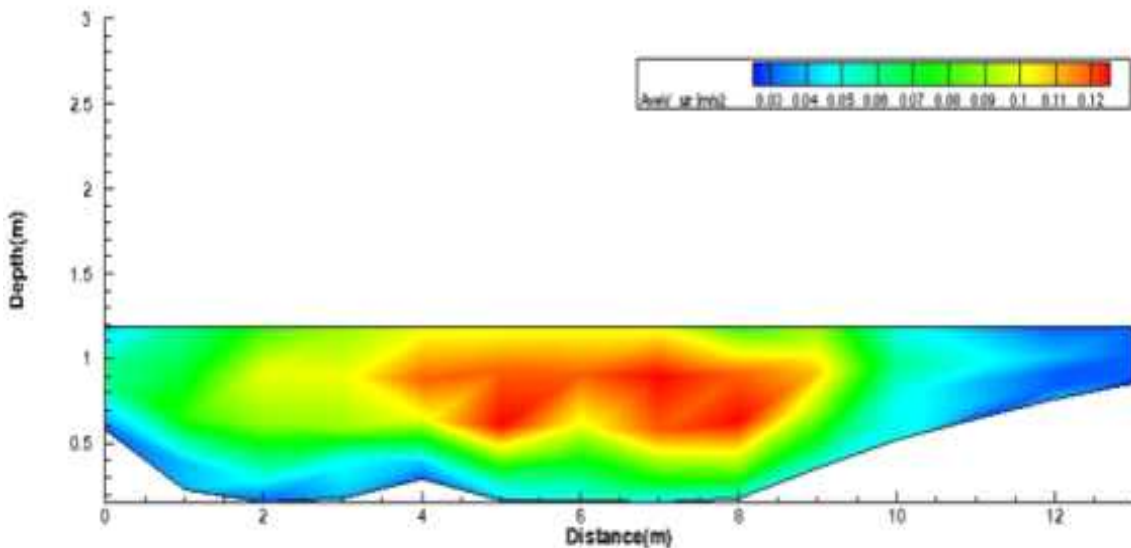


Fig. IV-11. Gangjung-stream analysis result of flow velocity distribution (2013year average)

Table IV-9. Gangjung-stream analysis result of average flow characteristics (2013year average)

Year of	Count of	Average	Average	maximum	minimum
---------	----------	---------	---------	---------	---------

observations	observations	water depth (m)	surface velocity (m/s)	velocity (m/s)	velocity (m/s)
2013	15	1.1949	0.0727	0.1345	0.0236

(4) 2014년 강정천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-12]는 강정천 관측지점을 대상으로 2014년 1월 3일부터 12월 12일까지 총 12회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2014년의 대표유속분포를 나타낸다.

2014년 강정천의 최대수심은 2014년 9월 5일 1.37 m, 최저수심은 2014년 3월 7일 0.97 m로 나타냈으며, 12회의 평균수위는 1.07 m로 다른 년도에 비해 가장 낮은 평균수심을 나타냈다. 하상을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.07 /sec, 최대 유속은 7-section에서 0.15 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0211 m/sec의 유속을 나타냈다([Table IV-10]). 또한 강정천 하상을 기준으로 1.07 m의 평균 수심 중 약 0.60 m 지점과 좌안 기준 약 6 ~ 8 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2014년의 강정천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

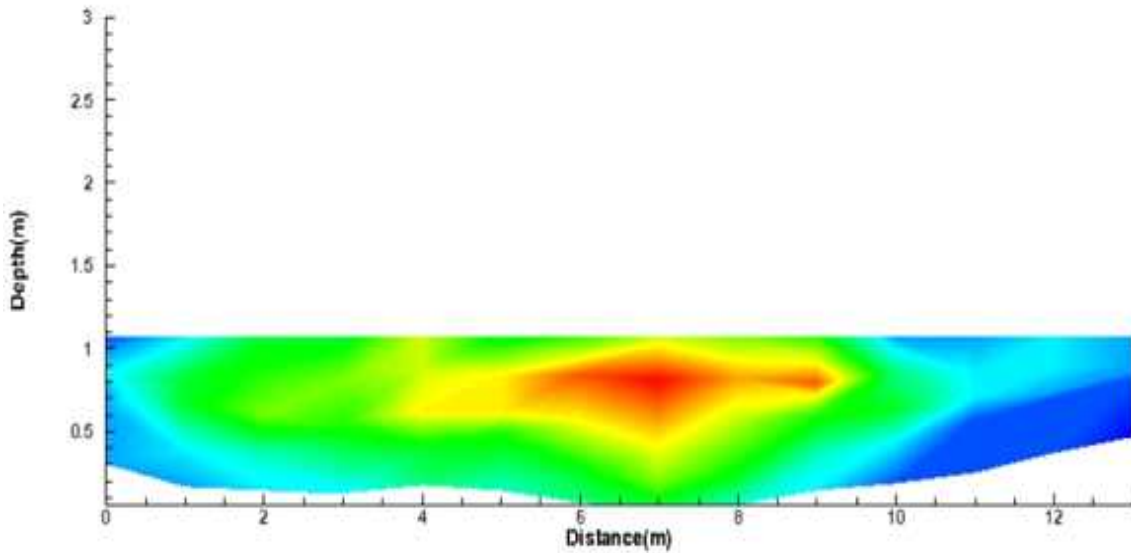


Fig. IV-12. Gangjung-stream analysis result of flow velocity distribution
(2014year average)

Table IV-10. Gangjung-stream analysis result of average flow characteristics
(2014year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2014	12	1.0738	0.0681	0.1533	0.0211

(5) 2015년 강정천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-13]은 강정천 관측지점을 대상으로 2015년 1월 16일부터 6월 5일까지 총 6회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2015년의 대표유속분포를 나타낸다.

2015년 강정천의 최대수심은 2015년 5월 1일 1.38 m, 최저수심은 2015년 2월 7일 1.08 m로 나타났으며, 6회의 평균수위는 1.36 m를 나타냈다. 하상기준을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.10 /sec, 최대 유속은 7-section에서 0.23 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0321 m/sec의 유속을 나타냈다([Table

IV-11]). 또한 강정천 하상을 기준으로 1.36 m의 평균 수심 중 약 0.75 m 지점과 좌안 기준 약 6 ~ 8 m에서 색선기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2015년의 강정천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

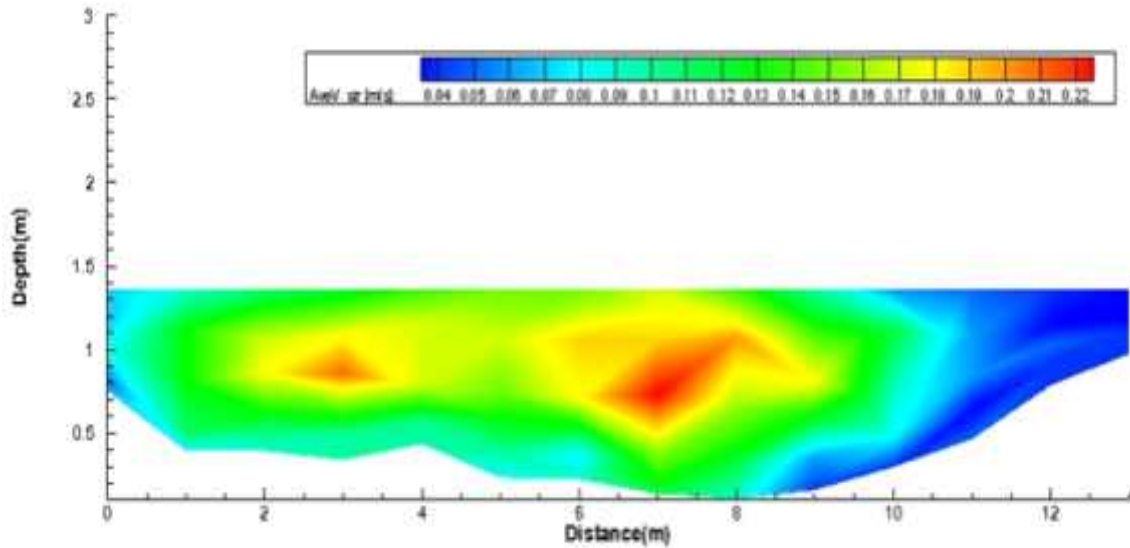


Fig. IV-13. Gangjung-stream analysis result of flow velocity distribution (2015year average)

Table IV-11. Gangjung-stream analysis result of average flow characteristics (2015year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2015	6	1.3575	0.1024	0.2314	0.0321

(6) 전체 관측기간의 강정천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-14]는 강정천 관측지점을 대상으로 2011년부터 2015년까지 총 72회로 관측된 ADCP 데이터를 전체 평균하여 관측 횟수에 부합되는 강정천의 대표유속분포를 나타낸다.

2011년부터 2015년까지 분석된 결과의 평균수위는 1.26 m를 나타냈다. 하상기준을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.08 m/sec, 최대 유속은 7-section에서 0.16 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0235 m/sec의 유속을 나타냈다 ([Table IV-12]). 또한 강정천 하상을 기준으로 1.26 m의 평균 수심 중 약 0.69 m 지점과 좌안 기준 약 6 ~ 8 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 72회 관측 횟수에 부합(2011년 ~ 2015년)되는 강정천 ADCP 관측 지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 urf 를 추정하는데 적용된다.

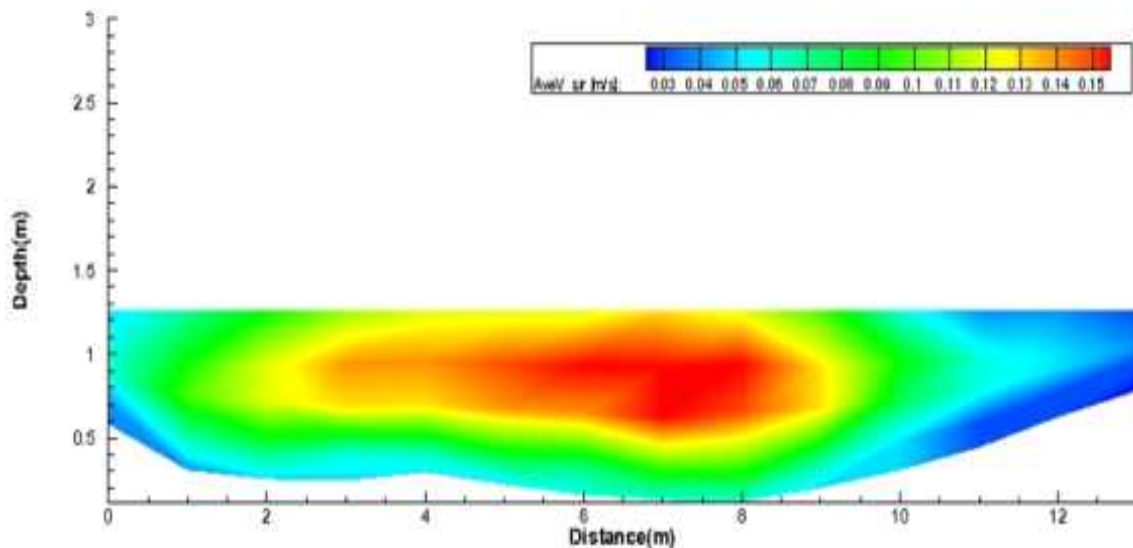


Fig. IV-14. Gangjung-stream analysis result of flow velocity distribution (2011~2015year average)

Table IV-12. Gangjung-stream analysis result of average flow characteristics (2011~2015year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2011~2015	72	1.2589	0.0847	0.1581	0.0235

1.2.3 악근천 유속분포 추정

2011년 7월 22일부터 2015년 6월 5일까지 악근천을 대상으로 ADCP 현장 실측자료를 이용한 유속분포 분석현황은 [Fig. IV-15] ~ [Fig. IV-20]과 같다. 악근천 ADCP 관측지점의 하폭은 약 32 m이며, 2.45 m 간격으로 수직성분의 표면유속과 최대유속을 포함한 유속분포 범위를 셀별로 분석하였다.

ADCP의 운영과정에서 관측 데이터의 불확실성(순간적인 유속변화)을 제거하기 위해 관측 년도별로 필터링 작업을 실시하였다. 또한 연구대상 하천별 평균유속분포 현황의 최대유속과 표면유속의 관계를 이용하여 매개변수를 산정하고 Chiu-2차원 유속분포식에 적용하였다.

(1) 2011년 악근천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-15]는 악근천 관측지점을 대상으로 2011년 7월 22일부터 12월 23일까지 총 12회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2011년의 대표유속분포를 나타낸다.

2011년 악근천의 최대수심은 2011년 9월 2일 1.30 m, 최저수심은 2011년 12월 23일 1.15 m로 나타냈으며, 12회의 평균수위는 1.22 m를 나타냈다. 하상기준을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.10 /sec, 최대 유속은 6-section에서 0.17 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0123 m/sec의 유속을 나타냈다 ([Table IV-13]). 또한 악근천 하상을 기준으로 1.22 m의 평균 수심 중 약 0.84 m 지점과 좌안 기준 약 9 ~ 11 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2015년의 악근천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 urf 를 추정하는데 적용된다.

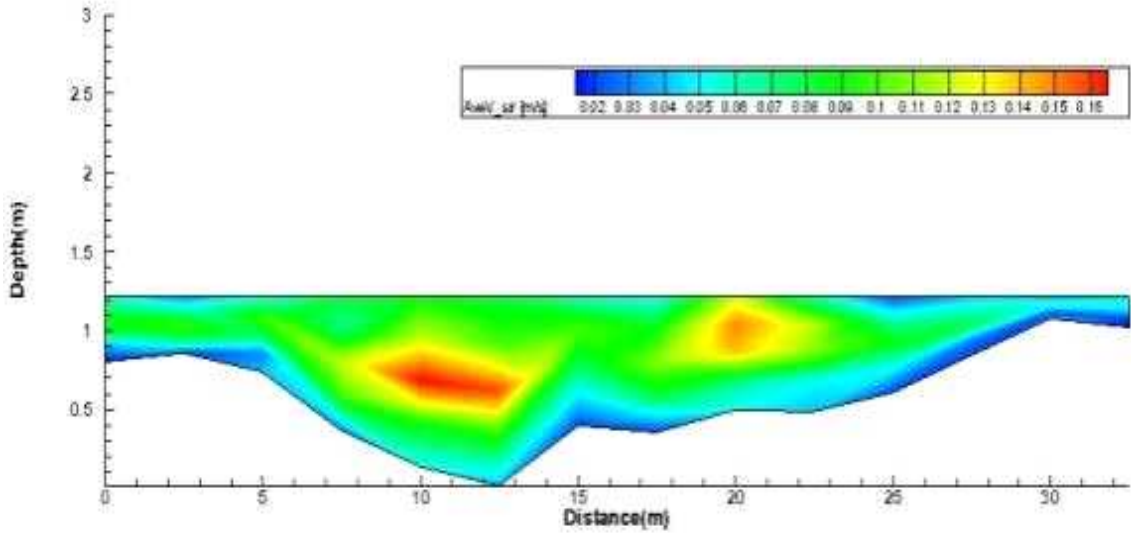


Fig. IV-15. Akgeun-stream analysis result of flow velocity distribution
(2011 year average)

Table IV-13. Akgeun-stream analysis result of average flow characteristics
(2011 year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2011	12	1.2263	0.0604	0.1712	0.0123

(2) 2012년 약근천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-16]은 약근천 관측지점을 대상으로 2012년 1월 6일부터 12월 22일까지 총 23회 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2012년의 대표유속분포를 나타낸다.

2012년 약근천의 최대수심은 2012년 9월 14일 1.43 m, 최저수심은 2012년 3월 16일 1.20 m로 나타냈으며, 23회의 평균수위는 1.36 m를 나타냈다. 하상기준을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.07 /sec, 최대 유속은 7-section에서 0.16

/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0167 m/sec의 유속을 나타냈다 ([Table IV-14]). 또한 악근천 하상을 기준으로 1.36 m의 평균 수심 중 약 0.95 m 지점과 좌안 기준 약 13 ~ 15 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2012년의 악근천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트리계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

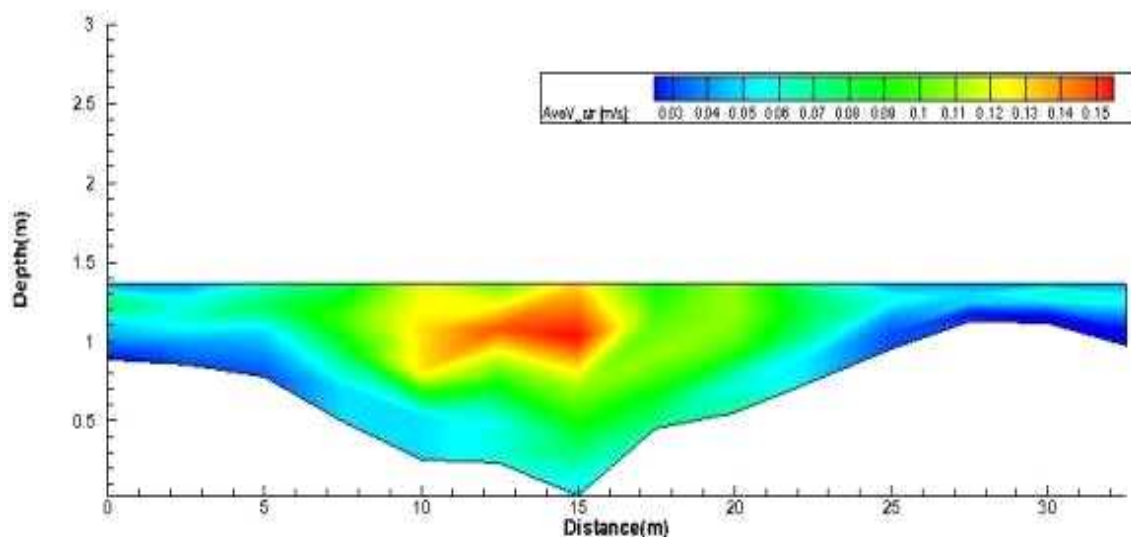


Fig. IV-16. Akgeun-stream analysis result of flow velocity distribution
(2012 year average)

Table IV-14. Akgeun-stream analysis result of average flow characteristics
(2012 year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2012	23	1.3612	0.0704	0.1575	0.0167

(3) 2013년 악근천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-17]은 악근천 관측지점을 대상으로 2013년 1월 18일부터 12월 6일까지 총 19회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저

· 최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2013년의 대표유속분포를 나타낸다.

2013년 악근천의 최대수심은 2013년 7월 12일 1.38 m, 최저수심은 2013년 11월 1일 1.23 m로 나타냈으며, 19회의 평균수위는 1.30 m를 나타냈다. 하상기준을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.07 /sec, 최대 유속은 7-section에서 0.19 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0167 m/sec의 유속을 나타냈다 ([Table IV-15]). 또한 악근천 하상을 기준으로 1.30 m의 평균 수심 중 약 0.94 m 지점과 좌안 기준 약 12 ~ 13 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2013년의 악근천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

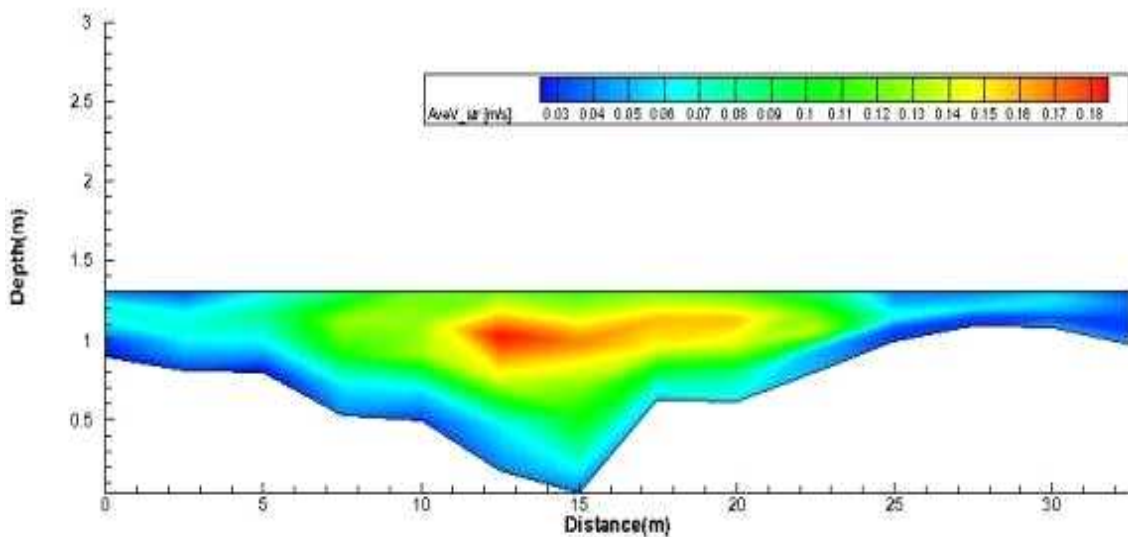


Fig. IV-17. Akgeun-stream analysis result of flow velocity distribution
(2013year average)

Table IV-15. Akgeun-stream analysis result of average flow characteristics
(2013year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth	Average surface	maximum velocity	minimum velocity
----------------------	-----------------------	---------------------	-----------------	------------------	------------------

		(m)	velocity (m/s)	(m/s)	(m/s)
2013	19	1.3053	0.0744	0.1850	0.0167

(4) 2014년 악근천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-18]은 악근천 관측지점을 대상으로 2014년 1월 3일부터 12월 12일까지 총 12회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2014년의 대표유속분포를 나타낸다.

2014년 악근천의 최대수심은 2014년 9월 5일 1.27 m, 최저수심은 2015년 2월 7일 1.01 m로 나타냈으며, 12회의 평균수위는 1.14 m를 나타냈다. 하상기준을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.09 /sec, 최대 유속은 6-section에서 0.17 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0208 m/sec의 유속을 나타냈다([Table IV-16]). 또한 악근천 하상을 기준으로 1.14 m의 평균 수심 중 약 0.82 m 지점과 좌안 기준 약 11 ~ 13 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2014년의 악근천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

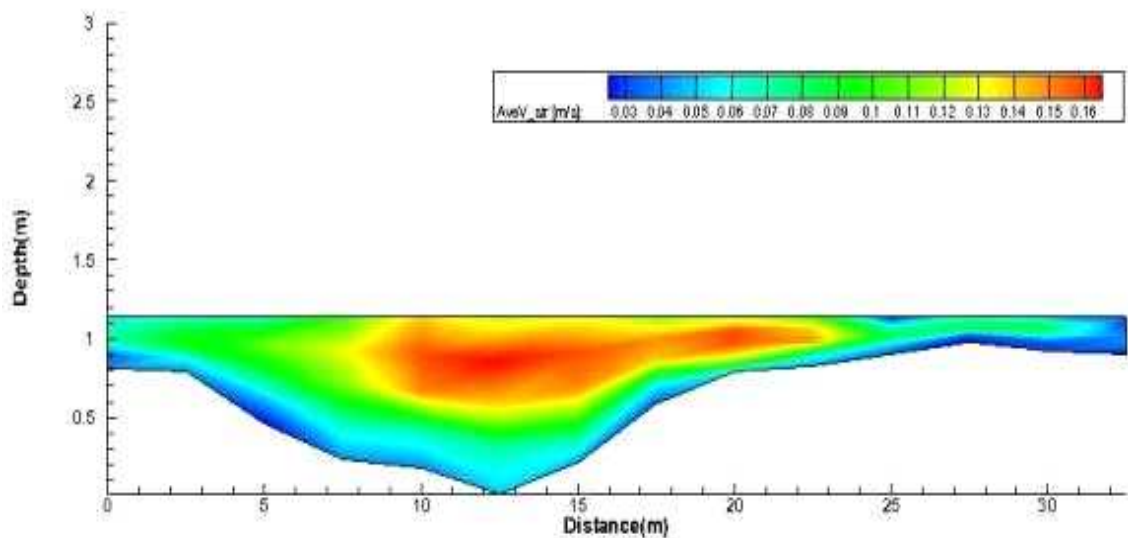


Fig. IV-18. Akgeun-stream analysis result of flow velocity distribution

(2014year average)

Table IV-16. Akgeun-stream analysis result of average flow characteristics (2014year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2014	12	1.1432	0.0858	0.1684	0.0208

(5) 2015년 약근천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-19]는 약근천 관측지점을 대상으로 2015년 1월 16일부터 6월 5일까지 총 6회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2015년의 대표유속분포를 나타낸다.

2015년 약근천의 최대수심은 2015년 4월 3일 1.27 m, 최저수심은 2015년 2월 7일 1.07 m로 나타났으며, 6회의 평균수위는 1.12 m를 나타냈다. 하상기준을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.10 /sec, 최대 유속은 7-section에서 0.15 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0261 m/sec의 유속을 나타냈다([Table IV-17]). 또한 약근천 하상을 기준으로 1.12 m의 평균 수심 중 약 0.74 m 지점과 좌안 기준 약 12 ~ 14 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2015년의 약근천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

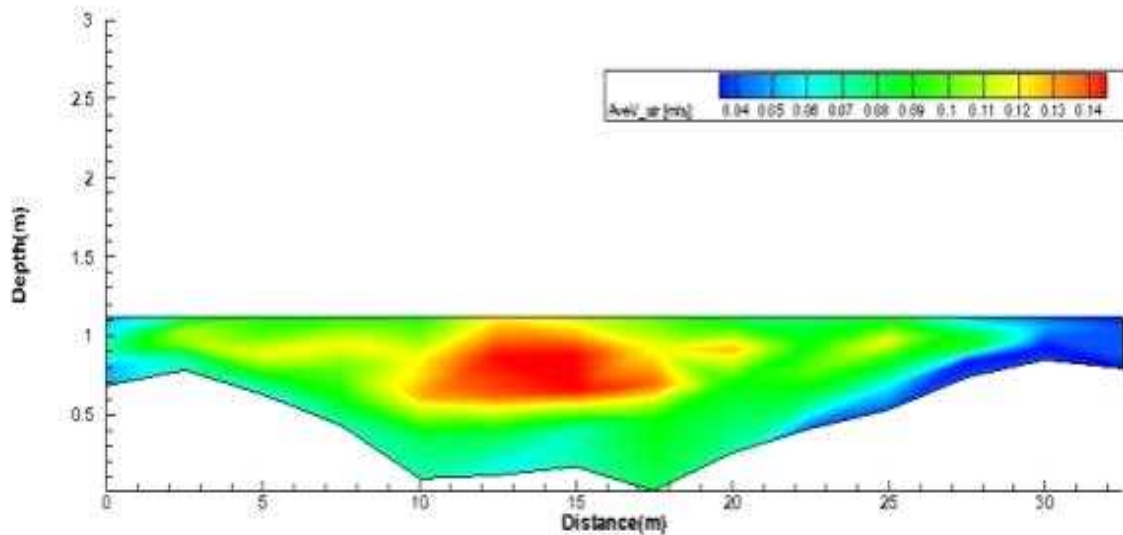


Fig. IV-19. Akgeun-stream analysis result of flow velocity distribution
(2015year average)

Table IV-17. Akgeun-stream analysis result of average flow characteristics
(2015year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2015	6	1.1241	0.1002	0.2033	0.0261

(6) 전체 관측기간의 약근천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-20]는 약근천 관측지점을 대상으로 2011년부터 2015년까지 총 72회로 관측된 ADCP 데이터를 전체 평균하여 관측 횟수에 부합되는 약근천의 대표유속분포를 나타낸다.

2011년부터 2015년까지 분석된 결과의 평균수위는 1.23 m를 나타냈다. 하상기준을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.08 /sec, 최대 유속은 6-section에서 0.16 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0227 m/sec의 유속을 나타냈다 ([Table IV-18]). 또한 약근천 하상을 기준으로 1.23 m의 평균 수심 중 약 0.86 m 지점과 좌안 기준 약 11 ~ 14 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있

다. 이 같은 결과는 72회 관측 횟수에 부합(2011년 ~ 2015년)되는 악근천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

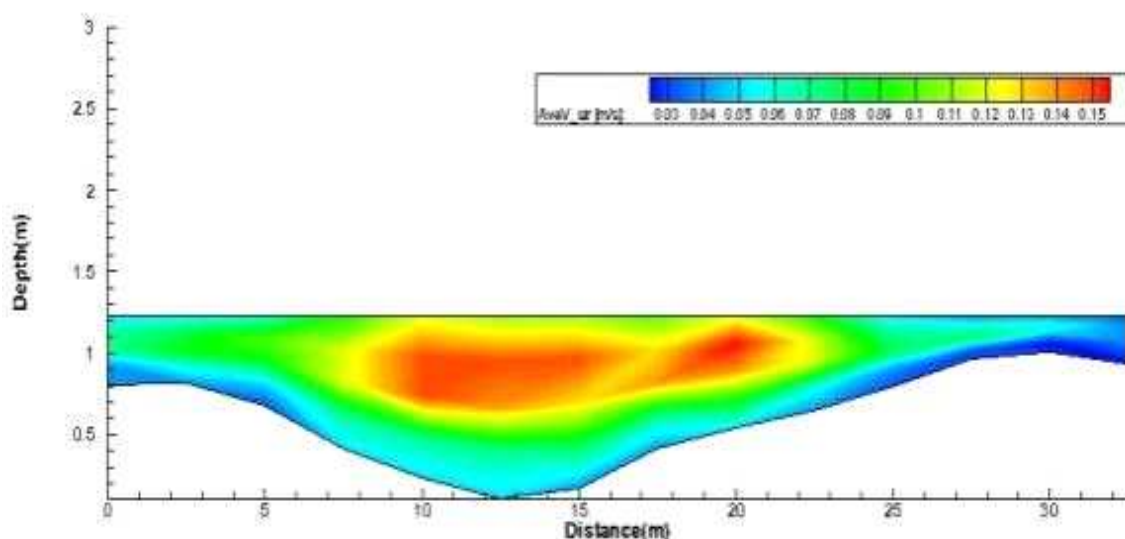


Fig. IV-20. Akgeun-stream analysis result of flow velocity distribution
(2011~2015year average)

Table IV-18. Akgeun-stream analysis result of average flow characteristics
(2011~2015year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2011~2015	72	1.2320	0.0782	0.1596	0.0227

1.2.4 연외천 유속분포 추정

2011년 7월 22일부터 2015년 6월 5일까지 연외천을 대상으로 ADCP 현장 실측 자료를 이용한 유속분포 분석현황은 [Fig. IV-21] ~ [Fig. IV-26]과 같다. 연외천 ADCP 관측지점의 하폭은 약 13 m이며, 1 m 간격으로 수직성분의 표면유속과 최대유속을 포함한 유속분포 범위를 셀별로 분석하였다.

ADCP의 운영과정에서 관측 데이터의 불확실성(순간적인 유속변화)을 제거하기 위해 관측 년도별로 필터링 작업을 실시하였다. 또한 연구대상 하천별 평균유속분포 현황의 최대유속과 표면유속의 관계를 이용하여 매개변수를 산정하고 Chiu-2차원 유속분포식에 적용하였다.

(1) 2011년 연외천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-21]은 연외천 관측지점을 대상으로 2011년 7월 22일부터 12월 23일까지 총 12회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2011년의 대표유속분포를 나타낸다.

2011년 연외천의 최대수심은 2011년 5월 1일 1.51 m, 최저수심은 2011년 11월 09일 1.13 m로 나타냈으며, 12회의 평균수위는 1.41 m를 나타냈다. 하상을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.11 /sec, 최대 유속은 9-section에서 0.21 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0146 m/sec의 유속을 나타냈다([Table IV-19]). 또한 연외천 하상을 기준으로 1.41 m의 평균 수심 중 약 0.82 m 지점과 좌안 기준 약 7 ~ 8 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2011년의 연외천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피 계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

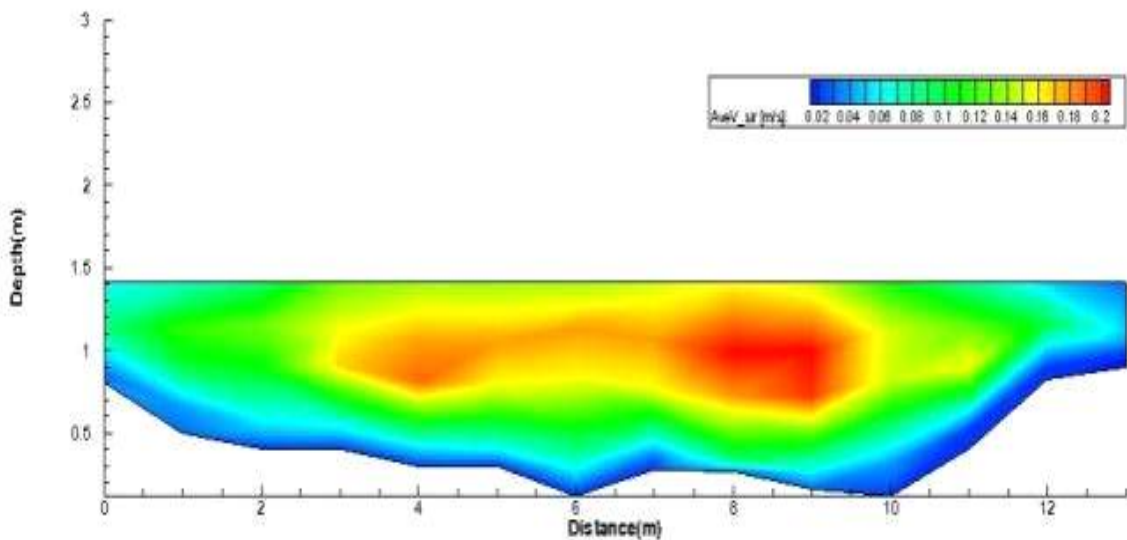


Fig. IV-21. Yenoel-stream analysis result of flow velocity distribution
(2011year average)

Table IV-19. Yenoel-stream analysis result of average flow characteristics
(2011year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2011	12	1.4142	0.1080	0.2146	0.0146

(2) 2012년 연외천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-22]은 연외천 관측지점을 대상으로 2012년 1월 6일부터 12월 22일까지 총 23회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2012년의 대표유속분포를 나타낸다.

2012년 연외천의 최대수심은 2012년 8월 31일 1.39 m, 최저수심은 2012년 11월 19일 1.28 m로 나타냈으며, 23회의 평균수위는 1.31 m를 나타냈다. 하상기준을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.05 /sec, 최대 유속은 8-section에서 0.16 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0167 m/sec의 유속을 나타냈다 ([Table IV-20]). 또한 연외천 하상을 기준으로 1.31 m의 평균 수심 중 약 0.76 m 지점과 좌안 기준 약 7 ~ 8 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2012년의 연외천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

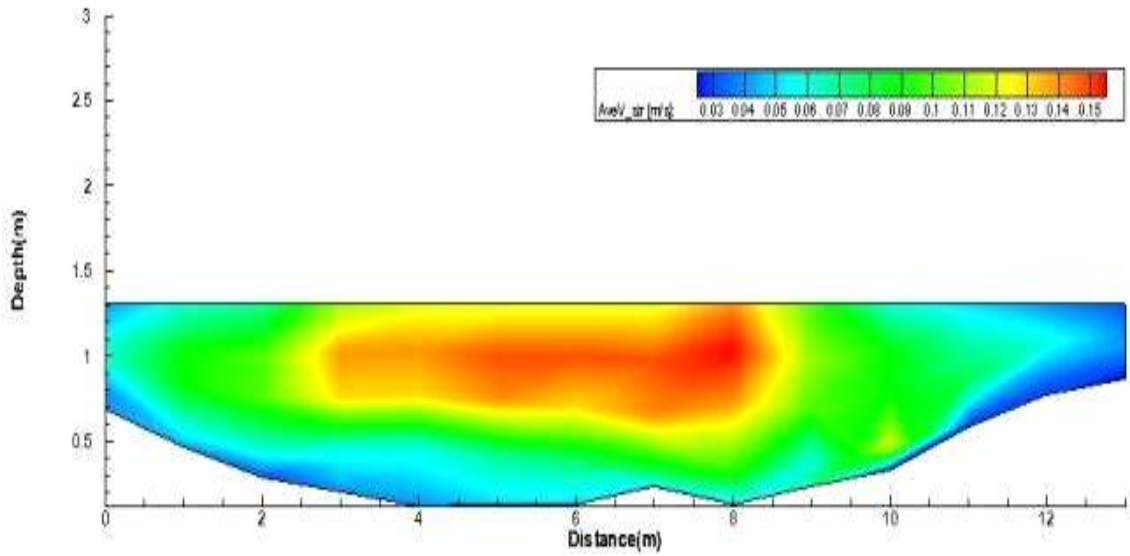


Fig. IV-22. Yeno-i-stream analysis result of flow velocity distribution
(2012year average)

Table IV-20. Yeno-i-stream analysis result of average flow characteristics
(2012year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2012	23	1.3067	0.0477	0.1671	0.0167

(3) 2013년 연외천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-23]는 연외천 관측지점을 대상으로 2013년 1월 18일부터 12월 6일까지 총 19회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2013년의 대표유속분포를 나타낸다.

2013년 연외천의 최대수심은 2013년 6월 29일 1.21 m, 최저수심은 2013년 12월 6일 0.98 m로 나타냈으며, 19회의 평균수위는 1.18 m를 나타냈다. 하상기준을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.07 /sec, 최대 유속은 6-section에서 0.19 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0225 m/sec의 유속을 나타냈다

([Table IV-21]). 또한 연외천 하상을 기준으로 1.18 m의 평균 수심 중 약 0.63 m 지점과 좌안 기준 약 6 ~ 7 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2013년의 연외천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 urf 를 추정하는데 적용된다.

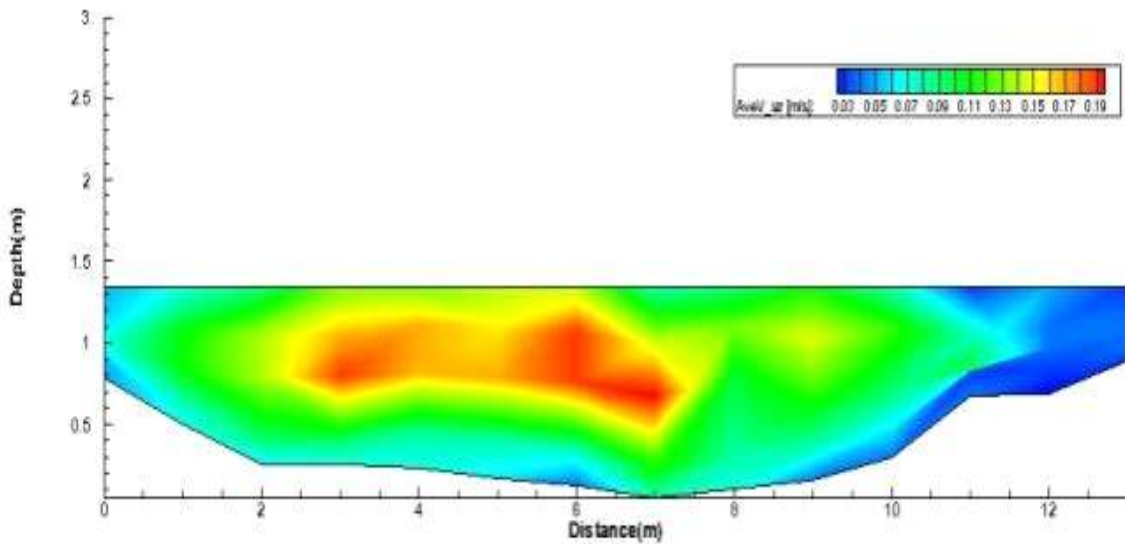


Fig. IV-23. Yenoel-stream analysis result of flow velocity distribution
(2013year average)

Table IV-21. Yenoel-stream analysis result of average flow characteristics
(2013year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2013	19	1.1838	0.0710	0.1475	0.0225

(4) 2014년 연외천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-24]는 연외천 관측지점을 대상으로 2014년 1월 3일부터 12월 12일까지 총 12회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2014년

의 대표유속분포를 나타낸다.

2014년 연외천의 최대수심은 2014년 9월 5일 1.42 m, 최저수심은 2014년 3월 7일 1.16 m로 나타냈으며, 12회의 평균수위는 1.32 m를 나타냈다. 하상기준을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.09 /sec, 최대 유속은 5-section에서 0.20 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.02453 m/sec의 유속을 나타냈다([Table IV-22]). 또한 연외천 하상을 기준으로 1.32 m의 평균 수심 중 약 0.76 m 지점과 좌안 기준 약 5 ~ 6 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2014년의 연외천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

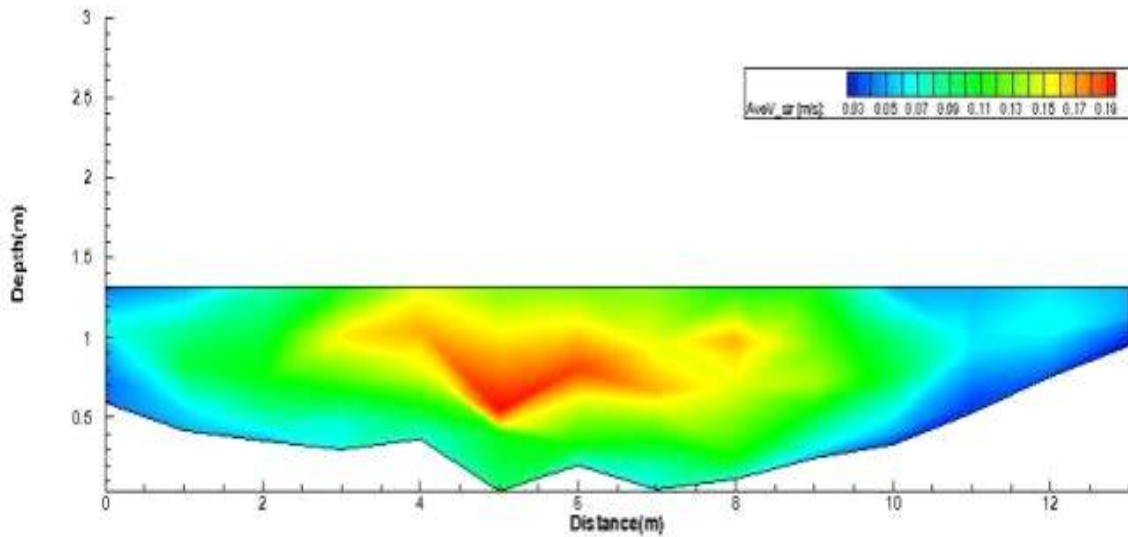


Fig. IV-24. Yeno-i-stream analysis result of flow velocity distribution
(2014year average)

Table IV-22. Yeno-i-stream analysis result of average flow characteristics
(2014year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)

2014	12	1.3180	0.0892	0.2023	0.0245
------	----	--------	--------	--------	--------

(5) 2015년 연외천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-25]는 연외천 관측지점을 대상으로 2015년 1월 16일부터 6월 5일까지 총 6회로 관측된 ADCP 데이터를 각각 관측 일자별로 분석지점의 수심에 따른 최저·최고 유속과 표면유속을 분석하고 동일지점에서 관측된 데이터를 평균한 2015년의 대표유속분포를 나타낸다.

2015년 연외천의 최대수심은 2015년 5월 1일 1.40 m, 최저수심은 2015년 3월 6일 1.12 m로 나타났으며, 6회의 평균수위는 1.34 m를 나타냈다. 하상기준을 기준으로 6개 섹션의 평균표면유속은 0.10 /sec, 최대 유속은 8-section에서 0.11 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0213 m/sec의 유속을 나타냈다([Table IV-23]). 또한 연외천 하상을 기준으로 1.34 m의 평균 수심 중 약 0.77 m 지점과 좌안 기준 약 8 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 2015년의 연외천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

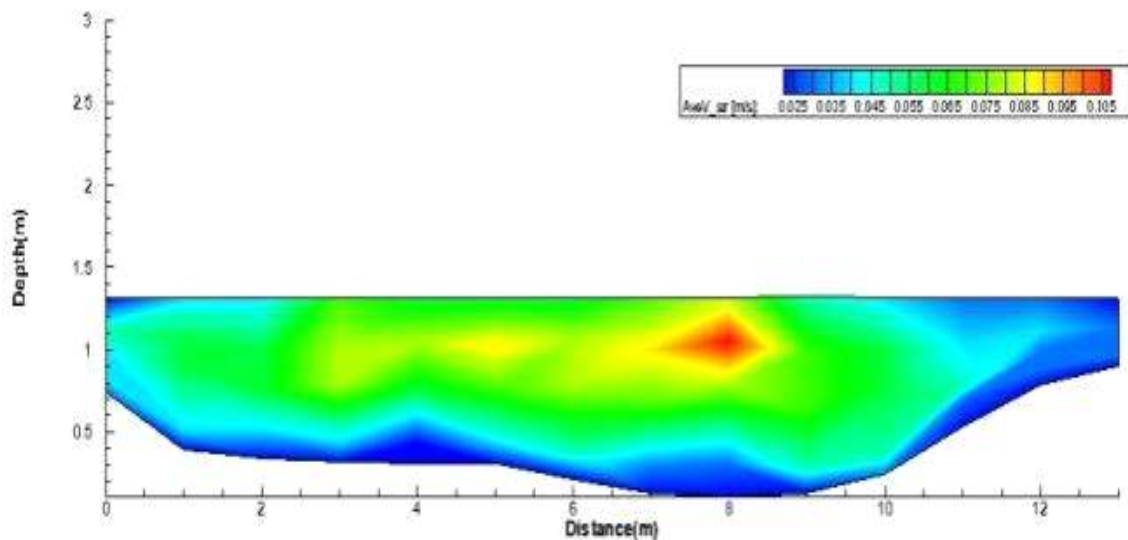


Fig. IV-25. Yeno-i-stream analysis result of flow velocity distribution

(2015year average)

Table IV-23. Yenoel-stream analysis result of average flow characteristics (2015year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2015	6	1.3433	0.0983	0.2033	0.0213

(6) 전체 관측기간의 연외천 ADCP 실측자료 분석 결과

[Fig. IV-26]는 연외천 관측지점을 대상으로 2011년부터 2015년까지 총 72회로 관측된 ADCP 데이터를 전체 평균하여 관측 횟수에 부합되는 연외천의 대표유속분포를 나타낸다.

2011년부터 2015년까지 분석된 결과의 평균수위는 1.31 m를 나타냈다. 하상기준을 기준으로 13개 섹션의 평균표면유속은 0.08 /sec, 최대 유속은 6-section에서 0.16 m/sec, 최저 유속은 전체 섹션의 하상부분에서 0.0247 m/sec의 유속을 나타냈다 ([Table IV-24]). 또한 연외천 하상을 기준으로 1.31 m의 평균 수심 중 약 0.75 m 지점과 좌안 기준 약 6 ~ 8 m에서 섹션기준 최대 유속분포범위를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 72회 관측 횟수에 부합(2011년 ~ 2015년)되는 연외천 ADCP 관측 지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 u_{rf} 를 추정하는데 적용된다.

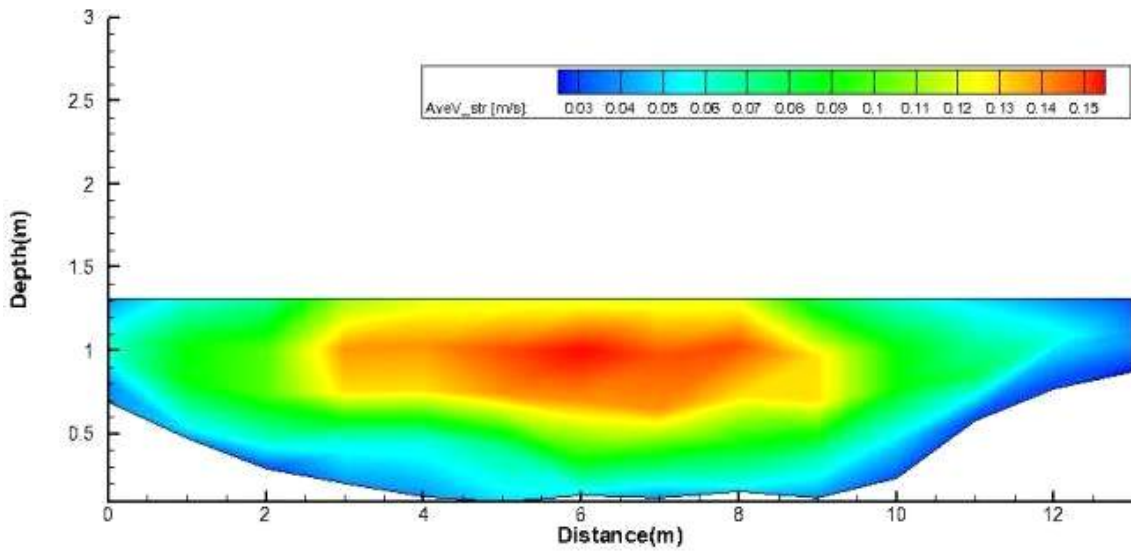


Fig. IV-26. Yeno-i-stream analysis result of flow velocity distribution
(2011~2015year average)

Table IV-24. Yeno-i-stream analysis result of average flow characteristics
(2011~2015year average)

Year of observations	Count of observations	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
2011~2015	72	1.3132	0.0829	0.1668	0.0247

2. 하천유속분포식의 매개변수 산정결과 및 검정

2.1 Chiu-2차원 유속분포식의 매개변수 추정방법

실제 자연하천을 대상으로 Chiu-2차원 유속분포식 적용하는 과정에서 하천별 흐름 특성에 관계되는 매개변수를 추정하기 위해 연구대상 하천의 72회 ADCP 관측 단면 유속분포자료를 분석하였다. 제주도 상시하천의 흐름특성(평균유속분포)을 분석하는 과정에서 기존 Chiu-2차원 유속분포식을 적용하는 이유 다음과 같다. 관계식은

단면유속분포 특성을 이용하여 단면평균유속을 유도과정에서 실험단면 뿐만 아니라 자연하천의 불규칙한 단면에서도 기존의 많은 연구에서 적용성과 효용성이 인정되고 있기 때문이다.

Chiu-2차원 유속분포식에 관계되는 매개변수 중 특정 하천단면에서 엔트로피계수 ()는 일정하다고 가정할 수 있으며 표면유속 또는 최대유속을 이용하여 평균유속으로 유도할 수 있다(Lee et al., 2007, Kim et al., 2008, Choo et al., 2010).

Chiu-2차원 유속분포식을 본 논문의 식 (II-21)을 이용하여 표면유속의 관계로 유도하면 다음 식 (IV-1)과 같이 정리할 수 있다(Choo, 1999)

$$u_{surf} = \frac{u_{max}}{M} \ln \left[1 + (e - 1) \frac{\xi_{surf} - \xi_0}{\xi_{max} - \xi_0} \right] \quad (IV-1)$$

여기서 M 은 적용되는 하천단면의 고유한 흐름특성을 나타내는 엔트로피 계수이며, u 는 적용단면의 평균유속, u_{max} 는 최대유속을 나타내며, 크사이()는 해당 단면의 공간적 분포를 제시하는 식으로 나타낸다.

Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 매개변수 중 엔트로피 계수(M)는 해당 하천의 단면 유속분포에 대한 동질성을 결정하며 유도식은 다음의 식 (IV-2)와 같다.

$$\Phi() = \frac{u}{u_{max}} = \frac{e^M - 1}{M} \quad (IV-2)$$

여기서 $\Phi(M)$ 은 단면의 평균유속과 최대유속에 대한 관계비율을 나타내며 엔트로피 계수의 함수이다. 즉 해당 하천의 유속분포 특성을 나타내는 함수를 의미한다. ADCP의 실측자료를 이용하여 관계식을 식을 역으로 적용하여 M 을 계산한다. 한편, 단면의 유속분포에 대한 공간적 분포를 모델링하기 위해 다음 식 (IV-3)을 사용하였다(Chiu, 1989).

$$\xi = \frac{y}{D-h} \exp\left(1 - \frac{y}{D-h}\right) \quad (IV-3)$$

여기서 u_{urf} 는 수표면 유속, ξ_{surf} 는 수표면 유속이 발생하는 곳의 ξ 값을 나타내며, 계산에 필요한 ξ_{surf} 및 ξ_{max} 는 각각 식 (IV-4), 식 (IV-5)와 같다(Choo, 2006).

$$\xi_{max} = \frac{y}{-h} \exp\left(1 - \frac{y}{D-h}\right) = 1 \quad (y = -h) \quad (IV-4)$$

$$\xi_{surf} = \frac{D}{D-h} \exp\left(1 - \frac{D}{D-h}\right) \quad (IV-5)$$

따라서 하상 바닥에서의 $\xi_0 = 0$ 과 식 (IV-4)을 식 (IV-1)에 대입하면 다음과 같은 식 (IV-6)을 얻을 수 있으며, ξ_{surf} 항으로 정리하면 식 (IV-7)과 같다(Choo, 2006).

$$u_{urf} = \frac{u_{max}}{M} \ln[1 + (e^{-1}) \cdot \xi_{surf}] \quad (IV-6)$$

$$\xi_{surf} = \frac{\exp\left(\frac{u_{surf}}{u_{max}} \cdot M\right) - 1}{e^M - 1} \quad (IV-7)$$

위와 같이 산정된 식 (IV-7)을 식 (IV-5)에 대입하여 정리하면 표면유속으로부터 최대유속을 구할 수 있는 식 (IV-8)을 구할 수 있다(Choo, 2006).

$$\frac{D}{D-h} \exp\left(1 - \frac{D}{D-h}\right) = \frac{\exp\left(\frac{u_{surf}}{u_{max}} \cdot M\right) - 1}{e^M - 1} \quad (IV-8)$$

또한 평균유속과 최대유속의 관계는 식 (IV-9)와 같이 나타낼 수 있다(Chiu, 1995).

$$U = \Phi \cdot u_{max} \quad (IV-9)$$

연구대상 하천의 Chiu-2차원 유속분포식에 관계되는 특성 매개변수를 위의 유도식을 적용하여 추정하고 관측된 표면유속을 이용하여 최대유속을 산정한 다음 각각 평균유속으로 변환하여 중간단면법을 적용하여 유량을 산정하였다.

2.2 연구대상 하천의 유속분포식 매개변수 산정

Chiu-2차원 유속분포식을 활용하여 실제 제주도 자연하천에 적용하는 과정에서 흐름특성에 관계되는 유속분포특성에 대한 매개변수 추정과정 필요하며, 적용되는 유속분포를 검증하기 위한 자료가 최우선적으로 필요하다. 이 과정에서 하천별 72회의 ADCP 관측자료를 년도별로 비교·분석하여 단면 2차원 유속분포를 산정하고 흐름특성을 나타내는 매개변수를 추정하는데 사용하였다. 또한 장기간 실측된 ADCP의 유속(유량)자료는 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 주요 매개변수의 추정과정에서 년도별 단면 유속분포의 평균유속, 최대유속을 분석하기 위해 사용되며 최종적으로 추정된 매개변수의 검증과정에도 사용되었다.

ADCP의 관측결과를 본 연구의 목적에 맞게 적용하는 과정에서 관측된 연속적인 유속분포 현황은 최종 사용목적에 적합한 시간평균 유속과는 동일한 유속특성으로 취급할 수 없으므로 관측 단면의 이상치를 제거하고 각 연구대상 하천단면의 13개 섹션에 대한 연직유속자료를 평균하여 분석하였다. 또한 Chiu-2차원 유속분포식을 이용한 유량산정결과는 평균유속이 약 0.1 /sec 이하의 저유속인 하천일 경우 전체 산정된 유량에 민감한 결과를 나타내므로 소수점 넷째자리까지 획일화하여 적용하였다.

2.2.1 하천별 유속분포식 매개변수 산정 결과

(1) 중문천 유속분포식 매개변수의 산정 결과

2011년부터 2015년까지 중문천 ADCP 실측자료의 유속분포 셀을 분석하고 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 매개변수를 추정한 결과는 [(Table IV-27)]~[(Table IV-32)]와 같다. 중문천 ADCP 관측지점의 하폭은 약 27 m로 분석되었으며, 하폭을 기준으로 2.07 m 간격으로 13개 섹션의 연직 유속분포를 분석하였다. 13개 섹션의

유속분포 자료는 각각 섹션별로 평균유속과 최대유속을 산정하고 식(IV-2)을 적용하여 최대유속과 평균유속의 비율을 나타내는 $\phi()$ 를 산정하였다.

관측기간 동안 13개 섹션별 평균유속(\bar{u})은 0.0434~0.0680 m/sec의 범위를 나타내고 있으며, 최대유속(u_{max})은 0.0660~0.1022 m/sec를 나타냈다. 또한 최대유속(u_{max})과 평균유속(\bar{u})의 비율을 나타내는 $\phi(M)$ 는 0.6549~0.7218의 범위를 나타냈다.

2011년부터 2015년까지 종합 자료의 평균유속(\bar{u})은 0.0577 m/sec, 최대유속(u_{max})이 0.0813 m/sec, $\phi(M)$ 은 0.7206을 나타냈다. 산정된 $\phi(M)$ 는 중문천 관측지점을 대표하는 엔트로피 계수(M)과 ξ_{urf} 를 산정하는데 적용된다.

Table IV-25. 2011 year average flow velocity distribution characteristics of Jungmun-stream

2011yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
0	0.0374	0.0425	0.0653	0.0451	0.0301	0.0441	0.0653	0.6750
1	0.0653	0.0922	0.0874	0.0459	0.0321	0.0646	0.0922	0.7004
2	0.0701	0.1024	0.1152	0.0551	0.0175	0.0721	0.1152	0.6255
3	0.1211	0.1351	0.1603	0.1251	0.0324	0.1148	0.1603	0.7162
4	0.1174	0.1424	0.1353	0.0452	0.0324	0.0945	0.1424	0.6639
5	0.1250	0.1352	0.1151	0.0474	0.0299	0.0905	0.1352	0.6695
6	0.1124	0.1423	0.0952	0.0674	0.0176	0.0870	0.1423	0.6112
7	0.1024	0.1173	0.0977	0.0726	0.0303	0.0841	0.1173	0.7166
8	0.0976	0.1274	0.1073	0.0422	0.0271	0.0803	0.1274	0.6305
9	0.0924	0.1213	0.1236	0.0524	0.0321	0.0844	0.1236	0.6825

10	0.0289	0.0425	0.0601	0.0473	0.0174	0.0392	0.0601	0.6529
11	0.0324	0.0376	0.0477	0.0354	0.0125	0.0331	0.0477	0.6943
12	0.0327	0.0446	0.0644	0.0477	0.0127	0.0404	0.0644	0.6276
13	0.0159	0.0374	0.0256	0.0222	0.0154	0.0233	0.0374	0.6230
2011yr-average result						0.0680	0.1022	0.6635

Table IV-26. 2012 year average flow velocity distribution characteristics of Jungmun-stream

2012yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
Vertical section								
0	0.0217	0.0442	0.0358	0.0311	0.0175	0.0301	0.0442	0.6801
1	0.0242	0.0525	0.0558	0.0225	0.0150	0.0340	0.0558	0.6093
2	0.0392	0.0617	0.0483	0.0333	0.0150	0.0395	0.0617	0.6402
3	0.0583	0.0667	0.0720	0.0458	0.0192	0.0524	0.0720	0.7278
4	0.0632	0.0833	0.0642	0.0417	0.0202	0.0545	0.0833	0.6545
5	0.0808	0.1033	0.0883	0.0308	0.0317	0.0670	0.1033	0.6484
6	0.0650	0.0858	0.0658	0.0317	0.0183	0.0533	0.0858	0.6214
7	0.0758	0.0858	0.0867	0.0425	0.0167	0.0615	0.0867	0.7093
8	0.0617	0.0725	0.0617	0.0275	0.0142	0.0475	0.0725	0.6554
9	0.0425	0.0611	0.0433	0.0258	0.0167	0.0379	0.0611	0.6200
10	0.0508	0.0542	0.0420	0.0375	0.0192	0.0407	0.0542	0.7517
11	0.0258	0.0301	0.0458	0.0242	0.0133	0.0278	0.0458	0.6079

12	0.0202	0.0492	0.0317	0.0233	0.0267	0.0302	0.0492	0.6142
13	0.0183	0.0317	0.0489	0.0325	0.0221	0.0307	0.0489	0.6278
2012yr-average result						0.0434	0.0660	0.6549

Table IV-27. 2013 year average flow velocity distribution characteristics of Jungmun-stream

2013yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
Vertical section	①	②	③	④	⑤	(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
0	0.0217	0.0367	0.0403	0.0323	0.0185	0.0299	0.0403	0.7419
1	0.0582	0.0595	0.0733	0.0370	0.0330	0.0522	0.0733	0.7121
2	0.0352	0.0682	0.0583	0.0323	0.0185	0.0425	0.0682	0.6232
3	0.0683	0.0687	0.0600	0.0413	0.0272	0.0531	0.0687	0.7729
4	0.0740	0.0885	0.0718	0.0238	0.0212	0.0559	0.0885	0.6312
5	0.0835	0.0988	0.0787	0.0412	0.0245	0.0653	0.0988	0.6613
6	0.1028	0.1048	0.0978	0.0383	0.0392	0.0766	0.1048	0.7307
7	0.0775	0.0978	0.0723	0.0427	0.0218	0.0624	0.0978	0.6382
8	0.0728	0.0838	0.0907	0.0590	0.0267	0.0666	0.0907	0.7343
9	0.0707	0.0680	0.0687	0.0365	0.0332	0.0554	0.0707	0.7839
10	0.0413	0.0562	0.0445	0.0375	0.0277	0.0414	0.0562	0.7374
11	0.0313	0.0332	0.0423	0.0307	0.0188	0.0313	0.0423	0.7390
12	0.0265	0.0322	0.0452	0.0368	0.0262	0.0334	0.0452	0.7385

13	0.0213	0.0282	0.0371	0.0240	0.0135	0.0248	0.0371	0.6690
2013yr-average result						0.0493	0.0702	0.7081

Table IV-28. 2014 year average flow velocity distribution characteristics of Jungmun-stream

2014yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
0	0.0285	0.0467	0.0451	0.0351	0.0245	0.0360	0.0467	0.7704
1	0.0594	0.0723	0.0829	0.0430	0.0390	0.0593	0.0829	0.7156
2	0.0468	0.0826	0.0687	0.0419	0.0253	0.0531	0.0826	0.6424
3	0.0835	0.0915	0.0752	0.0493	0.0388	0.0677	0.0915	0.7395
4	0.0976	0.1145	0.0754	0.0414	0.0288	0.0715	0.1145	0.6248
5	0.1043	0.1312	0.1063	0.0568	0.0377	0.0873	0.1312	0.6651
6	0.1168	0.1268	0.1202	0.0567	0.0496	0.0940	0.1268	0.7415
7	0.0931	0.1158	0.0967	0.0555	0.0342	0.0791	0.1158	0.6827
8	0.0892	0.1110	0.1155	0.0774	0.0359	0.0858	0.1155	0.7429
9	0.0803	0.0888	0.0879	0.0465	0.0376	0.0682	0.0888	0.7682
10	0.0377	0.0534	0.0509	0.0403	0.0261	0.0417	0.0534	0.7805
11	0.0285	0.0384	0.0467	0.0335	0.0212	0.0337	0.0467	0.7208
12	0.0341	0.0458	0.0324	0.0284	0.0274	0.0336	0.0458	0.7341
13	0.0285	0.0421	0.0339	0.0368	0.0223	0.0327	0.0421	0.7772

2014yr-average result	0.0603	0.0846	0.7218
-----------------------	--------	--------	--------

Table IV-29. 2015 year average flow velocity distribution characteristics of Jungmun-stream

2015yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
Vertical section								
0	0.0335	0.0520	0.0495	0.0371	0.0293	0.0403	0.0520	0.7746
1	0.0595	0.0801	0.0903	0.0477	0.0433	0.0642	0.0903	0.7107
2	0.0519	0.0941	0.0841	0.0499	0.0325	0.0625	0.0941	0.6642
3	0.0905	0.1058	0.0972	0.0553	0.0459	0.0789	0.1058	0.7461
4	0.1033	0.1257	0.0926	0.0519	0.0383	0.0824	0.1257	0.6552
5	0.1115	0.1387	0.1149	0.0596	0.0405	0.0930	0.1387	0.6708
6	0.1247	0.1450	0.1387	0.0611	0.0531	0.1045	0.1450	0.7208
7	0.1033	0.1227	0.1174	0.0611	0.0531	0.0915	0.1227	0.7459
8	0.1014	0.1282	0.1228	0.0811	0.0409	0.0949	0.1282	0.7401
9	0.0829	0.0985	0.0929	0.0513	0.0327	0.0717	0.0985	0.7275
10	0.0491	0.0679	0.0607	0.0448	0.0251	0.0495	0.0679	0.7293
11	0.0329	0.0457	0.0581	0.0318	0.0231	0.0383	0.0581	0.6596
12	0.0379	0.0483	0.0362	0.0283	0.0272	0.0356	0.0483	0.7366
13	0.0285	0.0453	0.0370	0.0378	0.0228	0.0343	0.0453	0.7567
2015yr-average result						0.0673	0.0943	0.7170

Table IV-30. Total average flow velocity distribution characteristics of Jungmun-stream

Total average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
0	0.0286	0.0444	0.0472	0.0361	0.0240	0.0361	0.0472	0.7640
1	0.0533	0.0713	0.0779	0.0392	0.0325	0.0549	0.0779	0.7038
2	0.0486	0.0818	0.0749	0.0425	0.0218	0.0539	0.0818	0.6592
3	0.0843	0.0936	0.0929	0.0634	0.0327	0.0734	0.0936	0.7843
4	0.0911	0.1109	0.0879	0.0408	0.0282	0.0718	0.1109	0.6472
5	0.1010	0.1214	0.1007	0.0472	0.0329	0.0806	0.1214	0.6639
6	0.1043	0.1209	0.1035	0.0510	0.0356	0.0831	0.1209	0.6870
7	0.0904	0.1079	0.0942	0.0549	0.0312	0.0757	0.1079	0.7018
8	0.0845	0.1046	0.0996	0.0574	0.0290	0.0750	0.1046	0.7174
9	0.0738	0.0875	0.0833	0.0425	0.0305	0.0635	0.0875	0.7255
10	0.0416	0.0548	0.0516	0.0415	0.0231	0.0425	0.0548	0.7754
11	0.0302	0.0370	0.0481	0.0311	0.0178	0.0328	0.0481	0.6825
12	0.0303	0.0440	0.0420	0.0329	0.0240	0.0346	0.0440	0.7870
13	0.0225	0.0369	0.0365	0.0307	0.0192	0.0292	0.0369	0.7895
Total-average result						0.0577	0.0813	0.7206

중문천 ADCP 실측자료의 유속분포를 분석하고 산정된 ϕ ()을 이용하여 관측기간을 대표하는 엔트로피 계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하는 수표면 공간좌표 ξ_{surf} 를 산정한 결과는 [(Table IV-30)]과 같다.

중문천의 엔트로피 계수(M)는 2.0390~4.5128의 범위를 나타내고 있으며 평균 엔트로피 계수(M)는 3.1136으로 산정되었다. 또한 ξ_{surf} 는 0.1622~0.6866의 범위를 나타내고 있으며 평균 ξ_{surf} 는 0.4620으로 산정되었다. 이 같이 산정된 M과 ξ_{surf} 는 관측기간 동안 수집된 ADCP 자료를 기반하는 중문천의 흐름특성과 관계되는 대표값으로 선정하였으며, 관련 매개변수는 최종적으로 표면유속을 평균유속으로 산정하는데 적용된다.

Table IV-31. Calculation result of entropy coefficient and ξ_{surf} of Jungmun-stream

Total average		u_{max}	u_{urf}	$\phi(M)$	M	ξ_{surf}
Vertical section	(m/s)	(m/s)	(m/s)			
0	0.0361	0.0472	0.0286	0.7640	3.8944	0.1985
1	0.0549	0.0779	0.0533	0.7038	2.7356	0.3813
2	0.0539	0.0818	0.0486	0.6592	2.0390	0.3534
3	0.0734	0.0936	0.0843	0.7843	4.1823	0.6570
4	0.0718	0.1109	0.0911	0.6472	1.8665	0.6650
5	0.0806	0.1214	0.1010	0.6639	2.1081	0.6603
6	0.0831	0.1209	0.1043	0.6870	2.4614	0.6866
7	0.0757	0.1079	0.0904	0.7018	2.7021	0.6203
8	0.0750	0.1046	0.0845	0.7174	2.9704	0.5425
9	0.0635	0.0875	0.0738	0.7255	3.1166	0.5943
10	0.0425	0.0548	0.0416	0.7754	4.1580	0.3553
11	0.0328	0.0481	0.0302	0.6825	2.3953	0.3502

12	0.0346	0.0440	0.0303	0.7870	4.4475	0.2406
13	0.0292	0.0369	0.0225	0.7895	4.5128	0.1622
2011~2015 Average result				0.7206	3.1136	0.4620

(2) 강정천 유속분포식 매개변수의 산정 결과

2011년부터 2015년까지 강정천 ADCP 실측자료의 유속분포 셀을 분석하고 Chiu-2 차원 유속분포식에 적용되는 매개변수를 추정된 결과는 [(Table IV-34)]와 같다. 강정천 ADCP 관측지점의 하폭은 약 13 m로 분석되었으며, 하폭을 기준으로 1.0 m 간격으로 13개 섹션의 연직 유속분포를 분석하였다. 13개 섹션의 유속분포 자료는 각각 섹션별로 평균유속과 최대유속을 산정하고 식(IV-2)을 적용하여 최대유속과 평균유속의 비율을 나타내는 ϕ ()를 산정하였다.

관측기간 동안 13개 섹션별 평균유속(\bar{u})은 0.0680~0.1050 m/sec의 범위를 나타내고 있으며, 최대유속(u_{max})은 0.0960~0.1431 m/sec를 나타냈다. 또한 최대유속(u_{max})과 평균유속(\bar{u})의 비율을 나타내는 $\phi(M)$ 는 0.6431~0.7584의 범위를 나타냈다.

2011년부터 2015년까지 종합 자료의 평균유속(\bar{u})은 0.0820 m/sec, 최대유속(u_{max})이 0.1119 m/sec, $\phi(M)$ 은 0.7381을 나타냈다. 산정된 $\phi(M)$ 는 강정천 관측지점을 대표하는 엔트로피 계수(M)과 ξ_{urf} 를 산정하는데 적용된다.

Table IV-32. 2011year average flow velocity distribution characteristics of Gangjung-stream

2011yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
0	0.0451	0.0733	0.0643	0.0313	0.0321	0.0492	0.0733	0.6715
1	0.0632	0.0913	0.0974	0.0446	0.0245	0.0642	0.0974	0.6591
2	0.0823	0.1190	0.1093	0.0522	0.0223	0.0770	0.1190	0.6472

3	0.1030	0.1386	0.1434	0.0553	0.0250	0.0931	0.1434	0.6490
4	0.1253	0.1510	0.1560	0.0733	0.0296	0.1070	0.1560	0.6862
5	0.1283	0.1533	0.1482	0.0681	0.0233	0.1042	0.1533	0.6800
6	0.1162	0.1584	0.1389	0.0663	0.0232	0.1006	0.1584	0.6351
7	0.1321	0.1582	0.1532	0.0530	0.0230	0.1039	0.1582	0.6568
8	0.1442	0.1773	0.1623	0.0783	0.0332	0.1191	0.1773	0.6715
9	0.1236	0.1799	0.1653	0.0769	0.0283	0.1148	0.1799	0.6381
10	0.0835	0.1070	0.1110	0.0395	0.0233	0.0729	0.1110	0.6564
11	0.0541	0.0912	0.1110	0.0282	0.0193	0.0608	0.1110	0.5474
12	0.0413	0.0672	0.0782	0.0212	0.0181	0.0452	0.0782	0.5780
13	0.0294	0.0483	0.0383	0.0222	0.0133	0.0303	0.0483	0.6273
2011yr-average result						0.0819	0.1261	0.6431

Table IV-33. 2012year average flow velocity distribution characteristics of Gangjung-stream

2012yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
0	0.0421	0.0568	0.0605	0.0384	0.0253	0.0446	0.0605	0.7375
1	0.0742	0.0895	0.1123	0.0568	0.0258	0.0717	0.1123	0.6386
2	0.0921	0.1195	0.1226	0.0779	0.0537	0.0932	0.1226	0.7599
3	0.1163	0.1426	0.1355	0.0611	0.0411	0.0993	0.1426	0.6965
4	0.1168	0.1525	0.1347	0.0716	0.0516	0.1054	0.1525	0.6914
5	0.1263	0.1684	0.1437	0.0742	0.0532	0.1132	0.1684	0.6720

6	0.1353	0.1847	0.1547	0.0753	0.0542	0.1208	0.1847	0.6543
7	0.1421	0.1908	0.1547	0.0705	0.0558	0.1228	0.1908	0.6435
8	0.1426	0.1747	0.1684	0.0779	0.0526	0.1232	0.1747	0.7054
9	0.1011	0.1326	0.1395	0.0747	0.0589	0.1014	0.1395	0.7266
10	0.0611	0.0711	0.0813	0.0558	0.0432	0.0625	0.0813	0.7688
11	0.0426	0.0642	0.0332	0.0368	0.0263	0.0406	0.0642	0.6327
12	0.0389	0.0568	0.0389	0.0316	0.0262	0.0385	0.0568	0.6775
13	0.0247	0.0537	0.0314	0.0279	0.0247	0.0325	0.0537	0.6048
2012yr-average result						0.0836	0.1218	0.6864

Table IV-34. 2013year average flow velocity distribution characteristics of Gangjung-stream

2013yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
0	0.0445	0.0645	0.0682	0.0445	0.0309	0.0505	0.0682	0.7408
1	0.0582	0.0745	0.0773	0.0436	0.0373	0.0582	0.0773	0.7527
2	0.0804	0.1027	0.0864	0.0473	0.0336	0.0701	0.1027	0.6824
3	0.0936	0.1036	0.0918	0.0518	0.0422	0.0766	0.1036	0.7394
4	0.0991	0.1173	0.0964	0.0364	0.0309	0.0760	0.1173	0.6481
5	0.1027	0.1236	0.1291	0.0582	0.0373	0.0902	0.1291	0.6985
6	0.1045	0.1182	0.0991	0.0622	0.0455	0.0859	0.1182	0.7267
7	0.1065	0.1345	0.1245	0.0664	0.0427	0.0949	0.1345	0.7057
8	0.0845	0.1225	0.1318	0.0782	0.0455	0.0925	0.1318	0.7018

9	0.0945	0.1082	0.0927	0.0691	0.0536	0.0836	0.1082	0.7728
10	0.0855	0.0609	0.0545	0.0464	0.1323	0.0759	0.1323	0.5738
11	0.0427	0.0473	0.0373	0.0355	0.0291	0.0384	0.0473	0.8114
12	0.0291	0.0391	0.0327	0.0264	0.0213	0.0297	0.0391	0.7601
13	0.0323	0.0447	0.0273	0.0211	0.0236	0.0298	0.0447	0.6667
2013yr-average result						0.0680	0.0967	0.7129

Table IV-35. 2014year average flow velocity distribution characteristics of Gangjung-stream

2014yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
Vertical section								
0	0.0283	0.0467	0.0433	0.0415	0.0350	0.0390	0.0467	0.8343
1	0.0450	0.0833	0.0832	0.0523	0.0433	0.0614	0.0833	0.7373
2	0.0756	0.0923	0.1032	0.0632	0.0451	0.0759	0.1032	0.7353
3	0.0917	0.1350	0.0933	0.0567	0.0456	0.0845	0.1350	0.6256
4	0.0983	0.1283	0.1100	0.0767	0.0617	0.0950	0.1283	0.7405
5	0.1050	0.1533	0.1333	0.1056	0.0817	0.1158	0.1533	0.7553
6	0.0883	0.1350	0.1217	0.0783	0.0765	0.1000	0.1350	0.7404
7	0.1050	0.1117	0.1183	0.0983	0.0733	0.1013	0.1183	0.8565
8	0.0767	0.1183	0.1233	0.0850	0.0617	0.0930	0.1233	0.7543
9	0.0752	0.0950	0.0933	0.0667	0.0467	0.0754	0.0950	0.7935
10	0.0438	0.0717	0.0767	0.0450	0.0283	0.0531	0.0767	0.6923
11	0.0350	0.0523	0.0516	0.0317	0.0259	0.0393	0.0523	0.7514

12	0.0467	0.0517	0.0422	0.0317	0.0250	0.0395	0.0517	0.7632
13	0.0383	0.0392	0.0413	0.0332	0.0211	0.0346	0.0413	0.8383
2014yr-average result						0.0720	0.0960	0.7584

Table IV-36. 2015year average flow velocity distribution characteristics of Gangjung-stream

2015yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
0	0.0712	0.0743	0.0775	0.0475	0.0650	0.0671	0.0775	0.8658
1	0.0850	0.1325	0.1275	0.1075	0.0822	0.1069	0.1325	0.8071
2	0.1125	0.1650	0.1800	0.1125	0.0925	0.1325	0.1800	0.7361
3	0.1425	0.1775	0.2050	0.0975	0.1025	0.1450	0.2050	0.7073
4	0.1425	0.1722	0.1675	0.0950	0.1311	0.1417	0.1722	0.8226
5	0.1450	0.1675	0.1450	0.0975	0.0775	0.1265	0.1675	0.7552
6	0.1532	0.1913	0.1775	0.0825	0.0925	0.1394	0.1913	0.7287
7	0.1650	0.1875	0.2314	0.1450	0.1150	0.1688	0.2314	0.7294
8	0.1423	0.1975	0.1612	0.1225	0.0875	0.1422	0.1975	0.7200
9	0.1054	0.1475	0.1813	0.0575	0.0411	0.1066	0.1813	0.5878
10	0.0825	0.1175	0.0853	0.0750	0.0425	0.0806	0.1175	0.6856
11	0.0452	0.0550	0.0625	0.0421	0.0350	0.0480	0.0625	0.7674
12	0.0425	0.0325	0.0525	0.0332	0.0225	0.0366	0.0525	0.6979
13	0.0322	0.0325	0.0350	0.0275	0.0150	0.0284	0.0350	0.8126
2015yr-average result						0.1050	0.1431	0.7445

Table IV-37. Total average flow velocity distribution characteristics of Gangjung-stream

Total average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
Vertical section								
0	0.0462	0.0631	0.0628	0.0406	0.0377	0.0501	0.0631	0.7937
1	0.0651	0.0942	0.0995	0.0610	0.0426	0.0725	0.0995	0.7286
2	0.0886	0.1197	0.1203	0.0706	0.0494	0.0897	0.1203	0.7459
3	0.1094	0.1395	0.1338	0.0645	0.0513	0.0997	0.1395	0.7146
4	0.1164	0.1443	0.1329	0.0706	0.0610	0.1050	0.1443	0.7279
5	0.1215	0.1532	0.1399	0.0807	0.0546	0.1100	0.1532	0.7178
6	0.1195	0.1575	0.1384	0.0729	0.0584	0.1093	0.1575	0.6942
7	0.1301	0.1565	0.1564	0.0866	0.0620	0.1183	0.1565	0.7562
8	0.1181	0.1581	0.1494	0.0884	0.0561	0.1140	0.1581	0.7211
9	0.1000	0.1326	0.1344	0.0690	0.0457	0.0963	0.1344	0.7168
10	0.0713	0.0856	0.0818	0.0523	0.0539	0.0690	0.0856	0.8059
11	0.0439	0.0620	0.0591	0.0349	0.0271	0.0454	0.0620	0.7323
12	0.0397	0.0495	0.0489	0.0288	0.0226	0.0379	0.0495	0.7657
13	0.0314	0.0437	0.0347	0.0264	0.0195	0.0311	0.0437	0.7123
Total-average result						0.0820	0.1119	0.7381

강정천 ADCP 실측자료의 유속분포를 분석하고 산정된 ϕ ()을 이용하여 관측기 간을 대표하는 엔트로피 계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하는 수표면 공간 좌표 ξ_{urf} 를 산정한 결과는 [(Table IV-30)]과 같다.

강정천의 엔트로피 계수(M)는 2.5769~4.6254의 범위를 나타내고 있으며 평균 엔트로피 계수(M)는 3.3459으로 산정되었다. 또한 ξ_{surf} 는 0.2836~0.5225의 범위를 나타내고 있으며, 평균 ξ_{surf} 는 0.4375로 산정되었다. 이 같이 산정된 M과 ξ_{surf} 는 관측 기간 동안 수집된 ADCP 자료를 기반하는 강정천의 흐름특성과 관계되는 대표 값으로 선정하였으며, 관련 매개변수는 최종적으로 표면유속을 평균유속으로 산정하는데 적용된다.

Table IV-38. Calculation result of entropy coefficient and ξ_{surf} of Gangjung-stream

Total average		u_{max}	u_{urf}	ϕ	M	ξ_{surf}
Vertical section	(m/s)	(m/s)	(m/s)			
0	0.0501	0.0631	0.0462	0.7937	4.6254	0.2836
1	0.0725	0.0995	0.0651	0.7286	3.1739	0.3049
2	0.0897	0.1203	0.0886	0.7459	3.5096	0.3778
3	0.0997	0.1395	0.1094	0.7146	2.8222	0.5153
4	0.1050	0.1443	0.1164	0.7279	3.1609	0.5225
5	0.1100	0.1532	0.1215	0.7178	2.9775	0.5149
6	0.1093	0.1575	0.1195	0.6942	2.5769	0.4989
7	0.1183	0.1565	0.1301	0.7562	3.7239	0.5225
8	0.1140	0.1581	0.1181	0.7211	3.0366	0.4364
9	0.0963	0.1344	0.1000	0.7168	2.9598	0.4393
10	0.0690	0.0856	0.0713	0.8059	4.2188	0.4862
11	0.0454	0.0620	0.0439	0.7323	3.2434	0.3635
12	0.0379	0.0495	0.0397	0.7657	3.9326	0.4482
13	0.0311	0.0437	0.0314	0.7123	2.8809	0.4108

2011~2015 Average result	0.7381	3.3459	0.4375
--------------------------	--------	--------	--------

(3) 악근천 유속분포식 매개변수의 산정 결과

2011년부터 2015년까지 악근천 ADCP 실측자료의 유속분포 셀을 분석하고 Chiu-2 차원 유속분포식에 적용되는 매개변수를 추정한 결과는 [(Table IV-31)]과 같다. 악근천 ADCP 관측지점의 하폭은 약 32 m로 분석되었으며, 하폭을 기준으로 2.45 m 간격으로 13개 섹션의 연직 유속분포를 분석하였다. 13개 섹션의 유속분포 자료는 각각 섹션별로 평균유속과 최대유속을 산정하고 식(IV-2)을 적용하여 최대유속과 평균유속의 비율을 나타내는 ϕ ()를 산정하였다.

관측기간 동안 13개 섹션별 평균유속(\bar{u})은 0.0644~0.0972 m/sec의 범위를 나타내고 있으며, 최대유속(u_{max})은 0.0923~0.1378 m/sec를 나타냈다. 또한 최대유속(u_{max})과 평균유속(\bar{u})의 비율을 나타내는 $\phi(M)$ 는 0.6208~0.7219의 범위를 나타냈다.

2011년부터 2015년까지 종합 자료의 평균유속(\bar{u})은 0.0773 m/sec, 최대유속(u_{max})이 0.1102 m/sec, $\phi(M)$ 은 0.7021을 나타냈다. 산정된 $\phi(M)$ 는 악근천 관측지점을 대표하는 엔트로피 계수(M)과 ξ_{urf} 를 산정하는데 적용된다.

Table IV-39. 2011year average flow velocity distribution characteristics of Akgeun-stream

2011yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
0	0.0536	0.0896	0.0919	0.0432	0.0123	0.0581	0.0919	0.6324
1	0.0312	0.0663	0.1640	0.0865	0.0233	0.0743	0.1640	0.4528
2	0.0546	0.1045	0.0855	0.0332	0.0436	0.0643	0.1045	0.6151
3	0.0823	0.0711	0.1223	0.1236	0.0323	0.0863	0.1236	0.6984
4	0.0995	0.1236	0.1712	0.0912	0.0501	0.1071	0.1712	0.6257

5	0.0822	0.1320	0.1623	0.0913	0.0410	0.1018	0.1623	0.6270
6	0.0602	0.1235	0.0859	0.0598	0.0247	0.0708	0.1235	0.5734
7	0.0567	0.0919	0.1181	0.0823	0.0213	0.0741	0.1181	0.6271
8	0.1223	0.1503	0.1494	0.0723	0.0523	0.1093	0.1503	0.7273
9	0.0633	0.1223	0.1122	0.0523	0.0423	0.0785	0.1223	0.6417
10	0.0231	0.0616	0.0914	0.0522	0.0212	0.0499	0.0914	0.5460
11	0.0411	0.0622	0.0914	0.0522	0.0212	0.0536	0.0914	0.5867
12	0.0331	0.0513	0.0514	0.0232	0.0413	0.0401	0.0514	0.7794
13	0.0424	0.0632	0.0360	0.0223	0.0123	0.0352	0.0632	0.5576
2011yr-average result						0.0717	0.1164	0.6208

Table IV-40. 2012year average flow velocity distribution characteristics of Akgeun-stream

2012yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
0	0.0375	0.0753	0.0503	0.0350	0.0375	0.0471	0.0753	0.6258
1	0.0411	0.0625	0.0575	0.0375	0.0250	0.0447	0.0625	0.7155
2	0.0553	0.0750	0.0532	0.0375	0.0300	0.0502	0.0750	0.6693
3	0.0750	0.0952	0.0751	0.0533	0.0475	0.0692	0.0952	0.7271
4	0.1150	0.1334	0.1250	0.0525	0.0514	0.0955	0.1334	0.7156
5	0.1025	0.1475	0.0836	0.0575	0.0365	0.0855	0.1475	0.5798
6	0.1275	0.1575	0.1113	0.0811	0.0475	0.1050	0.1575	0.6665
7	0.0922	0.1025	0.1075	0.0421	0.0725	0.0834	0.1075	0.7754

8	0.1075	0.1150	0.1025	0.0825	0.0650	0.0945	0.1150	0.8217
9	0.0675	0.0775	0.0725	0.0475	0.0450	0.0620	0.0775	0.8000
10	0.0413	0.0567	0.0467	0.0362	0.0311	0.0424	0.0567	0.7478
11	0.0367	0.0532	0.0467	0.0367	0.0267	0.0400	0.0532	0.7519
12	0.0434	0.0733	0.0467	0.0322	0.0233	0.0438	0.0733	0.5973
13	0.0431	0.0619	0.0360	0.0273	0.0213	0.0379	0.0619	0.6126
2012yr-average result						0.0644	0.0923	0.7005

Table IV-41. 2013year average flow velocity distribution characteristics of Akgeun-stream

2013yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
0	0.0417	0.0650	0.0583	0.0453	0.0367	0.0494	0.0650	0.7600
1	0.0317	0.0550	0.0717	0.0450	0.0283	0.0463	0.0717	0.6463
2	0.0550	0.0783	0.0717	0.0517	0.0243	0.0562	0.0783	0.7178
3	0.0883	0.1283	0.1050	0.0550	0.0383	0.0830	0.1283	0.6468
4	0.1231	0.1317	0.1283	0.0632	0.0317	0.0956	0.1317	0.7259
5	0.1233	0.1850	0.1417	0.0617	0.0417	0.1107	0.1850	0.5983
6	0.1067	0.1667	0.1167	0.0867	0.0383	0.1030	0.1667	0.6180
7	0.1067	0.1383	0.1317	0.0411	0.0167	0.0869	0.1383	0.6283
8	0.1132	0.1632	0.1367	0.0817	0.0333	0.1056	0.1632	0.6472
9	0.0917	0.1217	0.1367	0.0450	0.0517	0.0894	0.1367	0.6537
10	0.0417	0.0450	0.0650	0.0467	0.0333	0.0463	0.0650	0.7129

11	0.0417	0.0488	0.0622	0.0453	0.0267	0.0449	0.0622	0.7225
12	0.0482	0.0617	0.0532	0.0326	0.0324	0.0456	0.0617	0.7394
13	0.0314	0.0350	0.0267	0.0283	0.0250	0.0293	0.0350	0.8366
2013yr-average result						0.0709	0.1063	0.6895

Table IV-42. 2014year average flow velocity distribution characteristics of Akgeun-stream

2014yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
0	0.0528	0.0720	0.0668	0.0328	0.0402	0.0529	0.0720	0.7350
1	0.0592	0.0888	0.0956	0.0580	0.0420	0.0687	0.0956	0.7188
2	0.0716	0.1104	0.0884	0.0536	0.0248	0.0698	0.1104	0.6319
3	0.1012	0.1308	0.1052	0.0660	0.0436	0.0894	0.1308	0.6832
4	0.1436	0.1620	0.1356	0.0676	0.0356	0.1089	0.1620	0.6721
5	0.1228	0.1684	0.1356	0.0716	0.0472	0.1091	0.1684	0.6480
6	0.1340	0.1620	0.1524	0.0944	0.0444	0.1174	0.1620	0.7249
7	0.1136	0.1460	0.1364	0.0588	0.0344	0.0978	0.1460	0.6701
8	0.1164	0.1572	0.1588	0.1344	0.0492	0.1232	0.1588	0.7758
9	0.0976	0.1448	0.1472	0.0740	0.0424	0.1012	0.1472	0.6875
10	0.0624	0.0892	0.0944	0.0468	0.0341	0.0654	0.0944	0.6926
11	0.0572	0.0784	0.0945	0.0456	0.0244	0.0600	0.0945	0.6351
12	0.0436	0.0936	0.0672	0.0456	0.0252	0.0550	0.0936	0.5880
13	0.0252	0.0336	0.0388	0.0361	0.0208	0.0309	0.0388	0.7964

2014yr-average result	0.0821	0.1196	0.6900
------------------------------	---------------	---------------	---------------

Table IV-43. 2015year average flow velocity distribution characteristics of Akgeun-stream

2015yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
0	0.0549	0.0614	0.0712	0.0545	0.0214	0.0527	0.0712	0.7399
1	0.0733	0.1350	0.1123	0.0733	0.0667	0.0921	0.1350	0.6824
2	0.0933	0.1350	0.1417	0.0850	0.0583	0.1027	0.1417	0.7245
3	0.1362	0.1717	0.1965	0.0850	0.0733	0.1325	0.1965	0.6745
4	0.1333	0.1683	0.1583	0.0832	0.0723	0.1231	0.1683	0.7313
5	0.1433	0.1550	0.1683	0.0767	0.0567	0.1200	0.1683	0.7130
6	0.1417	0.1883	0.1850	0.0717	0.0751	0.1324	0.1883	0.7029
7	0.1583	0.1817	0.2033	0.1183	0.0823	0.1488	0.2033	0.7318
8	0.1533	0.2033	0.1667	0.1083	0.0650	0.1393	0.2033	0.6853
9	0.1133	0.1533	0.1250	0.0814	0.0433	0.1033	0.1533	0.6736
10	0.0817	0.1150	0.0917	0.0545	0.0313	0.0748	0.1150	0.6508
11	0.0467	0.0768	0.0962	0.0561	0.0361	0.0624	0.0962	0.6484
12	0.0412	0.0450	0.0416	0.0365	0.0361	0.0401	0.0450	0.8907
13	0.0325	0.0351	0.0422	0.0432	0.0321	0.0370	0.0432	0.8569
2015yr-average result						0.0972	0.1378	0.7219

Table IV-44. Total average flow velocity distribution characteristics of Akgeun-stream

Total average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
0	0.0481	0.0727	0.0677	0.0422	0.0296	0.0520	0.0727	0.7163
1	0.0473	0.0815	0.1002	0.0601	0.0371	0.0652	0.1002	0.6509
2	0.0660	0.1006	0.0881	0.0522	0.0362	0.0686	0.1006	0.6818
3	0.0966	0.1194	0.1208	0.0766	0.0470	0.0921	0.1208	0.7622
4	0.1229	0.1438	0.1437	0.0715	0.0482	0.1060	0.1438	0.7373
5	0.1148	0.1576	0.1383	0.0718	0.0446	0.1054	0.1576	0.6690
6	0.1140	0.1596	0.1303	0.0787	0.0460	0.1057	0.1596	0.6624
7	0.1055	0.1321	0.1394	0.0685	0.0454	0.0982	0.1394	0.7044
8	0.1225	0.1578	0.1428	0.0958	0.0530	0.1144	0.1578	0.7249
9	0.0867	0.1239	0.1187	0.0600	0.0449	0.0869	0.1239	0.7009
10	0.0500	0.0735	0.0778	0.0473	0.0302	0.0558	0.0778	0.7165
11	0.0447	0.0639	0.0782	0.0472	0.0270	0.0522	0.0782	0.6674
12	0.0419	0.0650	0.0520	0.0340	0.0317	0.0449	0.0650	0.6912
13	0.0349	0.0458	0.0359	0.0314	0.0223	0.0341	0.0458	0.7446
Total-average result						0.0773	0.1102	0.7021

약근천 ADCP 실측자료의 유속분포를 분석하고 산정된 ϕ ()을 이용하여 관측기 간을 대표하는 엔트로피 계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하는 수표면 공간 좌표 ξ_{surf} 를 산정한 결과는 [(Table IV-32)]와 같다.

약근천의 엔트로피 계수(M)는 1.9190~3.8544의 범위를 나타내고 있으며 평균 엔트로피 계수(M)는 2.7413으로 산정되었다. 또한 ξ_{surf} 는 0.2535~0.6014의 범위를 나타내고 있으며, 평균 ξ_{surf} 는 0.4124으로 산정되었다. 이 같이 산정된 M과 ξ_{surf} 는 관

측기간 동안 수집된 ADCP 자료를 기반하는 약근천의 흐름특성과 관계되는 대표값으로 선정하였으며, 관련 매개변수는 최종적으로 표면유속을 평균유속으로 산정하는데 적용된다.

Table IV-45. Calculation result of entropy coefficient and ξ_{surf} of Akgeun-stream

Total average		u_{max}	u_{urf}	$\phi(M)$	M	ξ_{surf}
Vertical section	(m/s)	(m/s)	(m/s)			
0	0.0520	0.0727	0.0481	0.7163	2.9510	0.3340
1	0.0652	0.1002	0.0473	0.6509	1.9190	0.2535
2	0.0686	0.1006	0.0660	0.6818	2.3797	0.3833
3	0.0921	0.1208	0.0966	0.7622	3.8544	0.4501
4	0.1060	0.1438	0.1229	0.7373	3.3393	0.6014
5	0.1054	0.1576	0.1148	0.6690	2.1840	0.4961
6	0.1057	0.1596	0.1140	0.6624	2.0859	0.4875
7	0.0982	0.1394	0.1055	0.7044	2.7457	0.4795
8	0.1144	0.1578	0.1225	0.7249	3.1056	0.4761
9	0.0869	0.1239	0.0867	0.7009	2.6871	0.4055
10	0.0558	0.0778	0.0500	0.7165	2.9545	0.3123
11	0.0522	0.0782	0.0447	0.6674	2.1601	0.3175
12	0.0449	0.0650	0.0419	0.6912	2.5284	0.3560
13	0.0341	0.0458	0.0349	0.7446	3.4834	0.4204
Average result				0.7021	2.7413	0.4124

(4) 연외천 유속분포식 매개변수의 산정 결과

2011년부터 2015년까지 연외천 ADCP 실측자료의 유속분포 셀을 분석하고 Chiu-2 차원 유속분포식에 적용되는 매개변수를 추정한 결과는 [(Table IV-33)]과 같다. 연외천 ADCP 관측지점의 하폭은 약 27 m로 분석되었으며, 하폭을 기준으로 2.07 m 간격으로 13개 섹션의 연직 유속분포를 분석하였다. 13개 섹션의 유속분포 자료는 각각 섹션별로 평균유속과 최대유속을 산정하고 식(IV-2)을 적용하여 최대유속과 평균유속의 비율을 나타내는 ϕ ()를 산정하였다.

관측기간 동안 13개 섹션별 평균유속(\bar{u})은 0.0474~0.0969 m/sec의 범위를 나타내고 있으며, 최대유속(u_{max})은 0.0734~0.1526 m/sec를 나타냈다. 또한 최대유속(u_{max})과 평균유속(\bar{u})의 비율을 나타내는 $\phi(M)$ 는 0.6306~0.7385의 범위를 나타냈다.

2011년부터 2015년까지 종합 자료의 평균유속(\bar{u})은 0.0789 m/sec, 최대유속(u_{max})이 0.1117 m/sec, $\phi(M)$ 은 0.7173을 나타냈다. 산정된 $\phi(M)$ 는 연외천 관측지점을 대표하는 엔트로피 계수(M)과 ξ_{urf} 를 산정하는데 적용된다.

Table IV-46. 2011year average flow velocity distribution characteristics of Yenoiei-stream

2011yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
0	0.0659	0.0948	0.0729	0.0543	0.0423	0.0660	0.0900	0.7338
1	0.0741	0.1169	0.1026	0.0445	0.0349	0.0746	0.1169	0.6382
2	0.0864	0.1289	0.1120	0.0556	0.0215	0.0809	0.1289	0.6275
3	0.1315	0.1643	0.1662	0.0483	0.0229	0.1066	0.1662	0.6416
4	0.1423	0.1783	0.1930	0.0782	0.0226	0.1229	0.1930	0.6367
5	0.1422	0.1822	0.1566	0.0665	0.0224	0.1140	0.1822	0.6256
6	0.1423	0.1883	0.1622	0.0766	0.0262	0.1191	0.1883	0.6326
7	0.1462	0.1764	0.1649	0.0343	0.0183	0.1080	0.1764	0.6124

8	0.1646	0.2146	0.1765	0.0863	0.0322	0.1348	0.2146	0.6283
9	0.1480	0.2111	0.2041	0.0920	0.0282	0.1367	0.2111	0.6475
10	0.1120	0.1462	0.1466	0.0402	0.0226	0.0935	0.1466	0.6379
11	0.0766	0.1342	0.1580	0.0886	0.0166	0.0948	0.1580	0.6000
12	0.0523	0.1126	0.0862	0.0515	0.0236	0.0652	0.1126	0.5794
13	0.0269	0.0520	0.0369	0.0222	0.0146	0.0305	0.0520	0.5869
2011yr-average result						0.0963	0.1526	0.6306

Table IV-47. 2012year average flow velocity distribution characteristics of Yenoel-stream

2012yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
0	0.0233	0.0483	0.0417	0.0367	0.0250	0.0350	0.0483	0.7246
1	0.0311	0.0550	0.0617	0.0350	0.0233	0.0412	0.0617	0.6681
2	0.0383	0.0633	0.0568	0.0367	0.0232	0.0437	0.0633	0.6897
3	0.0667	0.0833	0.0814	0.0417	0.0183	0.0583	0.0833	0.6996
4	0.0550	0.0836	0.0566	0.0233	0.0233	0.0484	0.0836	0.5785
5	0.0646	0.0867	0.0683	0.0433	0.0223	0.0570	0.0867	0.6579
6	0.0817	0.1671	0.0767	0.0318	0.0233	0.0761	0.1671	0.4555
7	0.0700	0.0917	0.0727	0.0333	0.0168	0.0569	0.0917	0.6205
8	0.0612	0.0817	0.0833	0.0451	0.0233	0.0589	0.0833	0.7074
9	0.0533	0.0650	0.0733	0.0459	0.0183	0.0512	0.0733	0.6978
10	0.0413	0.0583	0.0622	0.0446	0.0283	0.0469	0.0622	0.7547

11	0.0327	0.0412	0.0517	0.0283	0.0167	0.0341	0.0517	0.6600
12	0.0314	0.0383	0.0333	0.0267	0.0241	0.0308	0.0383	0.8031
13	0.0167	0.0333	0.0278	0.0250	0.0232	0.0252	0.0333	0.7568
2012yr-average result						0.0474	0.0734	0.6767

Table IV-48. 2013year average flow velocity distribution characteristics of Yenoel-stream

2013yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
0	0.0253	0.0350	0.0562	0.0350	0.0275	0.0358	0.0562	0.6370
1	0.0725	0.0751	0.0741	0.0519	0.0453	0.0638	0.0751	0.8493
2	0.0675	0.0772	0.0650	0.0452	0.0228	0.0555	0.0772	0.7194
3	0.0950	0.1032	0.0827	0.0551	0.0378	0.0748	0.1032	0.7244
4	0.1050	0.1125	0.0824	0.0275	0.0222	0.0699	0.1125	0.6215
5	0.1075	0.1175	0.1250	0.0625	0.0424	0.0910	0.1250	0.7278
6	0.1028	0.0975	0.0926	0.0512	0.0525	0.0793	0.1028	0.7716
7	0.1074	0.1475	0.1320	0.0623	0.0325	0.0963	0.1475	0.6532
8	0.0925	0.1173	0.1326	0.0932	0.0422	0.0956	0.1326	0.7207
9	0.1123	0.1056	0.1413	0.0576	0.0377	0.0909	0.1413	0.6433
10	0.0252	0.0439	0.0452	0.0321	0.0462	0.0385	0.0462	0.8338
11	0.0252	0.0432	0.0443	0.0351	0.0275	0.0351	0.0443	0.7914
12	0.0225	0.0314	0.0275	0.0275	0.0371	0.0292	0.0371	0.7871

13	0.0332	0.0275	0.0274	0.0351	0.0275	0.0301	0.0351	0.8587
2013yr-average result						0.0633	0.0883	0.7385

Table IV-49. 2014year average flow velocity distribution characteristics of Yenoel-stream

2014yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
Vertical section								
0	0.0443	0.0714	0.0543	0.0446	0.0413	0.0512	0.0714	0.7168
1	0.0462	0.0943	0.0983	0.0613	0.0532	0.0707	0.0983	0.7188
2	0.0783	0.1021	0.1123	0.0786	0.0542	0.0851	0.1123	0.7578
3	0.1063	0.1646	0.1486	0.0790	0.0681	0.1133	0.1646	0.6885
4	0.1482	0.1718	0.1486	0.0986	0.0684	0.1271	0.1718	0.7399
5	0.1343	0.2023	0.1583	0.1086	0.0866	0.1380	0.2023	0.6823
6	0.1390	0.1930	0.1521	0.1126	0.0721	0.1338	0.1930	0.6931
7	0.1281	0.1562	0.1726	0.0846	0.0725	0.1228	0.1726	0.7115
8	0.1122	0.1669	0.1546	0.1121	0.0663	0.1224	0.1669	0.7335
9	0.1083	0.1346	0.1366	0.0715	0.0522	0.1006	0.1366	0.7367
10	0.0522	0.0869	0.1027	0.0543	0.0323	0.0657	0.1027	0.6395
11	0.0462	0.0621	0.0623	0.0346	0.0329	0.0476	0.0623	0.7644
12	0.0581	0.0685	0.0569	0.0383	0.0263	0.0496	0.0685	0.7244
13	0.0464	0.0482	0.0449	0.0346	0.0275	0.0403	0.0482	0.8365
2014yr-average result						0.0906	0.1265	0.7245

Table IV-50. 2015year average flow velocity distribution characteristics of Yenoiei-stream

2015yr average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					\bar{u} (m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
0	0.0522	0.0617	0.0713	0.0452	0.0518	0.0564	0.0713	0.7916
1	0.0733	0.1136	0.1112	0.0733	0.0667	0.0876	0.1136	0.7713
2	0.0933	0.1350	0.1417	0.0850	0.0583	0.1027	0.1417	0.7245
3	0.1231	0.1717	0.1900	0.0850	0.0743	0.1288	0.1900	0.6780
4	0.1333	0.1674	0.1683	0.0814	0.0731	0.1247	0.1683	0.7409
5	0.1433	0.1550	0.1683	0.0767	0.0568	0.1200	0.1683	0.7131
6	0.1417	0.1883	0.1850	0.0717	0.0712	0.1316	0.1883	0.6988
7	0.1583	0.1817	0.2031	0.1183	0.0833	0.1489	0.2031	0.7333
8	0.1533	0.2033	0.1667	0.1083	0.0650	0.1393	0.2033	0.6853
9	0.1133	0.1533	0.1250	0.0817	0.0433	0.1033	0.1533	0.6740
10	0.0817	0.1150	0.0917	0.0553	0.0354	0.0758	0.1150	0.6593
11	0.0464	0.0767	0.0966	0.0468	0.0384	0.0610	0.0966	0.6313
12	0.0416	0.0430	0.0413	0.0468	0.0312	0.0408	0.0468	0.8714
13	0.0213	0.0350	0.0433	0.0423	0.0347	0.0353	0.0433	0.8156
2015yr-average result						0.0969	0.1359	0.7277

Table IV-51. Total average flow velocity distribution characteristics of Yenoiei-stream

Total average	Vertical-Velocity distribution (Using ADCP, m/s)					(m/s)	u_{max} (m/s)	$\phi(M)$
	①	②	③	④	⑤			
Vertical								

section								
0	0.0422	0.0622	0.0593	0.0432	0.0376	0.0489	0.0622	0.7855
1	0.0594	0.0910	0.0896	0.0532	0.0447	0.0676	0.0910	0.7428
2	0.0728	0.1013	0.0976	0.0602	0.0360	0.0736	0.1013	0.7262
3	0.1045	0.1374	0.1338	0.0618	0.0443	0.0964	0.1374	0.7012
4	0.1168	0.1427	0.1298	0.0618	0.0419	0.0986	0.1427	0.6908
5	0.1184	0.1487	0.1353	0.0715	0.0461	0.1040	0.1487	0.6993
6	0.1215	0.1668	0.1337	0.0688	0.0491	0.1080	0.1668	0.6472
7	0.1220	0.1507	0.1491	0.0666	0.0447	0.1066	0.1507	0.7074
8	0.1168	0.1568	0.1427	0.0890	0.0458	0.1102	0.1568	0.7031
9	0.1070	0.1339	0.1361	0.0697	0.0359	0.0965	0.1361	0.7095
10	0.0625	0.0901	0.0897	0.0453	0.0330	0.0641	0.0901	0.7117
11	0.0454	0.0715	0.0826	0.0467	0.0264	0.0545	0.0826	0.6602
12	0.0412	0.0588	0.0490	0.0382	0.0285	0.0431	0.0588	0.7338
13	0.0289	0.0392	0.0361	0.0318	0.0255	0.0323	0.0392	0.8240
Total-average result						0.0789	0.1117	0.7173

연외천 ADCP 실측자료의 유속분포를 분석하고 산정된 ()을 이용하여 관측기간을 대표하는 엔트로피 계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하는 수표면 공간좌표 ξ_{surf} 를 산정한 결과는 [(Table IV-34)]와 같다.

연외천의 엔트로피 계수(M)는 1.8665~5.5597의 범위를 나타내고 있으며 평균 엔트로피 계수(M)는 3.0597으로 산정되었다. 또한 ξ_{surf} 는 0.2291~0.6000의 범위를 나타내고 있으며, 평균 ξ_{surf} 는 0.4200으로 산정되었다. 이 같이 산정된 M과 ξ_{surf} 는 관측기간 동안 수집된 ADCP 자료를 기반하는 연외천의 흐름특성과 관계되는 대표값으로 선정하였으며, 관련 매개변수는 최종적으로 표면유속을 평균유속으로 산정

하는데 적용된다.

Table IV-52. Calculation result of entropy coefficient and ξ_{surf} of Yenoel-stream

Total average		u_{max}	u_{urf}	$\phi(M)$	M	ξ_{surf}
Vertical section	(m/s)	(m/s)	(m/s)			
0	0.0489	0.0622	0.0422	0.7855	4.4087	0.2325
1	0.0676	0.0910	0.0594	0.7428	3.4474	0.2797
2	0.0736	0.1013	0.0728	0.7262	3.1295	0.3873
3	0.0964	0.1374	0.1045	0.7012	2.6920	0.4904
4	0.0986	0.1427	0.1168	0.6908	2.5220	0.6000
5	0.1040	0.1487	0.1184	0.6993	2.6605	0.5495
6	0.1080	0.1668	0.1215	0.6472	1.8665	0.5294
7	0.1066	0.1507	0.1220	0.7074	2.7965	0.5603
8	0.1102	0.1568	0.1168	0.7031	2.7238	0.4639
9	0.0965	0.1361	0.1070	0.7095	2.8325	0.5182
10	0.0641	0.0901	0.0625	0.7117	2.8704	0.3800
11	0.0545	0.0826	0.0454	0.6602	2.0536	0.3081
12	0.0431	0.0588	0.0412	0.7338	3.2720	0.3511
13	0.0323	0.0392	0.0289	0.8240	5.5597	0.2291
2011~2015 Average result				0.7173	3.0597	0.4200

2.2.2 유속분포식 매개변수의 민감도 분석

(1) 엔트로피 매개변수(M)의 유량 민감도 분석

ADCP 실측자료를 활용한 엔트로피 계수(M)의 산정유량 민감도를 분석하기 위해 1~10의 범위를 지정하고 산정유량 변화 추이를 분석한 결과는 [(Fig. IV-27), (Table. IV-35)]와 같다. 엔트로피 계수(M)는 연구대상 4개소 하천 모두 1~10 사이의 범위 중 1~2사이의 입력범위에서 유량변화율이 약 19%로 다른 입력범위에 비해 가장 큰 민감도를 나타냈다. 또한 4개소 하천 모두 2~3사이의 입력범위에서 약 12%의 유량변화율을 나타냈으며, 입력변수 4~10까지 약 2%의 변화율을 나타냈다. 전체적으로 입력변수 1~4 사이 값에서 전체 변화율의 약 43%를 차지하여 가장 큰 민감도를 나타내고 있으며, 그 이후 입력값 범위에서는 작은 민감도를 나타냈다. 따라서 작은 엔트로피 계수(M)에서 산정된 유량의 민감도가 더 크다는 것을 추정할 수 있으며, ADCP를 활용한 평균유속-최대유속의 관계를 규명하는 과정에서 엔트로피계수(M)가 1~10범위 내에서 지나치게 크게 발생하는 경우 재검토가 필요하다.

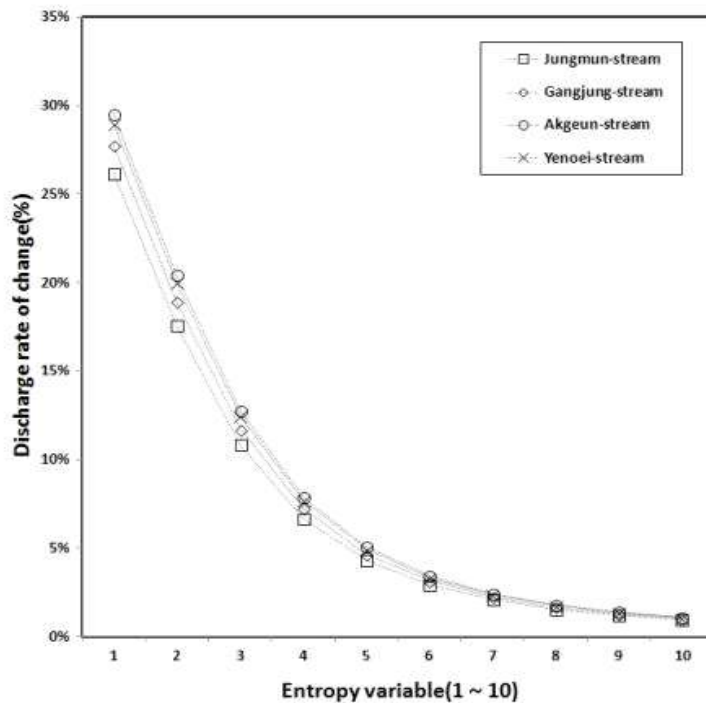


Fig. IV-27. Result of discharge rate sensitivity analysis of entropy coefficient

Table IV-53. Result of discharge rate sensitivity analysis of entropy coefficient

Stream Entropy variable	Jungmun		Gangjung		Akgeun		Yenoiei	
	Cal- Dischrge (cms)	Change rate (%)	Cal- Dischrge (cms)	Change rate (%)	Cal- Dischrge (cms)	Change rate (%)	Cal- Dischrge (cms)	Change rate (%)
M=1	0.9321	-	0.8919	-	0.8973	-	0.8688	-
M=2	0.7927	18	0.7498	19	0.7449	20	0.7240	20
M=3	0.7153	11	0.6710	12	0.6606	13	0.6439	12
M=4	0.6705	7	0.6257	7	0.6123	8	0.5979	8
M=5	0.6429	4	0.5978	5	0.5828	5	0.5698	5
M=6	0.6247	3	0.5795	3	0.5635	3	0.5514	3
M=7	0.6121	2	0.5668	2	0.5502	2	0.5386	2
M=8	0.6028	2	0.5576	2	0.5405	2	0.5293	2
M=9	0.5957	1	0.5506	1	0.5331	1	0.5223	1
M=10	0.5902	1	0.5451	1	0.5274	1	0.5168	1

[(Fig. IV-28)]과 [(Table. IV-36)]은 연구대상 하천별 엔트로피계수(M)의 산정유량 민감도에 따른 엔트로피계수(M) 산정식 결과의 변화 추세를 나타낸다. 엔트로피계수(M) 추정 과정에서 관련 추세식을 활용할 경우 추정된 매개변수 값의 사용성에 대한 적정성을 비교·검토할 수 있다.

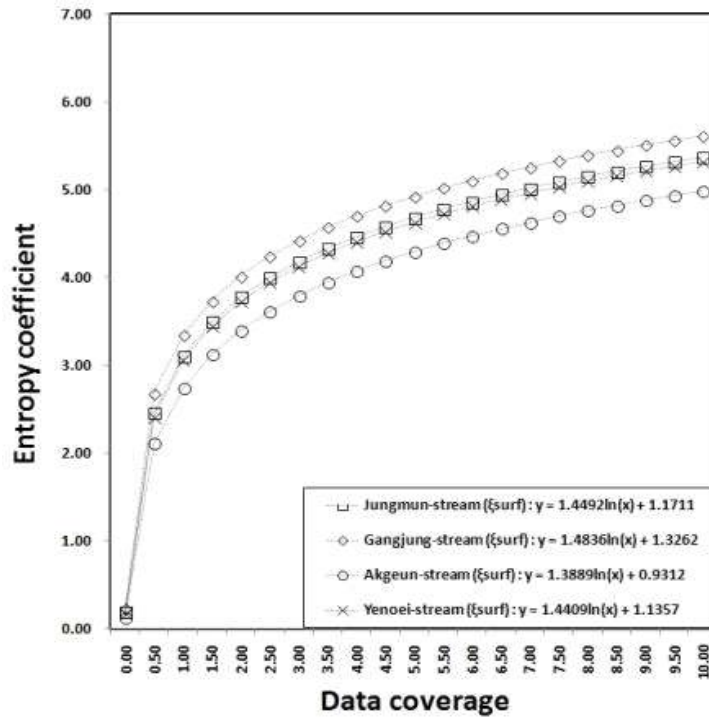


Fig. IV-28. Result of change in trend-line of entropy coefficient

Table IV-54. Calculation result of entropy coefficient trend-line

Stream	Data coverage	Entropy coefficient trend-line formula
Jungmun		$= 1.4492\ln(x) + 1.1711$
Gangjung	1 ~ 10	$y = 1.4836\ln(x) + 1.3262$
Akgeun		$y = 1.3889\ln(x) + 0.9312$
Yenoiei		$y = 1.4409\ln(x) + 1.1357$

(2) 등유속선형상 매개변수(ξ_{urf})의 유량 민감도 분석

ADCP 실측자료를 활용한 등유속선형상 매개변수(ξ_{surf})의 산정유량 민감도를 분석하기 위해 1~10의 범위를 지정하고 산정유량 변화 추이를 분석한 결과는 [(Fig. IV-29), (Table. IV-37)]과 같다. 등유속선형상 매개변수(ξ_{surf})는 연구대상 4개소 하천 모두 0.1~1.0 사이의 범위 중 0.1~0.2사이의 입력범위에서 유량변화율이 약 46%로 다른 입력범위에 비해 가장 큰 민감도를 나타냈다. 또한 4개소 하천 모두 0.2~0.3사이의 입력범위에서 약 21%의 유량변화율을 나타냈으며, 입력변수 0.4~1.0

까지 약 6%의 변화율을 나타냈다. 전체적으로 입력변수 0.1~0.4 사이 값에서 전체 변화율의 약 89%를 차지하여 가장 큰 민감도를 나타내고 있으며, 그 이후 입력값 범위에서는 작은 민감도를 나타냈다. 따라서 작은 등유속선 형상 매개변수(ξ_{surf})에서 산정된 유량의 민감도가 더 크다는 것을 추정할 수 있으며, ADCP를 활용한 평균유속-최대유속의 관계를 규명하는 과정에서 등유속선 형상 매개변수(ξ_{surf})가 0.1~1.0범위 내에서 지나치게 크게 발생하는 경우 재검토가 필요하다.

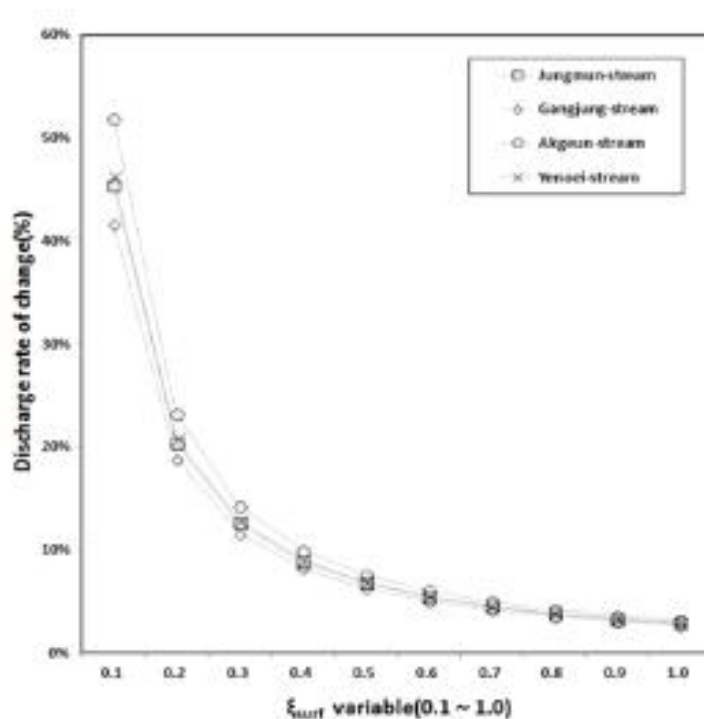


Fig. IV-29. Result of discharge rate sensitivity analysis of ξ_{surf} coefficient

Table IV-55. Result of discharge rate sensitivity analysis of ξ_{surf} coefficient

Stream	Jungmun		Gangjung		Akgeun		Yenoel	
	Cal- Dischrge (cms)	Change rate (%)	Cal- Dischrge (cms)	Change rate (%)	Cal- Dischrge (cms)	Change rate (%)	Cal- Dischrge (cms)	Change rate (%)
$\xi_{surf}=0.1$	1.4778	-	1.2686	-	1.4700	-	1.3018	-

$\xi_{surf}=0.2$	1.0168	45	0.8954	42	0.9679	52	0.8902	46
$\xi_{surf}=0.3$	0.8444	20	0.7533	19	0.7855	23	0.7369	21
$\xi_{surf}=0.4$	0.7497	13	0.6743	12	0.6872	14	0.6530	13
$\xi_{surf}=0.5$	0.6882	9	0.6225	8	0.6243	10	0.5986	9
$\xi_{surf}=0.6$	0.6443	7	0.5853	6	0.5798	8	0.5598	7
$\xi_{surf}=0.7$	0.6109	5	0.5569	5	0.5463	6	0.5303	6
$\xi_{surf}=0.8$	0.5844	5	0.5342	4	0.5200	5	0.5070	5
$\xi_{surf}=0.9$	0.5628	4	0.5156	4	0.4985	4	0.4879	4
$\xi_{surf}=1.0$	0.5446	3	0.5000	3	0.4807	4	0.4720	3

[(Fig. IV-30)]과 [(Table. IV-38)]은 연구대상 하천별 등유속선 형상 매개변수 (ξ_{surf})의 산정유량 민감도에 따른 등유속선 형상 매개변수(ξ_{surf}) 산정식 결과의 변화 추세를 나타낸다. 등유속선 형상 매개변수(ξ_{surf}) 추정 과정에서 관련 추세식을 활용할 경우 추정된 매개변수 값의 사용성에 대한 적정성을 비교·검토할 수 있다.

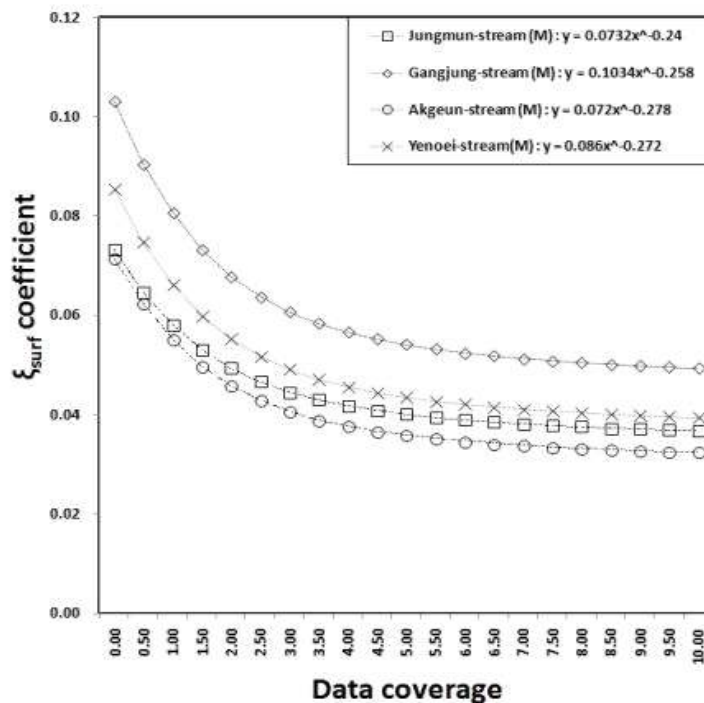


Fig. IV-30. Result of change in trend-line of ξ_{surf} coefficient

Table IV-56. Calculation result of entropy coefficient trend-line

Stream	Data coverage	Entropy coefficient trend-line formula
Jungmun	1~10	$y = 0.0732x^{-0.24}$
Gangjung		$y = 0.1034x^{-0.258}$
Akgeun		$y = 0.072x^{-0.278}$
Yenoiei		$y = 0.086x^{-0.272}$

2.2.3 실측자료 비교·분석에 의한 매개변수의 적정성 검토

Chiu-2차원 유속분포식을 자연하천에 적용하는 과정에서 연구대상하천의 흐름특성 및 유속분포를 나타낼 수 있는 매개변수 추정과정이 매우 중요하다. 본 연구에서는 ADCP 실측자료를 활용하여 년도별 평균 최대유속과 평균유속을 분석하고 엔트로피 계수(M)를 산정한 결과와 ξ_{surf} 를 추정하였다. 연구대상하천(중문천, 강정천, 악근천, 연외천)을 대상으로 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 매개변수를 추정한 결과는 다음 [Table-39]와 같다.

Table IV-57. Result of parameter calculation for the study stream

Stream	()	M	ξ_{urf}
Jungmun	0.7026	3.1136	0.4620
Gangjung	0.7381	3.3459	0.4375
Akgeun	0.7021	2.7413	0.4124
Yenoiei	0.7173	3.0597	0.4200

(1) 중문천 유속분포식 매개변수의 적정성 검토

중문천을 대상으로 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 매개변수의 추정 결과를 검증하기 위해 관측기간의 ADCP 표면유속자료와 Chiu-2차원 유속분포식에 산정된 표면유속결과를 비교한 결과는 R^2 이 0.9267로 높은 상관결과를 나타냈다([Fig. IV-31], [Table IV-36]). 이러한 결과는 연구대상하천을 대상으로 Chiu-2차원 유속분포식을 적용하는 과정에서 ADCP 실측자료를 활용하여 추정한 매개변수의 평균값

사용에 대한 타당성을 나타낸다.

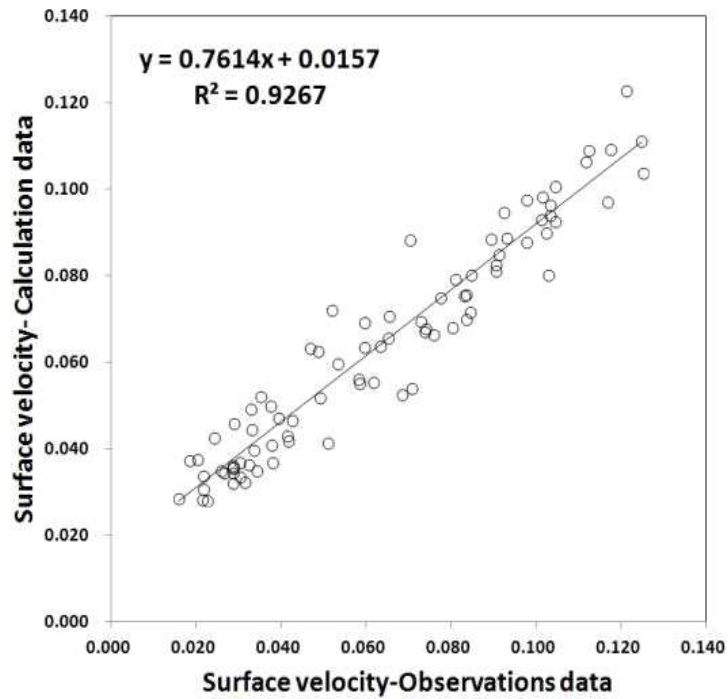


Fig. IV-31. One-to-one relationships of velocity measurement between the observation data and the calculation data(Jungmun-stream)

Table IV-58. Calculation of Jungmun-stream for ADCP observation surface velocity and Chiu-2 dimensional velocity distribution formula surface velocity

Date (year)	u_{surf} (m/s)	Calculation			
		u_{surf} (m/s)	$y^* = 0.7614x + 0.0157$	$(y - y^*)^2$	$(y^* - y)^2$
2011 average	0.0374	0.0502	0.0442	3.58E-05	3.86E-04
	0.0653	0.0708	0.0654	2.92E-05	2.51E-06
	0.0701	0.0885	0.0691	3.77E-04	2.74E-05
	0.1211	0.1231	0.1079	2.32E-04	1.94E-03
	0.1174	0.1094	0.1051	1.85E-05	1.70E-03
	0.1250	0.1039	0.1109	4.93E-05	2.21E-03
	0.1124	0.1093	0.1013	6.45E-05	1.40E-03
	0.1024	0.0901	0.0937	1.27E-05	8.90E-04

	0.0976	0.0979	0.0900	6.17E-05	6.85E-04
	0.0924	0.0949	0.0861	7.91E-05	4.94E-04
	0.0289	0.0462	0.0377	7.16E-05	6.83E-04
	0.0324	0.0366	0.0404	1.39E-05	5.51E-04
	0.0327	0.0495	0.0406	7.87E-05	5.40E-04
	0.0159	0.0287	0.0278	8.52E-07	1.30E-03
	0.0217	0.0340	0.0322	3.00E-06	9.99E-04
	0.0242	0.0429	0.0341	7.64E-05	8.83E-04
	0.0392	0.0474	0.0455	3.42E-06	3.34E-04
	0.0583	0.0553	0.0601	2.29E-05	1.40E-05
	0.0632	0.0640	0.0638	2.82E-08	2.26E-10
	0.0808	0.0794	0.0772	4.54E-06	1.79E-04
2012 average	0.0650	0.0659	0.0652	5.15E-07	1.84E-06
	0.0758	0.0666	0.0734	4.64E-05	9.17E-05
	0.0617	0.0557	0.0627	4.88E-05	1.34E-06
	0.0425	0.0469	0.0481	1.26E-06	2.49E-04
	0.0508	0.0416	0.0544	1.62E-04	8.94E-05
	0.0258	0.0352	0.0353	2.63E-08	8.12E-04
	0.0202	0.0378	0.0311	4.51E-05	1.07E-03
	0.0183	0.0376	0.0296	6.29E-05	1.17E-03
	0.0217	0.0310	0.0322	1.60E-06	9.99E-04
	0.0582	0.0563	0.0600	1.37E-05	1.46E-05
	0.0352	0.0524	0.0425	9.78E-05	4.55E-04
	0.0683	0.0528	0.0677	2.23E-04	1.50E-05
	0.0740	0.0680	0.0720	1.65E-05	6.74E-05
2013 average	0.0835	0.0759	0.0793	1.14E-05	2.38E-04
	0.1028	0.0805	0.0940	1.81E-04	9.08E-04
	0.0775	0.0751	0.0747	1.75E-07	1.18E-04
	0.0728	0.0697	0.0711	2.12E-06	5.32E-05
	0.0707	0.0543	0.0695	2.32E-04	3.24E-05
	0.0413	0.0432	0.0471	1.58E-05	2.79E-04

	0.0313	0.0325	0.0395	4.95E-05	5.91E-04
	0.0265	0.0347	0.0359	1.34E-06	7.82E-04
	0.0213	0.0285	0.0319	1.17E-05	1.02E-03
	0.0285	0.0359	0.0374	2.33E-06	6.99E-04
	0.0594	0.0637	0.0609	7.58E-06	8.46E-06
	0.0468	0.0635	0.0513	1.47E-04	1.56E-04
	0.0835	0.0703	0.0793	8.08E-05	2.38E-04
	0.0976	0.0880	0.0900	4.23E-06	6.85E-04
	0.1043	0.1008	0.0951	3.21E-05	9.78E-04
2014 average	0.1168	0.0974	0.1046	5.22E-05	1.66E-03
	0.0931	0.0890	0.0866	5.61E-06	5.18E-04
	0.0892	0.0887	0.0836	2.61E-05	3.91E-04
	0.0803	0.0682	0.0768	7.44E-05	1.69E-04
	0.0377	0.0410	0.0444	1.15E-05	3.78E-04
	0.0285	0.0359	0.0374	2.33E-06	6.99E-04
	0.0341	0.0352	0.0417	4.20E-05	4.92E-04
	0.0285	0.0323	0.0374	2.56E-05	6.99E-04
	0.0335	0.0399	0.0412	1.59E-06	5.12E-04
	0.0595	0.0694	0.0610	6.99E-05	8.02E-06
	0.0519	0.0723	0.0552	2.91E-04	7.43E-05
	0.0905	0.0813	0.0846	1.11E-05	4.31E-04
	0.1033	0.0966	0.0944	4.87E-06	9.31E-04
	0.1115	0.1065	0.1006	3.54E-05	1.35E-03
2015 average	0.1247	0.1114	0.1106	5.44E-07	2.19E-03
	0.1033	0.0943	0.0944	9.68E-09	9.31E-04
	0.1014	0.0985	0.0929	3.11E-05	8.45E-04
	0.0829	0.0757	0.0788	9.96E-06	2.25E-04
	0.0491	0.0522	0.0531	8.58E-07	1.16E-04
	0.0329	0.0446	0.0408	1.51E-05	5.33E-04
	0.0379	0.0371	0.0446	5.56E-05	3.72E-04
	0.0285	0.0348	0.0374	6.77E-06	6.99E-04

	0.0286	0.0363	0.0374	1.41E-06	6.96E-04
	0.0533	0.0599	0.0563	1.28E-05	5.68E-05
	0.0486	0.0628	0.0527	1.02E-04	1.23E-04
	0.0843	0.0719	0.0799	6.47E-05	2.59E-04
	0.0911	0.0852	0.0851	1.23E-08	4.51E-04
	0.1010	0.0933	0.0926	4.49E-07	8.28E-04
Total	0.1043	0.0929	0.0951	5.03E-06	9.80E-04
average	0.0904	0.0829	0.0845	2.81E-06	4.29E-04
	0.0845	0.0803	0.0801	7.09E-08	2.64E-04
	0.0738	0.0672	0.0719	2.13E-05	6.44E-05
	0.0416	0.0421	0.0473	2.72E-05	2.72E-04
	0.0302	0.0370	0.0387	2.94E-06	6.33E-04
	0.0303	0.0338	0.0388	2.44E-05	6.29E-04
	0.0225	0.0284	0.0328	1.99E-05	9.61E-04
		(Average)		(SSE)	(SSR)
		0.0638		3.79E-03	4.79E-02
				(SST)	=0.9267
				5.17E-02	

(2) 강정천 유속분포식 매개변수의 적정성 검토

강정천을 대상으로 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 매개변수의 추정 결과를 검증하기 위해 관측기간의 ADCP 표면유속자료와 Chiu-2차원 유속분포식에 산정된 표면유속결과를 비교한 결과는 R^2 이 0.9242로 높은 상관결과를 나타냈다([Fig. IV-32], [Table IV-37]). 이러한 결과는 연구대상하천을 대상으로 Chiu-2차원 유속분포식을 적용하는 과정에서 ADCP 실측자료를 활용하여 추정한 매개변수의 평균값 사용에 대한 타당성을 나타낸다.

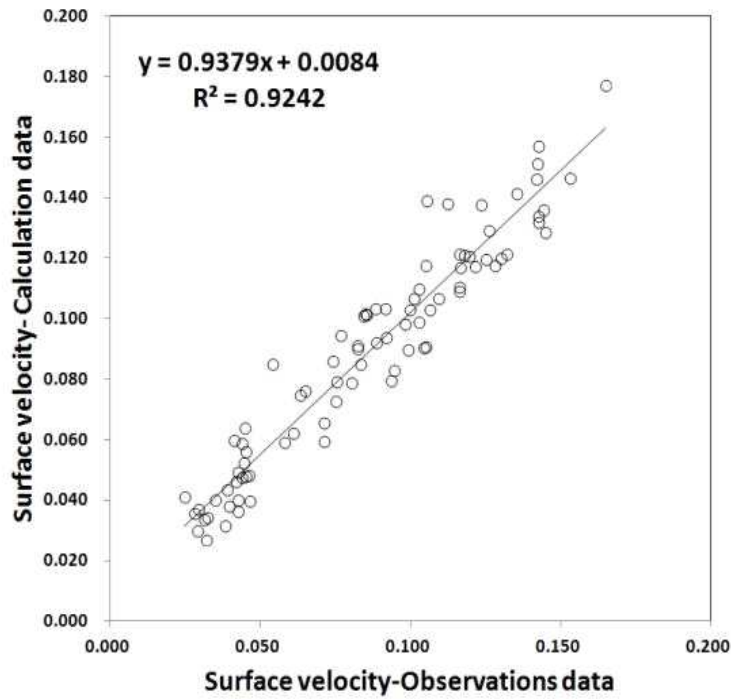


Fig. IV-32. One-to-one relationships of velocity measurement between the observation data and the calculation data(Gangjung-stream)

Table IV-59. Calculation of Gangjung-stream for ADCP observation surface velocity and Chiu-2 dimensional velocity distribution formula surface velocity

Data (year)	u_{surf} (m/s)	Calculation			
		u_{surf} (m/s)	$y^* = 0.9379x + 0.0084$	$(y - y^*)^2$	$(y^* - y)^2$
2011 average	0.0451	0.0562	0.0507	2.98E-05	1.45E-03
	0.0632	0.0746	0.0677	4.83E-05	4.47E-04
	0.0823	0.0912	0.0856	3.12E-05	1.04E-05
	0.1030	0.1099	0.1050	2.37E-05	2.62E-04
	0.1253	0.1195	0.1259	4.09E-05	1.38E-03
	0.1283	0.1175	0.1287	1.27E-04	1.59E-03
	0.1162	0.1214	0.1174	1.58E-05	8.16E-04
	0.1321	0.1212	0.1323	1.23E-04	1.89E-03
	0.1442	0.1358	0.1436	6.09E-05	3.01E-03
0.1236	0.1378	0.1243	1.82E-04	1.26E-03	

	0.0835	0.0850	0.0867	2.79E-06	4.43E-06
	0.0541	0.0850	0.0591	6.71E-04	8.81E-04
	0.0413	0.0599	0.0471	1.63E-04	1.74E-03
	0.0294	0.0370	0.0360	1.06E-06	2.79E-03
	0.0421	0.0464	0.0479	2.35E-06	1.68E-03
	0.0742	0.0860	0.0780	6.48E-05	1.17E-04
	0.0921	0.0939	0.0948	7.21E-07	3.55E-05
	0.1163	0.1093	0.1175	6.76E-05	8.21E-04
	0.1168	0.1168	0.1179	1.22E-06	8.48E-04
	0.1263	0.1290	0.1269	4.69E-06	1.45E-03
2012	0.1353	0.1415	0.1353	3.86E-05	2.16E-03
average	0.1421	0.1462	0.1417	2.03E-05	2.79E-03
	0.1426	0.1338	0.1421	6.88E-05	2.84E-03
	0.1011	0.1069	0.1032	1.34E-05	2.07E-04
	0.0611	0.0623	0.0657	1.17E-05	5.34E-04
	0.0426	0.0492	0.0484	6.94E-07	1.64E-03
	0.0389	0.0435	0.0449	1.87E-06	1.93E-03
	0.0247	0.0411	0.0316	9.17E-05	3.28E-03
	0.0445	0.0523	0.0501	4.48E-06	1.50E-03
	0.0582	0.0592	0.0630	1.41E-05	6.67E-04
	0.0804	0.0787	0.0838	2.62E-05	2.51E-05
	0.0936	0.0794	0.0962	2.83E-04	5.43E-05
	0.0991	0.0899	0.1013	1.32E-04	1.57E-04
	0.1027	0.0989	0.1047	3.38E-05	2.53E-04
2013	0.1045	0.0906	0.1064	2.51E-04	3.09E-04
average	0.1065	0.1030	0.1083	2.74E-05	3.79E-04
	0.0845	0.1010	0.0877	1.78E-04	1.36E-06
	0.0945	0.0829	0.0970	2.00E-04	6.74E-05
	0.0855	0.1014	0.0886	1.63E-04	5.24E-08
	0.0427	0.0362	0.0484	1.49E-04	1.63E-03
	0.0291	0.0300	0.0357	3.29E-05	2.82E-03
	0.0323	0.0342	0.0387	1.98E-05	2.51E-03

	0.0283	0.0358	0.0349	7.01E-07	2.90E-03
	0.0450	0.0638	0.0506	1.75E-04	1.46E-03
	0.0756	0.0791	0.0793	5.62E-08	9.05E-05
	0.0917	0.1034	0.0944	8.15E-05	3.12E-05
	0.0983	0.0983	0.1006	5.28E-06	1.39E-04
	0.1050	0.1175	0.1069	1.12E-04	3.26E-04
2014 average	0.0883	0.1034	0.0912	1.49E-04	5.75E-06
	0.1050	0.0906	0.1069	2.64E-04	3.26E-04
	0.0767	0.0945	0.0803	2.00E-04	7.20E-05
	0.0752	0.0728	0.0789	3.78E-05	9.78E-05
	0.0438	0.0588	0.0495	8.62E-05	1.55E-03
	0.0350	0.0401	0.0412	1.34E-06	2.27E-03
	0.0467	0.0396	0.0522	1.58E-04	1.34E-03
	0.0383	0.0316	0.0443	1.61E-04	1.98E-03
	0.0712	0.0594	0.0752	2.50E-04	1.86E-04
	0.0850	0.1015	0.0881	1.79E-04	4.87E-07
	0.1125	0.1379	0.1139	5.76E-04	6.30E-04
	0.1425	0.1571	0.1421	2.25E-04	2.83E-03
	0.1425	0.1319	0.1421	1.02E-04	2.83E-03
	0.1450	0.1283	0.1444	2.58E-04	3.09E-03
2015 average	0.1532	0.1466	0.1521	3.05E-05	4.00E-03
	0.1650	0.1773	0.1632	2.00E-04	5.53E-03
	0.1423	0.1513	0.1419	8.94E-05	2.81E-03
	0.1054	0.1389	0.1073	1.00E-03	3.40E-04
	0.0825	0.0900	0.0858	1.80E-05	9.26E-06
	0.0452	0.0479	0.0508	8.46E-06	1.45E-03
	0.0425	0.0402	0.0483	6.46E-05	1.65E-03
	0.0322	0.0268	0.0386	1.39E-04	2.52E-03
Total average	0.0462	0.0483	0.0518	1.17E-05	1.37E-03
	0.0651	0.0762	0.0695	4.57E-05	3.74E-04
	0.0886	0.0922	0.0915	4.77E-07	7.07E-06

0.1094	0.1069	0.1110	1.72E-05	4.93E-04
0.1164	0.1106	0.1176	4.92E-05	8.27E-04
0.1215	0.1174	0.1223	2.44E-05	1.12E-03
0.1195	0.1207	0.1205	3.68E-08	1.00E-03
0.1301	0.1199	0.1305	1.11E-04	1.73E-03
0.1181	0.1211	0.1191	4.01E-06	9.19E-04
0.1000	0.1030	0.1022	6.72E-07	1.78E-04
0.0713	0.0656	0.0753	9.35E-05	1.84E-04
0.0439	0.0475	0.0496	4.37E-06	1.54E-03
0.0397	0.0379	0.0456	5.94E-05	1.86E-03
0.0314	0.0335	0.0378	1.89E-05	2.60E-03
(Average)			(SSE)	(SSR)
0.0888			8.44E-03	1.03E-01
			(SST)	=0.9242
			1.11E-01	

(3) 약근천 유속분포식 매개변수의 적정성 검토

약근천을 대상으로 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 매개변수의 추정 결과를 검증하기 위해 관측기간의 ADCP 표면유속자료와 Chiu-2차원 유속분포식에 산정된 표면유속결과를 비교한 결과는 R^2 이 0.8677로 높은 상관결과를 나타냈다([Fig. IV-33], [Table IV-38]). 이러한 결과는 Chiu-2차원 유속분포식을 연구대상하천에 적용하는 과정에서 ADCP 실측자료를 활용하여 추정된 매개변수의 평균값 사용에 대한 타당성을 나타낸다.

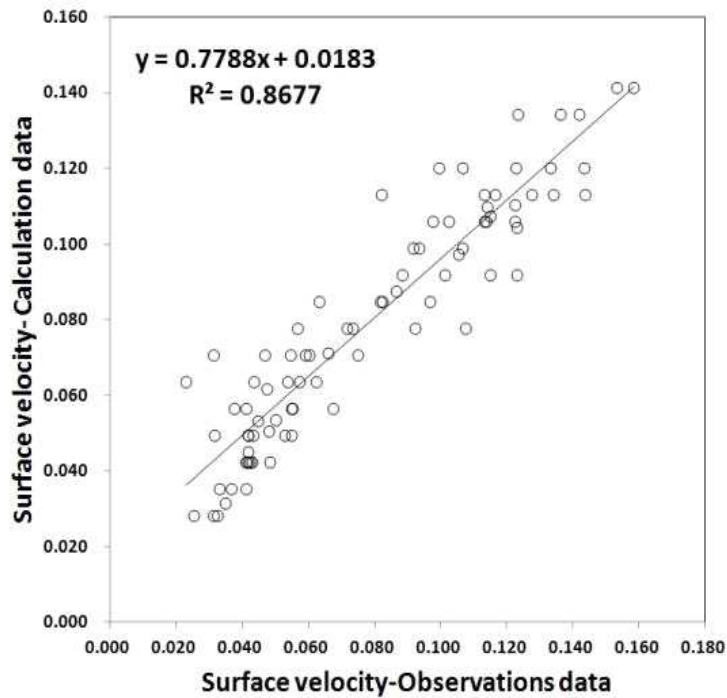


Fig. IV-33. One-to-one relationships of velocity measurement between the observation data and the calculation data(Akgeun-stream)

Table IV-60. Calculation of Akgeun-stream for ADCP observation surface velocity and Chiu-2 dimensional velocity distribution formula surface velocity

Date (year)	u_{surf} (m/s)	Calculation			
		u_{surf} (m/s)	$y^* = 0.7788x + 0.0183$	$(y - y^*)^2$	$(y^* - y)^2$
	0.0536	0.0638	0.0600	1.41E-05	3.70E-04
	0.0312	0.0709	0.0426	8.01E-04	1.34E-03
	0.0546	0.0709	0.0608	1.01E-04	3.40E-04
	0.0823	0.0851	0.0824	7.16E-06	9.79E-06
2011 average	0.0995	0.1205	0.0958	6.11E-04	2.73E-04
	0.0822	0.1134	0.0823	9.68E-04	9.30E-06
	0.0602	0.0709	0.0652	3.26E-05	1.98E-04
	0.0567	0.0780	0.0625	2.41E-04	2.83E-04
	0.1223	0.1063	0.1135	5.20E-05	1.18E-03

	0.0633	0.0851	0.0676	3.05E-04	1.36E-04
	0.0231	0.0638	0.0363	7.57E-04	1.85E-03
	0.0411	0.0567	0.0503	4.10E-05	8.39E-04
	0.0331	0.0354	0.0441	7.45E-05	1.24E-03
	0.0424	0.0425	0.0513	7.72E-05	7.81E-04
	0.0375	0.0567	0.0475	8.48E-05	1.01E-03
	0.0411	0.0425	0.0503	6.04E-05	8.39E-04
	0.0553	0.0567	0.0614	2.17E-05	3.20E-04
	0.0750	0.0709	0.0767	3.38E-05	6.54E-06
	0.1150	0.0922	0.1079	2.47E-04	8.18E-04
	0.1025	0.1063	0.0981	6.74E-05	3.56E-04
2012	0.1275	0.1134	0.1176	1.74E-05	1.47E-03
average	0.0922	0.0780	0.0901	1.47E-04	1.17E-04
	0.1075	0.0780	0.1020	5.78E-04	5.18E-04
	0.0675	0.0567	0.0709	2.00E-04	7.05E-05
	0.0413	0.0425	0.0505	6.29E-05	8.30E-04
	0.0367	0.0354	0.0469	1.31E-04	1.05E-03
	0.0434	0.0496	0.0521	6.13E-06	7.38E-04
	0.0431	0.0425	0.0519	8.71E-05	7.51E-04
	0.0417	0.0496	0.0508	1.33E-06	8.12E-04
	0.0317	0.0496	0.0430	4.40E-05	1.32E-03
	0.0550	0.0567	0.0611	1.95E-05	3.29E-04
2013	0.0883	0.0922	0.0871	2.59E-05	6.09E-05
average	0.1231	0.0922	0.1142	4.84E-04	1.22E-03
	0.1233	0.1347	0.1143	4.15E-04	1.23E-03
	0.1067	0.1205	0.1014	3.66E-04	4.90E-04
	0.1067	0.0992	0.1014	4.62E-06	4.90E-04

	0.1132	0.1134	0.1065	4.85E-05	7.39E-04
	0.0917	0.0992	0.0897	9.09E-05	1.09E-04
	0.0417	0.0496	0.0508	1.33E-06	8.12E-04
	0.0417	0.0425	0.0508	6.79E-05	8.12E-04
	0.0482	0.0425	0.0558	1.77E-04	5.49E-04
	0.0314	0.0284	0.0428	2.07E-04	1.33E-03
	0.0528	0.0496	0.0594	9.60E-05	3.94E-04
	0.0592	0.0709	0.0644	4.21E-05	2.21E-04
	0.0716	0.0780	0.0741	1.54E-05	2.71E-05
	0.1012	0.0922	0.0971	2.45E-05	3.19E-04
	0.1436	0.1134	0.1301	2.79E-04	2.59E-03
	0.1228	0.1205	0.1139	4.33E-05	1.20E-03
2014	0.1340	0.1134	0.1227	8.52E-05	1.88E-03
average	0.1136	0.1063	0.1068	1.88E-07	7.57E-04
	0.1164	0.1134	0.1090	2.00E-05	8.81E-04
	0.0976	0.1063	0.0943	1.45E-04	2.26E-04
	0.0624	0.0638	0.0669	9.57E-06	1.53E-04
	0.0572	0.0638	0.0628	9.13E-07	2.70E-04
	0.0436	0.0638	0.0523	1.33E-04	7.30E-04
	0.0252	0.0284	0.0379	9.16E-05	1.71E-03
	0.0549	0.0496	0.0611	1.31E-04	3.32E-04
	0.0733	0.0780	0.0754	6.74E-06	1.51E-05
	0.0933	0.0992	0.0910	6.87E-05	1.37E-04
2015	0.1362	0.1347	0.1244	1.07E-04	2.03E-03
average	0.1333	0.1205	0.1221	2.55E-06	1.84E-03
	0.1433	0.1205	0.1299	8.81E-05	2.56E-03
	0.1417	0.1347	0.1287	3.65E-05	2.44E-03
	0.1583	0.1418	0.1416	4.01E-08	3.88E-03

	0.1533	0.1418	0.1377	1.68E-05	3.41E-03
	0.1133	0.1063	0.1065	3.99E-08	7.44E-04
	0.0817	0.0851	0.0819	9.88E-06	7.08E-06
	0.0467	0.0709	0.0547	2.63E-04	6.05E-04
	0.0412	0.0354	0.0504	2.23E-04	8.34E-04
	0.0325	0.0284	0.0436	2.33E-04	1.27E-03
	0.0481	0.0509	0.0558	2.41E-05	5.53E-04
	0.0473	0.0619	0.0551	4.55E-05	5.82E-04
	0.0660	0.0714	0.0697	3.07E-06	9.21E-05
	0.0966	0.0852	0.0935	6.97E-05	2.03E-04
	0.1229	0.1045	0.1140	8.99E-05	1.21E-03
	0.1148	0.1075	0.1077	3.71E-08	8.10E-04
Total	0.1140	0.1102	0.1071	9.41E-06	7.75E-04
average	0.1055	0.0977	0.1005	7.77E-06	4.49E-04
	0.1225	0.1107	0.1137	9.41E-06	1.19E-03
	0.0867	0.0879	0.0858	4.29E-06	4.28E-05
	0.0500	0.0537	0.0573	1.29E-05	4.84E-04
	0.0447	0.0536	0.0531	2.11E-07	6.85E-04
	0.0419	0.0454	0.0509	3.05E-05	8.03E-04
	0.0349	0.0317	0.0455	1.90E-04	1.14E-03
		(Average)		(SSE)	(SSR)
		0.0793		1.04E-02	6.85E-02
				(SST)	=0.8677
				7.90E-02	

(4) 연외천 유속분포식 매개변수의 적정성 검토

연외천을 대상으로 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 매개변수의 추정 결과를 검증하기 위해 관측기간의 ADCP 표면유속자료와 Chiu-2차원 유속분포식에 산정된 표면유속결과를 비교한 결과는 R^2 이 0.8988로 높은 상관결과를 나타냈다([Fig. IV

-34], [Table IV-39]). 이러한 결과는 연구대상하천을 대상으로 Chiu-2차원 유속분포식을 적용하는 과정에서 ADCP 실측자료를 활용하여 추정된 매개변수의 평균값 사용에 대한 타당성을 나타낸다.

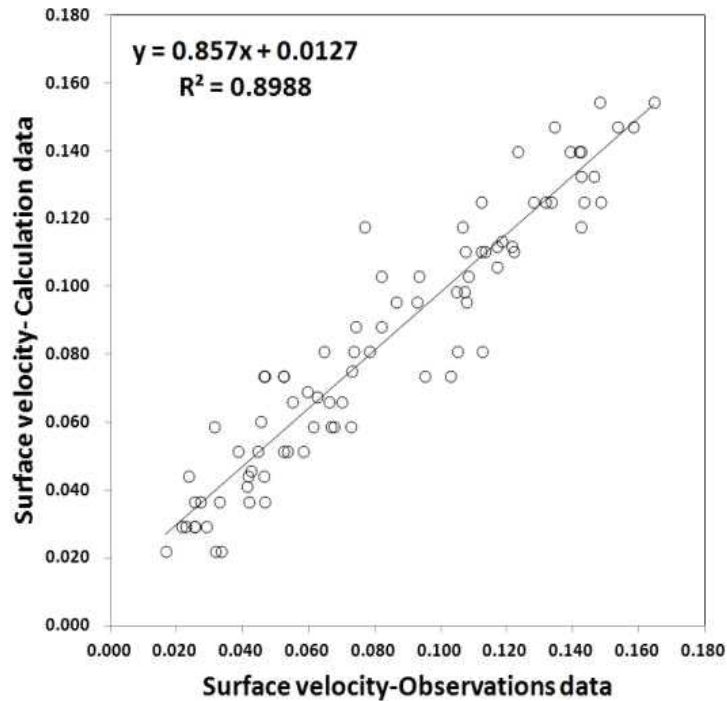


Fig. IV-34. One-to-one relationships of velocity measurement between the observation data and the calculation data(Yenoiei-stream)

Table IV-61. Calculation of Yenoiei-stream for ADCP observation surface velocity and Chiu-2 dimensional velocity distribution formula surface velocity

date (year)	u_{surf} (m/s)	calculation u_{surf} (m/s)	$y^* = 0.857x + 0.0127$	$(y - y^*)^2$	$(y^* - y)^2$
2011	0.0659	0.0663	0.0692	8.13E-06	2.10E-04

	0.0741	0.0884	0.0762	1.50E-04	5.59E-05
	0.0864	0.0958	0.0867	8.21E-05	9.40E-06
	0.1315	0.1253	0.1254	1.29E-08	1.74E-03
	0.1423	0.1400	0.1347	2.88E-05	2.60E-03
	0.1422	0.1327	0.1346	3.66E-06	2.59E-03
	0.1423	0.1179	0.1347	2.80E-04	2.60E-03
average	0.1462	0.1327	0.1380	2.85E-05	2.95E-03
	0.1646	0.1548	0.1538	9.96E-07	4.91E-03
	0.1480	0.1548	0.1395	2.32E-04	3.12E-03
	0.1120	0.1105	0.1087	3.46E-06	6.25E-04
	0.0766	0.1179	0.0783	1.57E-03	2.84E-05
	0.0523	0.0737	0.0575	2.62E-04	6.84E-04
	0.0269	0.0368	0.0358	1.20E-06	2.30E-03
	0.0233	0.0442	0.0327	1.33E-04	2.60E-03
	0.0311	0.0590	0.0394	3.84E-04	1.96E-03
	0.0383	0.0516	0.0455	3.68E-05	1.46E-03
	0.0667	0.0590	0.0699	1.19E-04	1.91E-04
	0.0550	0.0663	0.0598	4.21E-05	5.69E-04
	0.0646	0.0811	0.0681	1.69E-04	2.44E-04
2012	0.0817	0.1032	0.0827	4.18E-04	9.26E-07
average	0.0700	0.0663	0.0727	4.05E-05	1.21E-04
	0.0612	0.0590	0.0651	3.83E-05	3.43E-04
	0.0533	0.0516	0.0584	4.61E-05	6.40E-04
	0.0413	0.0442	0.0481	1.50E-05	1.27E-03
	0.0327	0.0368	0.0407	1.50E-05	1.85E-03
	0.0314	0.0221	0.0396	3.06E-04	1.94E-03
	0.0167	0.0221	0.0270	2.40E-05	3.21E-03
2013	0.0253	0.0368	0.0344	6.08E-06	2.43E-03

	0.0725	0.0590	0.0748	2.52E-04	7.83E-05
	0.0675	0.0590	0.0705	1.34E-04	1.72E-04
	0.0950	0.0737	0.0941	4.17E-04	1.09E-04
	0.1050	0.0811	0.1027	4.67E-04	3.61E-04
	0.1075	0.0958	0.1048	8.14E-05	4.47E-04
	0.1028	0.0737	0.1008	7.35E-04	2.93E-04
average	0.1074	0.1105	0.1047	3.37E-05	4.44E-04
	0.0925	0.0958	0.0920	1.47E-05	6.88E-05
	0.1123	0.0811	0.1089	7.77E-04	6.38E-04
	0.0252	0.0295	0.0343	2.32E-05	2.44E-03
	0.0252	0.0295	0.0343	2.32E-05	2.44E-03
	0.0225	0.0295	0.0320	6.27E-06	2.67E-03
	0.0332	0.0221	0.0412	3.63E-04	1.81E-03
	0.0443	0.0516	0.0507	8.49E-07	1.09E-03
	0.0462	0.0737	0.0523	4.58E-04	9.85E-04
	0.0783	0.0811	0.0798	1.59E-06	1.50E-05
	0.1063	0.1179	0.1038	1.99E-04	4.05E-04
	0.1482	0.1253	0.1397	2.08E-04	3.14E-03
	0.1343	0.1474	0.1278	3.84E-04	1.95E-03
2014	0.1390	0.1400	0.1318	6.72E-05	2.32E-03
average	0.1281	0.1253	0.1225	7.84E-06	1.51E-03
	0.1122	0.1253	0.1089	2.70E-04	6.34E-04
	0.1083	0.1032	0.1055	5.47E-06	4.77E-04
	0.0522	0.0737	0.0574	2.64E-04	6.89E-04
	0.0462	0.0442	0.0523	6.52E-05	9.85E-04
	0.0581	0.0516	0.0625	1.19E-04	4.49E-04
	0.0464	0.0368	0.0525	2.44E-04	9.74E-04
2015	0.0522	0.0516	0.0574	3.42E-05	6.89E-04

	0.0733	0.0811	0.0755	3.08E-05	6.66E-05
	0.0933	0.1032	0.0927	1.11E-04	8.06E-05
	0.1231	0.1400	0.1182	4.76E-04	1.19E-03
	0.1333	0.1253	0.1269	2.74E-06	1.87E-03
	0.1433	0.1253	0.1355	1.05E-04	2.69E-03
	0.1417	0.1400	0.1341	3.46E-05	2.55E-03
average	0.1583	0.1474	0.1484	9.45E-07	4.18E-03
	0.1533	0.1474	0.1441	1.10E-05	3.65E-03
	0.1133	0.1105	0.1098	5.55E-07	6.82E-04
	0.0817	0.0884	0.0827	3.27E-05	9.26E-07
	0.0464	0.0737	0.0525	4.51E-04	9.74E-04
	0.0416	0.0368	0.0484	1.32E-04	1.25E-03
	0.0213	0.0295	0.0310	2.18E-06	2.78E-03
	0.0422	0.0457	0.0489	1.01E-05	1.21E-03
	0.0594	0.0693	0.0636	3.17E-05	4.02E-04
	0.0728	0.0752	0.0751	1.30E-08	7.44E-05
	0.1045	0.0988	0.1023	1.24E-05	3.46E-04
	0.1168	0.1061	0.1128	4.41E-05	8.46E-04
	0.1184	0.1135	0.1142	4.37E-07	9.29E-04
Total	0.1215	0.1120	0.1168	2.31E-05	1.10E-03
average	0.1220	0.1105	0.1173	4.50E-05	1.13E-03
	0.1168	0.1120	0.1128	5.57E-07	8.46E-04
	0.1070	0.0988	0.1044	3.23E-05	4.31E-04
	0.0625	0.0678	0.0662	2.42E-06	3.04E-04
	0.0454	0.0604	0.0516	7.75E-05	1.03E-03
	0.0412	0.0413	0.0480	4.52E-05	1.27E-03
	0.0289	0.0295	0.0375	6.38E-05	2.14E-03

(Average)	(SSE)	(SSR)
0.0837	1.19E-02	1.06E-01
	(SST)	=0.8677
	1.17E-01	

3. 제주 자연하천의 평균유속분포식에 의한 하천유량 산정 및 검증

3.1 유속분포식과 수심평균유속환산계수(0.85)에 의한 산정유량 비교·분석

현재 유량관측기기의 발전은 기존의 접촉식 유속관측방법을 지양하고 비접촉 유속관측방법으로 활발한 연구와 개발이 진행되고 있다. 대표적인 관측기기 및 기법은 전자파를 이용하는 이동식 전자파표면유속계와 유출영상자료를 분석하여 유속을 산정하는 표면영상유속계(SIV; Surface Image Velocimetry)가 있다. 두 관측장비 모두 비접촉식 유속관측 장비이며 수표면의 유속을 관측하고 유량을 산정한다는 공통점이 있다. 또한 수표면의 유속을 관측하고 유량산정을 위해 평균유속으로 환산하는 과정에서 수심평균유속환산계수인 0.85을 일률적으로 적용하도록 제시되고 있다. 그러나 수심평균유속환산계수는 관측하천의 흐름특성과 관계되는 유속분포가 고려되지 않으므로 산정된 유량의 신뢰도가 낮아지는 단점이 있다. 따라서 연구대상 하천별 유속관측구간에서 표면영상유속계(SIV)를 적용하여 표면유속을 산정하고 기존 수심평균유속환산계수(0.85)와 유속분포식을 적용한 유량을 비교·검토하여 기존 유량산정방법의 신뢰성을 분석하였다.

(1) 중문천 표면유속분포 분석 및 유량산정 결과

Chiu-2차원 유속분포식에 관계된 중문천 매개변수 추정결과의 적용성을 확인하기 위해 ADCP의 동일한 관측지점에 표면영상유속계(SIV)를 적용하였다. 표면유속분포를 분석한 결과는 [Fig. IV-35]와 같으며, 분석된 표면유속은 중문천의 흐름특성과 관계된 매개변수를 고려한 Chiu-2차원 유속분포식에 적용하여 유량을 산정하고 동시에 기존 수심평균유속환산계수 0.85를 적용한 유량산정결과를 비교·분석하였다.

유속을 활용한 유량산정 과정에서 분석에 적용되는 하천단면은 CX-105(SOKKIA사)을 이용하여 1 m 간격으로 정밀하게 측량하였으며 관측된 Diver 수위에 따라

AutoCAD를 활용하여 수위-면적을 분석하고 최종적으로 중간단면법을 적용하여 유량을 산정하였다.

중문천의 분석된 표면유속을 Chiu-2차원 유속분식에 적용하고 평균유속을 산정하여 유량을 산정한 결과는 0.7090 CMS로 분석되었으며, 수심평균유속환산계수(0.85)를 적용하여 유량을 산정한 결과는 0.6424 CMS로 Chiu-2차원 유속분포식을 적용한 유량이 약 0.0666 CMS 높게 산정되었다([Table IV-62]).



Fig. IV-35. Result of velocity vector in Jungmun-stream using Surface Image Velocimetry(SIV)

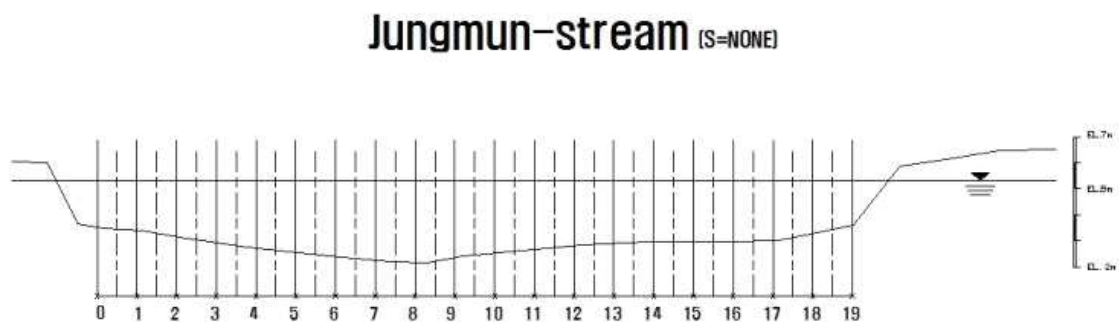


Fig. IV-36. Jungmun-stream cross sectional areas for discharge calculation

Table IV-62. Comparison of surface velocity and discharge (Jungmun-stream stream)

No	urf (m/s) *SIV	u (m/s) *0.85	\bar{u} (m/s) *Chiu	(m ²)	Discharge (m ³ /s) *0.85	Discharge (m ³ /s) *Chiu
0	0.0339	0.0288	0.0318	0.0247	0.0007	0.0008
				0.1277	0.0037	0.0041
1	0.0371	0.0315	0.0348	0.1826	0.0058	0.0064
				0.2164	0.0068	0.0075
2	0.0205	0.0174	0.0192	0.3050	0.0053	0.0059
				0.4128	0.0072	0.0079
3	0.0317	0.0269	0.0297	0.5014	0.0135	0.0149
				0.5860	0.0158	0.0174
4	0.0366	0.0311	0.0343	0.6707	0.0209	0.0230
				0.7425	0.0231	0.0255
5	0.0214	0.0182	0.0200	0.8013	0.0145	0.0161
				0.8601	0.0156	0.0172
6	0.0248	0.0211	0.0233	0.9189	0.0194	0.0214
				0.9771	0.0206	0.0227
7	0.0370	0.0314	0.0347	1.0345	0.0325	0.0359
				1.0918	0.0343	0.0379
8	0.0371	0.0315	0.0348	1.1373	0.0359	0.0396
				1.1542	0.0364	0.0402
9	0.0295	0.0251	0.0277	1.1165	0.0280	0.0309
				1.0052	0.0252	0.0278
10	0.0355	0.0302	0.0333	0.9335	0.0282	0.0311
				0.8809	0.0266	0.0293
11	0.0350	0.0298	0.0328	0.8283	0.0246	0.0272
				0.7690	0.0229	0.0252
12	0.0361	0.0307	0.0339	0.7057	0.0217	0.0239
				0.6427	0.0197	0.0218
13	0.0376	0.0320	0.0353	0.6003	0.0192	0.0212
				0.5713	0.0183	0.0202
14	0.0222	0.0189	0.0208	0.5423	0.0102	0.0113
				0.5258	0.0099	0.0110
15	0.0207	0.0176	0.0194	0.5308	0.0093	0.0102
				0.5361	0.0094	0.0103
16	0.0192	0.0163	0.0180	0.5415	0.0088	0.0098
				0.5417	0.0088	0.0098
17	0.0245	0.0208	0.0230	0.5286	0.0110	0.0121
				0.5096	0.0106	0.0117

18	0.0241	0.0205	0.0226	0.4088	0.0084	0.0092
				0.2823	0.0058	0.0064
19	0.0213	0.0181	0.0200	0.1651	0.0030	0.0033
				0.0406	0.0007	0.0008
Total discharge					0.6424	0.7090

(2) 강정천 표면유속분포 분석 및 유량산정 결과

Chiu-2차원 유속분포식에 관계된 강정천 매개변수 추정결과의 적용성을 확인하기 위해 ADCP의 동일한 관측지점에 표면영상유속계(SIV)를 적용하였다. 표면유속분포를 분석한 결과는 [Fig. IV-37]과 같으며, 분석된 표면유속은 강정천의 흐름특성과 관계된 매개변수를 고려한 Chiu-2차원 유속분포식에 적용하여 유량을 산정하고 동시에 기존 수심평균유속환산계수 0.85를 적용한 유량산정결과를 비교·분석하였다.

유속을 활용한 유량산정 과정에서 분석에 적용되는 하천단면은 CX-105(SOKKIA사)을 이용하여 1 m 간격으로 정밀하게 측량하였으며 관측된 Diver 수위에 따라 AutoCAD를 활용하여 수위-면적을 분석하고 최종적으로 중간단면법을 적용하여 유량을 산정하였다.

강정천의 분석된 표면유속을 Chiu-2차원 유속분포식에 적용하고 평균유속을 산정하여 유량을 산정한 결과는 0.6526 CMS로 분석되었으며, 수심평균유속환산계수(0.85)를 적용하여 유량을 산정한 결과는 0.5758 CMS로 Chiu-2차원 유속분포식을 적용한 유량이 약 0.0768 CMS 높게 산정되었다([Table IV-63]).



Fig. IV-37. Result of velocity vector in Gangjung-stream using Surface Image Velocimetry(SIV)

Gangjung-stream (S=NONE)

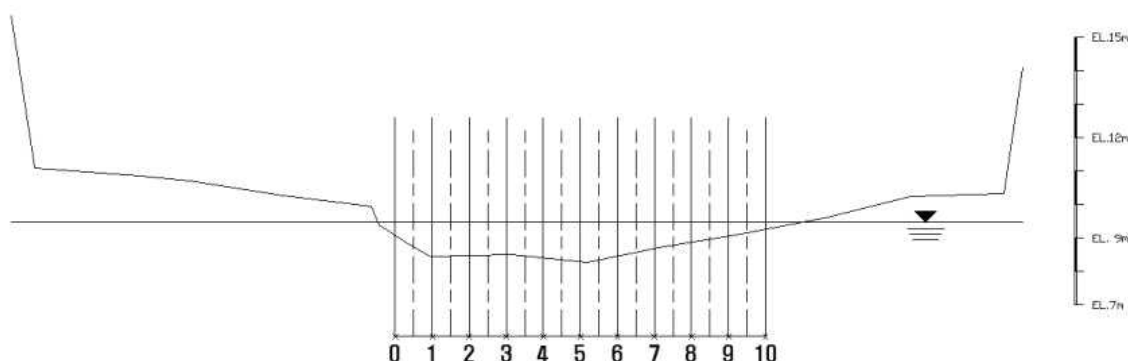


Fig. IV-38. Gangjung-stream cross sectional areas for discharge calculation

Table IV-63. Comparison of surface velocity and discharge (Gang-jung stream)

No	urf	u	\bar{u}	(m^2)	Discharge	Discharge
	(m/s) *SIV	(m/s) *0.85	(m/s) *Chiu		(m^3/s) *0.85	(m^3/s) *Chiu
0	0.0452	0.0384	0.0436	0.0397	0.0015	0.0017
				0.1311	0.0050	0.0057
1	0.0542	0.0461	0.0522	0.2078	0.0097	0.0108
				0.2970	0.0138	0.0155
2	0.0504	0.0428	0.0486	0.3816	0.0163	0.0185
				0.4636	0.0197	0.0225
3	0.0539	0.0458	0.0519	0.5333	0.0243	0.0277
				0.5907	0.0275	0.0307
4	0.0508	0.0432	0.0489	0.6811	0.0294	0.0333
				0.7632	0.0328	0.0373
5	0.0466	0.0396	0.0449	0.8514	0.0337	0.0382
				0.9369	0.0372	0.0421
6	0.0540	0.0459	0.0520	0.9304	0.0431	0.0484
				0.9022	0.0413	0.0469
7	0.0489	0.0416	0.0471	0.8631	0.0358	0.0407
				0.8302	0.0345	0.0391
8	0.0381	0.0324	0.0367	0.8298	0.0269	0.0305
				0.8401	0.0272	0.0308
9	0.0644	0.0547	0.0620	0.8401	0.0459	0.0521
				0.7241	0.0394	0.0449

10	0.0685	0.0582	0.0660	0.4605	0.0268	0.0304
				0.0700	0.0041	0.0046
Total discharge					0.5758	0.6526

(3) 악근천 표면유속분포 분석 및 유량산정 결과

Chiu-2차원 유속분포식에 관계된 악근천 매개변수 추정결과의 적용성을 확인하기 위해 ADCP의 동일한 관측지점에 표면영상유속계(SIV)를 적용하였다. 표면유속분포를 분석한 결과는 [Fig. IV-39]와 같으며, 분석된 표면유속은 악근천의 흐름특성과 관계된 매개변수를 고려한 Chiu-2차원 유속분포식에 적용하여 유량을 산정하고 동시에 기존 수심평균유속환산계수 0.85를 적용한 유량산정결과를 비교·분석하였다.

유속을 활용한 유량산정 과정에서 분석에 적용되는 하천단면은 CX-105(SOKKIA사)을 이용하여 1 m 간격으로 정밀하게 측량하였으며 관측된 Diver 수위에 따라 AutoCAD를 활용하여 수위-면적을 분석하고 최종적으로 중간단면법을 적용하여 유량을 산정하였다.

악근천의 분석된 표면유속을 Chiu-2차원 유속분포식에 적용하고 평균유속을 산정하여 유량을 산정한 결과는 0.6780 CMS로 분석되었으며, 수심평균유속환산계수(0.85)를 적용하여 유량을 산정한 결과는 0.5819 CMS로 Chiu-2차원 유속분포식을 적용한 유량이 약 0.0961 CMS 높게 산정되었다([Table IV-63]).

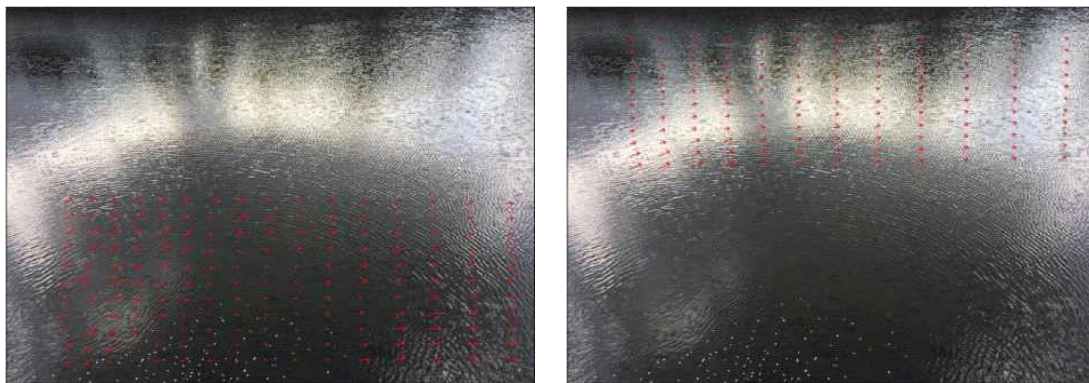


Fig. IV-39. Result of velocity vector in Akgeun-stream using Surface Image Velocimetry(SIV)

Akgeun-stream [S=NONE]

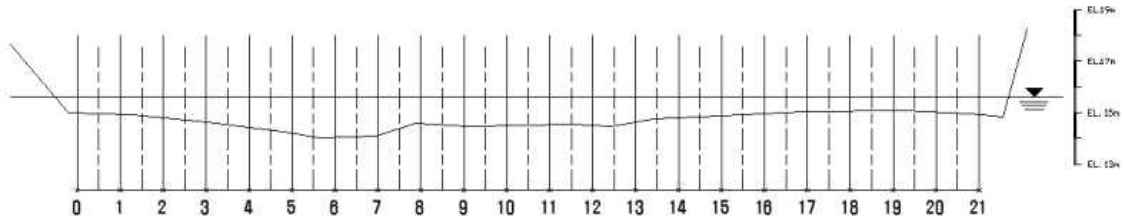


Fig. IV-40. Akgeun-stream cross sectional areas for discharge calculation

Table IV-64. Comparison of surface velocity and discharge (Akgeun-stream)

No	urf (m/s) *SIV	u (m/s) *0.85	\bar{u} (m/s) *Chiu	(m^2)	Discharge (m^3/s) *0.85	Discharge (m^3/s) *Chiu
0	0.0296	0.0251	0.0293	0.0763	0.0019	0.0022
				0.1652	0.0042	0.0048
1	0.0315	0.0268	0.0312	0.1923	0.0051	0.0060
				0.2237	0.0060	0.0070
2	0.0320	0.0272	0.0317	0.2835	0.0077	0.0090
				0.3483	0.0095	0.0110
3	0.0453	0.0385	0.0449	0.4131	0.0159	0.0185
				0.4901	0.0189	0.0220
4	0.0476	0.0405	0.0471	0.5839	0.0236	0.0275
				0.6778	0.0274	0.0320
5	0.0476	0.0405	0.0471	0.7717	0.0312	0.0364
				0.879	0.0356	0.0414
6	0.0452	0.0384	0.0448	0.9597	0.0369	0.0430
				0.9405	0.0361	0.0421
7	0.0384	0.0326	0.0380	0.9154	0.0299	0.0348
				0.7781	0.0254	0.0296
8	0.0367	0.0312	0.0363	0.5529	0.0172	0.0201
				0.5147	0.0161	0.0187
9	0.0378	0.0321	0.0374	0.5505	0.0177	0.0206
				0.5727	0.0184	0.0214
10	0.0397	0.0337	0.0393	0.5645	0.0190	0.0222
				0.5551	0.0187	0.0218

11	0.0408	0.0347	0.0404	0.546	0.0189	0.0221
				0.5369	0.0186	0.0217
12	0.0323	0.0275	0.0320	0.5452	0.0150	0.0174
				0.5699	0.0156	0.0182
13	0.0321	0.0273	0.0318	0.5086	0.0139	0.0162
				0.3977	0.0109	0.0126
14	0.0379	0.0322	0.0375	0.3332	0.0107	0.0125
				0.2902	0.0093	0.0109
15	0.0314	0.0267	0.0311	0.2472	0.0066	0.0077
				0.2105	0.0056	0.0065
16	0.0318	0.0270	0.0315	0.1799	0.0049	0.0057
				0.1493	0.0040	0.0047
17	0.0253	0.0215	0.0251	0.119	0.0026	0.0030
				0.1015	0.0022	0.0025
18	0.0247	0.0210	0.0245	0.0912	0.0019	0.0023
				0.0809	0.0017	0.0021
19	0.0229	0.0195	0.0227	0.0706	0.0014	0.0015
				0.0659	0.0013	0.0014
20	0.0278	0.0236	0.0275	0.0988	0.0023	0.0026
				0.1386	0.0033	0.0038
21	0.0221	0.0188	0.0219	0.1803	0.0034	0.0040
				0.2827	0.0053	0.0062
Total discharge					0.5819	0.678

(4) 연외천 표면유속분포 분석 및 유량산정 결과

Chiu-2차원 유속분포식에 관계된 연외천 매개변수 추정결과의 적용성을 확인하기 위해 ADCP의 동일한 관측지점에 표면영상유속계(SIV)를 적용하였다. 표면유속분포를 분석한 결과는 [Fig. IV-41]과 같으며, 분석된 표면유속은 연외천의 흐름특성과 관계된 매개변수를 고려한 Chiu-2차원 유속분포식에 적용하여 유량을 산정하고 동시에 기존 수심평균유속환산계수 0.85를 적용한 유량산정결과를 비교·분석하였다.

유속을 활용한 유량산정 과정에서 분석에 적용되는 하천단면은 CX-105(SOKKIA사)을 이용하여 1 m 간격으로 정밀하게 측량하였으며 관측된 Diver 수위에 따라 AutoCAD를 활용하여 수위-면적을 분석하고 최종적으로 중간단면법을 적용하여 유량을 산정하였다.

연외천의 분석된 표면유속을 Chiu-2차원 유속분포식에 적용하고 평균유속을 산정하

여 유량을 산정한 결과는 0.6404 CMS로 분석되었으며, 수심평균유속환산계수(0.85)를 적용하여 유량을 산정한 결과는 0.5592 CMS로 Chiu-2차원 유속분포식을 적용한 유량이 약 0.0812 CMS 높게 산정되었다([Table IV-63]).



Fig. IV-41. Result of velocity vector in Yeonoei-stream using Surface Image Velocimetry(SIV)

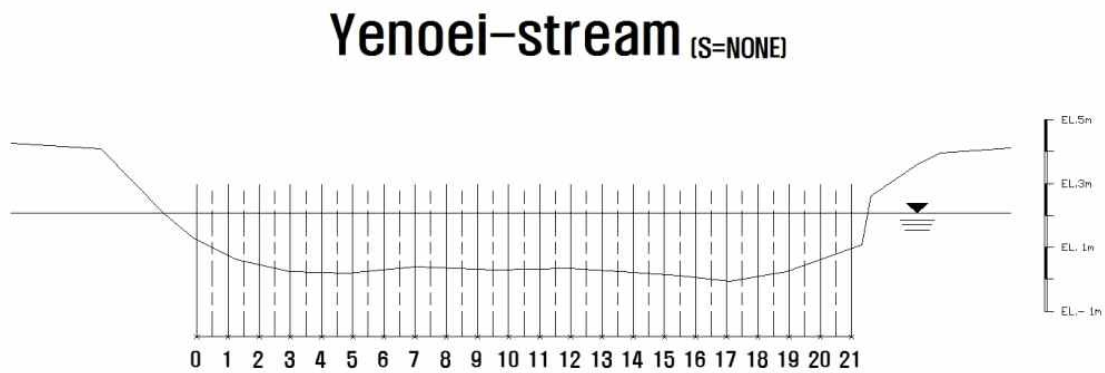


Fig. IV-42. Yeonoei-stream cross sectional areas for discharge calculation

Table IV-65. Comparison of surface velocity and discharge (Yeonoei-stream)

No	urf (m/s) *SIV	u (m/s) *Chiu	\bar{u} (m/s) *0.85	(m^2)	Discharge (m^3/s) *Chiu	Discharge (m^3/s) *0.85
0	0.0360	0.0350	0.0306	0.0661	0.0023	0.0020
				0.1405	0.0049	0.0043
1	0.0534	0.0520	0.0454	0.1832	0.0095	0.0083
				0.2254	0.0117	0.0102

2	0.0634	0.0617	0.0539	0.2676	0.0165	0.0144
				0.2912	0.0180	0.0156
3	0.0569	0.0554	0.0484	0.2971	0.0165	0.0145
				0.3031	0.0168	0.0146
4	0.0544	0.0530	0.0462	0.3091	0.0164	0.0142
				0.3041	0.0161	0.0141
5	0.0609	0.0593	0.0518	0.2856	0.0169	0.0148
				0.2670	0.0158	0.0138
6	0.0628	0.0611	0.0534	0.2484	0.0152	0.0133
				0.2299	0.0141	0.0123
7	0.0760	0.0740	0.0646	0.2275	0.0168	0.0147
				0.2366	0.0175	0.0153
8	0.0818	0.0796	0.0695	0.2457	0.0196	0.0171
				0.2549	0.0203	0.0177
9	0.0752	0.0732	0.0639	0.264	0.0193	0.0169
				0.2717	0.0199	0.0174
10	0.0754	0.0734	0.0641	0.2691	0.0197	0.0172
				0.2645	0.0194	0.0170
11	0.0795	0.0774	0.0676	0.2600	0.0201	0.0176
				0.2554	0.0198	0.0173
12	0.0693	0.0675	0.0589	0.2516	0.0170	0.0148
				0.2583	0.0174	0.0152
13	0.0410	0.0399	0.0349	0.2684	0.0107	0.0094
				0.2784	0.0111	0.0097
14	0.0715	0.0696	0.0608	0.2891	0.0201	0.0176
				0.3027	0.0211	0.0184
15	0.0620	0.0603	0.0527	0.3168	0.0191	0.0167
				0.3309	0.0200	0.0174
16	0.0504	0.0491	0.0428	0.3457	0.0170	0.0148
				0.3670	0.0180	0.0157
17	0.0328	0.0319	0.0279	0.3899	0.0124	0.0109
				0.4128	0.0132	0.0115
18	0.0325	0.0316	0.0276	0.4163	0.0132	0.0115
				0.3827	0.0121	0.0106
19	0.0321	0.0312	0.0273	0.3482	0.0109	0.0095
				0.3136	0.0098	0.0086
20	0.0225	0.0219	0.0191	0.2675	0.0059	0.0052
				0.1994	0.0044	0.0039
21	0.0209	0.0203	0.0178	0.1308	0.0027	0.0024

	0.0678	0.0014	0.0012
Total discharge		0.6404	0.5592

3.2 표면유속-평균유속 회귀계수에 의한 산정유량 비교·분석

ADCP 관측자료의 년도별 표면유속과 평균유속의 관계를 단순회귀분석에 적용하여 관측 표면유속이 해당하천의 평균유속에 근접한 값을 나타낼 수 있는 계수 값을 산정하였다. 산정과정에서 실측자료를 기반으로 표면유속과 평균유속의 관계를 이용하므로 표면유속을 독립변수로 설정하고 섹터별 평균유속을 종속변수로 설정하여 두 변수 사이의 R^2 가 1이 되는 계수 값을 연구대상 하천별로 산정한 결과는 다음과 같다.

(1) 중문천 표면유속-평균유속의 회귀분석 결과

중문천 ADCP 관측자료의 표면유속과 해당 섹터의 평균유속의 관계는 [Table IV-66]과 같다. [Table IV-66]의 ①은 관측표면유속을 나타내며 ②는 평균유속을 나타낸다. 두 인자의 상관분포는 [Fig. IV-43.]의 (a)와 같으며, 단순회귀분석에 의한 계수는 0.9129로 산정되었다. 산정된 계수를 표면유속에 적용하여 표면유속과 평균유속의 상관관계를 분석한 결과 $R^2=1$ ([Fig. IV-43.(b)]을 나타냈으며 표면유속을 평균유속으로 산정하는 과정에서 산정된 계수값을 적용하는데 타당성을 나타낸다.

Table IV-66. Result of regression analysis of surface velocity-average velocity(Jungmun-stream)

date (year)	ADCP Surface velocity (/sec)	ADCP Average velocity (m/sec)	Regression coefficient	Apply regression coefficient to surface velocity (m/sec)
	①	②	②/①	①×0.9129
2011 average	0.0374	0.0441	Using Total average	0.0341
	0.0653	0.0646		0.0596
	0.0701	0.0721		0.0640
	0.1211	0.1148		0.1106
	0.1174	0.0945		0.1072

	0.1250	0.0905		0.1141
	0.1124	0.0870		0.1026
	0.1024	0.0841		0.0935
	0.0976	0.0803		0.0891
	0.0924	0.0844		0.0844
	0.0289	0.0392		0.0264
	0.0324	0.0331		0.0296
	0.0327	0.0404		0.0299
	0.0159	0.0233		0.0145
	0.0217	0.0301		0.0198
	0.0242	0.0340		0.0221
	0.0392	0.0395		0.0358
	0.0583	0.0524		0.0532
	0.0632	0.0545		0.0577
	0.0808	0.0670		0.0738
2012	0.0650	0.0533	Using	0.0593
average	0.0758	0.0615	Total average	0.0692
	0.0617	0.0475		0.0563
	0.0425	0.0379		0.0388
	0.0508	0.0407		0.0464
	0.0258	0.0278		0.0236
	0.0202	0.0302		0.0184
	0.0183	0.0307		0.0167
	0.0217	0.0299		0.0198
2013	0.0582	0.0522	Using	0.0531
average	0.0352	0.0425	Total average	0.0321
	0.0683	0.0531		0.0624

	0.0740	0.0559		0.0676
	0.0835	0.0653		0.0762
	0.1028	0.0766		0.0938
	0.0775	0.0624		0.0707
	0.0728	0.0666		0.0665
	0.0707	0.0554		0.0645
	0.0413	0.0414		0.0377
	0.0313	0.0313		0.0286
	0.0265	0.0334		0.0242
	0.0213	0.0248		0.0194
	0.0285	0.0360		0.0260
	0.0594	0.0593		0.0542
	0.0468	0.0531		0.0427
	0.0835	0.0677		0.0762
	0.0976	0.0715		0.0891
	0.1043	0.0873		0.0952
2014 average	0.1168	0.0940	Using Total average	0.1066
	0.0931	0.0791		0.0850
	0.0892	0.0858		0.0814
	0.0803	0.0682		0.0733
	0.0377	0.0417		0.0344
	0.0285	0.0337		0.0260
	0.0341	0.0336		0.0311
	0.0285	0.0327		0.0260
2015 average	0.0335	0.0403	Using Total average	0.0306
	0.0595	0.0642		0.0543
	0.0519	0.0625		0.0474

	0.0905	0.0789		0.0826
	0.1033	0.0824		0.0943
	0.1115	0.0930		0.1018
	0.1247	0.1045		0.1138
	0.1033	0.0915		0.0943
	0.1014	0.0949		0.0926
	0.0829	0.0717		0.0757
	0.0491	0.0495		0.0448
	0.0329	0.0383		0.0300
	0.0379	0.0356		0.0346
	0.0285	0.0343		0.0260
Total average	0.0632	0.0577	0.9129	-

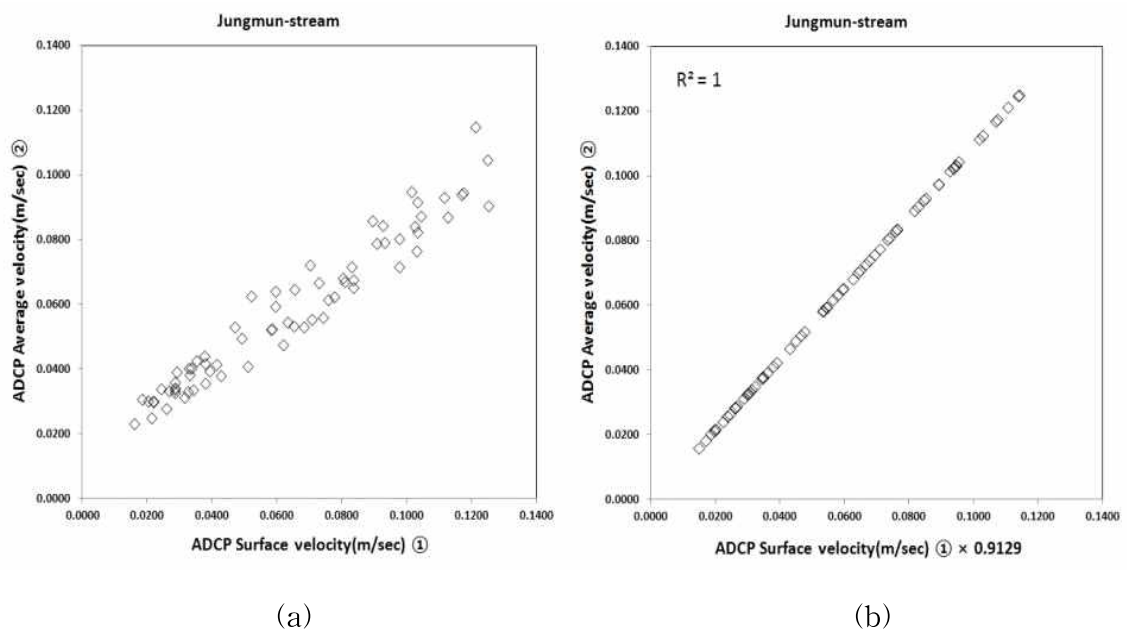


Fig. IV-43. Comparison of the distribution of the surface velocity-average velocity(a) and R^2 result of applying the regression coefficient(Jungmun-stream)

Table IV-67. Result of the discharge with the regression coefficient applied(Jungmun-stream)

No	u_{urf} (m/s) *SIV	u_{surf} *Regression coefficient (m/s)	(m ²)	Discharge (m ³ /s)
0	0.0339	0.0310	0.0247	7.64E-04
			0.1277	3.95E-03
1	0.0371	0.0338	0.1826	6.18E-03
			0.2164	7.32E-03
2	0.0205	0.0187	0.3050	5.70E-03
			0.4128	7.71E-03
3	0.0317	0.0289	0.5014	1.45E-02
			0.5860	1.69E-02
4	0.0366	0.0334	0.6707	2.24E-02
			0.7425	2.48E-02
5	0.0214	0.0195	0.8013	1.56E-02
			0.8601	1.68E-02
6	0.0248	0.0226	0.9189	2.08E-02
			0.9771	2.21E-02
7	0.0370	0.0338	1.0345	3.49E-02
			1.0918	3.68E-02
8	0.0371	0.0339	1.1373	3.85E-02
			1.1542	3.91E-02
9	0.0295	0.0269	1.1165	3.01E-02
			1.0052	2.71E-02
10	0.0355	0.0324	0.9335	3.02E-02
			0.8809	2.85E-02
11	0.0350	0.0319	0.8283	2.65E-02
			0.7690	2.46E-02
12	0.0361	0.0329	0.7057	2.32E-02
			0.6427	2.12E-02
13	0.0376	0.0343	0.6003	2.06E-02
			0.5713	1.96E-02

14	0.0222	0.0203	0.5423	1.10E-02
			0.5258	1.07E-02
15	0.0207	0.0189	0.5308	1.00E-02
			0.5361	1.01E-02
16	0.0192	0.0175	0.5415	9.49E-03
			0.5417	9.49E-03
17	0.0245	0.0224	0.5286	1.18E-02
			0.5096	1.14E-02
18	0.0241	0.0220	0.4088	8.99E-03
			0.2823	6.21E-03
19	0.0213	0.0194	0.1651	3.21E-03
			0.0406	7.89E-04
Total discharge				0.6896

(2) 강정천 표면유속-평균유속의 회귀분석 결과

강정천 ADCP 관측자료의 표면유속과 해당 섹터의 평균유속의 관계는 [Table IV-68]과 같다. [Table IV-68]의 ①은 관측표면유속을 나타내며 ②는 평균유속을 나타낸다. 두 인자의 상관분포는 [Fig. IV-44.]의 (a)와 같으며, 단순회귀분석에 의한 계수는 0.9557로 산정되었다. 산정된 계수를 표면유속에 적용하여 표면유속과 평균유속의 상관관계를 분석한 결과 $r = 1$ ([Fig. IV-44.(b)]을 나타냈으며 표면유속을 평균유속으로 산정하는 과정에서 산정된 계수값을 적용하는데 타당성을 나타낸다.

Table IV-68. Result of regression analysis of surface velocity-average velocity(Gangjung-stream)

date (year)	ADCP	ADCP	Regression coefficient	Apply regression
	Surface velocity (/sec)	Average velocity (m/sec)		coefficient to surface velocity (m/sec)
	①	②	②/①	①×0.9557
2011 average	0.0451	0.0492	Using Total average	0.0431
	0.0632	0.0642		0.0604
	0.0823	0.0770		0.0787

	0.1030	0.0931		0.0984
	0.1253	0.1070		0.1197
	0.1283	0.1042		0.1226
	0.1162	0.1006		0.1111
	0.1321	0.1039		0.1262
	0.1442	0.1191		0.1378
	0.1236	0.1148		0.1181
	0.0835	0.0729		0.0798
	0.0541	0.0608		0.0517
	0.0413	0.0452		0.0395
	0.0294	0.0303		0.0281
	0.0421	0.0446		0.0402
	0.0742	0.0717		0.0709
	0.0921	0.0932		0.0880
	0.1163	0.0993		0.1111
	0.1168	0.1054		0.1116
	0.1263	0.1132		0.1207
2012 average	0.1353	0.1208	Using Total average	0.1293
	0.1421	0.1228		0.1358
	0.1426	0.1232		0.1363
	0.1011	0.1014		0.0966
	0.0611	0.0625		0.0584
	0.0426	0.0406		0.0407
	0.0389	0.0385		0.0372
	0.0247	0.0325		0.0236
2013 average	0.0445	0.0505	Using Total average	0.0425
	0.0582	0.0582		0.0556
	0.0804	0.0701		0.0768

	0.0936	0.0766		0.0895
	0.0991	0.0760		0.0947
	0.1027	0.0902		0.0982
	0.1045	0.0859		0.0999
	0.1065	0.0949		0.1018
	0.0845	0.0925		0.0808
	0.0945	0.0836		0.0903
	0.0855	0.0759		0.0817
	0.0427	0.0384		0.0408
	0.0291	0.0297		0.0278
	0.0323	0.0298		0.0309
	0.0283	0.0390		0.0270
	0.0450	0.0614		0.0430
	0.0756	0.0759		0.0723
	0.0917	0.0845		0.0876
	0.0983	0.0950		0.0939
	0.1050	0.1158		0.1003
2014	0.0883	0.1000	Using	0.0844
average	0.1050	0.1013	Total average	0.1003
	0.0767	0.0930		0.0733
	0.0752	0.0754		0.0719
	0.0438	0.0531		0.0419
	0.0350	0.0393		0.0334
	0.0467	0.0395		0.0446
	0.0383	0.0346		0.0366
2015	0.0712	0.0671	Using	0.0680
average	0.0850	0.1069	Total average	0.0812

	0.1125	0.1325		0.1075
	0.1425	0.1450		0.1362
	0.1425	0.1417		0.1362
	0.1450	0.1265		0.1386
	0.1532	0.1394		0.1464
	0.1650	0.1688		0.1577
	0.1423	0.1422		0.1360
	0.1054	0.1066		0.1007
	0.0825	0.0806		0.0788
	0.0452	0.0480		0.0432
	0.0425	0.0366		0.0406
	0.0322	0.0284		0.0308
Total average	0.0858	0.0820	0.9557	-

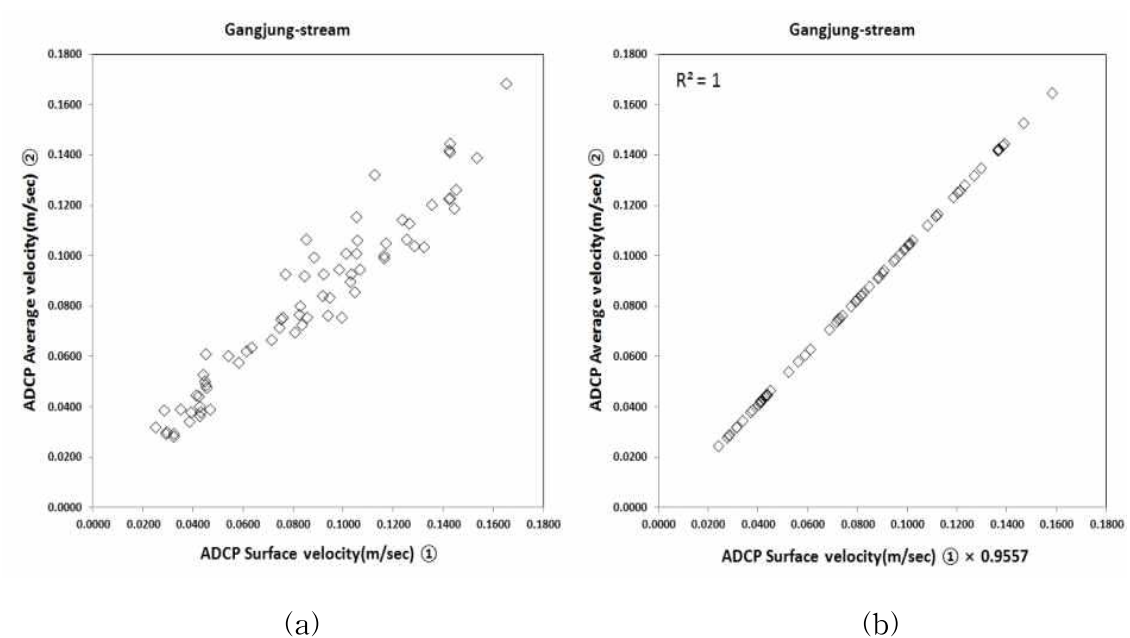


Fig. IV-44. Comparison of the distribution of the surface velocity-average velocity(a) and R^2 result of applying the regression coefficient(Gangjung-stream)

Table IV-69. Result of the discharge with the regression coefficient applied

No	urf (m/s) *SIV	u_{surf} *Regression coefficient (m/s)	(m ²)	Discharge (m ³ /s)
0	0.0452	0.0433	0.0397	1.72E-03
			0.1311	5.67E-03
1	0.0542	0.0518	0.2078	1.08E-02
			0.2970	1.54E-02
2	0.0504	0.0482	0.3816	1.84E-02
			0.4636	2.23E-02
3	0.0539	0.0515	0.5333	2.75E-02
			0.5907	3.04E-02
4	0.0508	0.0486	0.6811	3.31E-02
			0.7632	3.71E-02
5	0.0466	0.0446	0.8514	3.79E-02
			0.9369	4.17E-02
6	0.0540	0.0516	0.9304	4.80E-02
			0.9022	4.66E-02
7	0.0489	0.0468	0.8631	4.04E-02
			0.8302	3.88E-02
8	0.0381	0.0364	0.8298	3.02E-02
			0.8401	3.06E-02
9	0.0644	0.0616	0.8401	5.17E-02
			0.7241	4.46E-02
10	0.0685	0.0655	0.4605	3.02E-02
			0.0700	4.58E-03
Total discharge				0.6477

(3) 약근천 표면유속-평균유속의 회귀분석 결과

약근천 ADCP 관측자료의 표면유속과 해당 섹터의 평균유속의 관계는 [Table IV-70]과 같다. [Table IV-70]의 ①은 관측표면유속을 나타내며 ②는 평균유속을 나타낸다. 두 인자의 상관분포는 [Fig. IV-45.]의 (a)와 같으며, 단순회귀분석에 의한 계수는 0.9872로 산정되었다. 산정된 계수를 표면유속에 적용하여 표면유속과 평균유

속의 상관관계를 분석한 결과 $r = 1$ ([Fig. IV-45.(b)]을 나타냈으며 표면유속을 평균유속으로 산정하는 과정에서 산정된 계수값을 적용하는데 타당성을 나타낸다.

Table IV-70. Result of regression analysis of surface velocity-average velocity(Akgeun-stream)

date (year)	ADCP Surface velocity (/sec)	ADCP Average velocity (m/sec)	Regression coefficent	Apply regression coefficient to surface velocity (m/sec)
	①	②	②/①	①×0.9872
2011 average	0.0536	0.0581		0.0529
	0.0312	0.0743		0.0308
	0.0546	0.0643		0.0539
	0.0823	0.0863		0.0812
	0.0995	0.1071		0.0982
	0.0822	0.1018		0.0811
	0.0602	0.0708	Using Total average	0.0594
	0.0567	0.0741		0.0560
		0.1223		0.1207
		0.0633		0.0625
		0.0231		0.0228
		0.0411		0.0406
		0.0331		0.0327
	0.0424		0.0419	
2012 average	0.0375	0.0471		0.0370
	0.0411	0.0447		0.0406
	0.0553	0.0502	Using Total average	0.0546
	0.0750	0.0692		0.0740
		0.1150		0.1135
	0.1025		0.1012	

	0.1275	0.1050		0.1259
	0.0922	0.0834		0.0910
	0.1075	0.0945		0.1061
	0.0675	0.0620		0.0666
	0.0413	0.0424		0.0408
	0.0367	0.0400		0.0362
	0.0434	0.0438		0.0428
	0.0431	0.0379		0.0425
	0.0417	0.0494		0.0412
	0.0317	0.0463		0.0313
	0.0550	0.0562		0.0543
	0.0883	0.0830		0.0872
	0.1231	0.0956		0.1215
	0.1233	0.1107		0.1217
2013	0.1067	0.1030	Using	0.1053
average	0.1067	0.0869	Total average	0.1053
	0.1132	0.1056		0.1118
	0.0917	0.0894		0.0905
	0.0417	0.0463		0.0412
	0.0417	0.0449		0.0412
	0.0482	0.0456		0.0476
	0.0314	0.0293		0.0310
	0.0528	0.0529		0.0521
	0.0592	0.0687		0.0584
2014	0.0716	0.0698	Using	0.0707
average	0.1012	0.0894	Total average	0.0999
	0.1436	0.1089		0.1418

	0.1228	0.1091		0.1212
	0.1340	0.1174		0.1323
	0.1136	0.0978		0.1121
	0.1164	0.1232		0.1149
	0.0976	0.1012		0.0964
	0.0624	0.0654		0.0616
	0.0572	0.0600		0.0565
	0.0436	0.0550		0.0430
	0.0252	0.0309		0.0249
	0.0549	0.0527		0.0542
	0.0733	0.0921		0.0724
	0.0933	0.1027		0.0921
	0.1362	0.1325		0.1345
	0.1333	0.1231		0.1316
	0.1433	0.1200		0.1415
2015 average	0.1417	0.1324	Using Total average	0.1399
	0.1583	0.1488		0.1563
	0.1533	0.1393		0.1513
	0.1133	0.1033		0.1118
	0.0817	0.0748		0.0807
	0.0467	0.0624		0.0461
	0.0412	0.0401		0.0407
	0.0325	0.0370		0.0321
Total average	0.0783	0.0773	0.9872	-

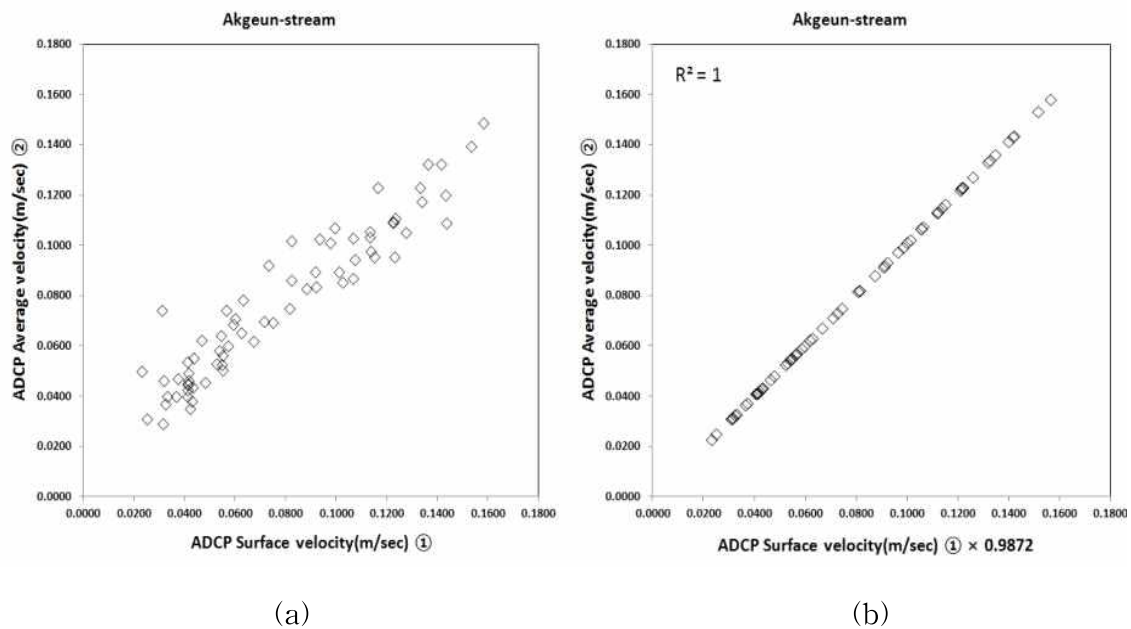


Fig. IV-45. Comparison of the distribution of the surface velocity-average velocity(a) and R^2 result of applying the regression coefficient(Akgeun-stream)

Table IV-71. Result of the discharge with the regression coefficient applied

No	u_{rf} (m/s) *SIV	u_{surf} *Regression coefficient (m/s)	(m^2)	Discharge (m^3/s)
0	0.0296	0.0292	0.0763	2.23E-03
			0.1652	4.82E-03
1	0.0315	0.0311	0.1923	5.98E-03
			0.2237	6.95E-03
2	0.0320	0.0316	0.2835	8.95E-03
			0.3483	1.10E-02
3	0.0453	0.0447	0.4131	1.85E-02
			0.4901	2.19E-02
4	0.0476	0.0470	0.5839	2.74E-02
			0.6778	3.18E-02
5	0.0476	0.0470	0.7717	3.62E-02
			0.879	4.13E-02
6	0.0452	0.0446	0.9597	4.28E-02

			0.9405	4.20E-02
			0.9154	3.47E-02
7	0.0384	0.0379	0.7781	2.95E-02
			0.5529	2.00E-02
8	0.0367	0.0362	0.5147	1.86E-02
			0.5505	2.05E-02
9	0.0378	0.0373	0.5727	2.14E-02
			0.5645	2.21E-02
10	0.0397	0.0392	0.5551	2.17E-02
			0.546	2.20E-02
11	0.0408	0.0403	0.5369	2.16E-02
			0.5452	1.74E-02
12	0.0323	0.0319	0.5699	1.82E-02
			0.5086	1.61E-02
13	0.0321	0.0317	0.3977	1.26E-02
			0.3332	1.25E-02
14	0.0379	0.0374	0.2902	1.09E-02
			0.2472	7.66E-03
15	0.0314	0.0310	0.2105	6.52E-03
			0.1799	5.65E-03
16	0.0318	0.0314	0.1493	4.69E-03
			0.119	2.97E-03
17	0.0253	0.0250	0.1015	2.53E-03
			0.0912	2.22E-03
18	0.0247	0.0244	0.0809	1.97E-03
			0.0706	1.60E-03
19	0.0229	0.0226	0.0659	1.49E-03
			0.0988	2.71E-03
20	0.0278	0.0274	0.1386	3.80E-03
			0.1803	3.94E-03
21	0.0221	0.0218	0.2827	6.17E-03
Total discharge				0.6756

(4) 연외천 표면유속-평균유속의 회귀분석 결과

연외천 ADCP 관측자료의 표면유속과 해당 섹터의 평균유속의 관계는 [Table IV-72]와 같다. [Table IV-72]의 ①은 관측표면유속을 나타내며 ②는 평균유속을 나타낸다. 두 인자의 상관분포는 [Fig. IV-46.]의 (a)와 같으며, 단순회귀분석에 의한 계수는 0.9528로 산정되었다. 산정된 계수를 표면유속에 적용하여 표면유속과 평균유속의 상관관계를 분석한 결과 $r = 1$ ([Fig. IV-46.(b)])을 나타냈으며 표면유속을 평균유속으로 산정하는 과정에서 산정된 계수값을 적용하는데 타당성을 나타낸다.

Table IV-72. Result of regression analysis of surface velocity-average velocity(Yeonoei-stream)

date (year)	ADCP Surface velocity (/sec)	ADCP Average velocity (m/sec)	Regression coefficient	Apply regression coefficient to surface velocity (m/sec)
	①	②	②/①	①×0.9528
	0.0659	0.0660		0.0628
	0.0741	0.0746		0.0706
	0.0864	0.0809		0.0823
	0.1315	0.1066		0.1253
	0.1423	0.1229		0.1356
	0.1422	0.1140		0.1355
2011 average	0.1423	0.1191	Using	0.1356
	0.1462	0.1080	Total average	0.1393
	0.1646	0.1348		0.1568
	0.1480	0.1367		0.1410
	0.1120	0.0935		0.1067
	0.0766	0.0948		0.0730
	0.0523	0.0652		0.0498
	0.0269	0.0305		0.0256

	0.0233	0.0350		0.0222
	0.0311	0.0412		0.0296
	0.0383	0.0437		0.0365
	0.0667	0.0583		0.0636
	0.0550	0.0484		0.0524
	0.0646	0.0570		0.0616
2012 average	0.0817	0.0761	Using Total average	0.0778
	0.0700	0.0569		0.0667
	0.0612	0.0589		0.0583
	0.0533	0.0512		0.0508
	0.0413	0.0469		0.0394
	0.0327	0.0341		0.0312
	0.0314	0.0308		0.0299
	0.0167	0.0252		0.0159
	0.0253	0.0358		0.0241
	0.0725	0.0638		0.0691
	0.0675	0.0555		0.0643
	0.0950	0.0748		0.0905
	0.1050	0.0699		0.1000
	0.1075	0.0910		0.1024
2013 average	0.1028	0.0793	Using Total average	0.0979
	0.1074	0.0963		0.1023
	0.0925	0.0956		0.0881
	0.1123	0.0909		0.1070
	0.0252	0.0385		0.0240
	0.0252	0.0351		0.0240
	0.0225	0.0292		0.0214

	0.0332	0.0301		0.0316
	0.0443	0.0512		0.0422
	0.0462	0.0707		0.0440
	0.0783	0.0851		0.0746
	0.1063	0.1133		0.1013
	0.1482	0.1271		0.1412
	0.1343	0.1380		0.1280
	0.1390	0.1338		0.1324
2014 average	0.1281	0.1228	Using Total average	0.1221
	0.1122	0.1224		0.1069
	0.1083	0.1006		0.1032
	0.0522	0.0657		0.0497
	0.0462	0.0476		0.0440
	0.0581	0.0496		0.0554
	0.0464	0.0403		0.0442
	0.0522	0.0564		0.0497
	0.0733	0.0876		0.0698
	0.0933	0.1027		0.0889
	0.1231	0.1288		0.1173
	0.1333	0.1247		0.1270
	0.1433	0.1200		0.1365
2015 average	0.1417	0.1316	Using Total average	0.1350
	0.1583	0.1489		0.1508
	0.1533	0.1393		0.1461
	0.1133	0.1033		0.1080
	0.0817	0.0758		0.0778
	0.0464	0.0610		0.0442
	0.0416	0.0408		0.0396

	0.0213	0.0353	0.0203
Total average	0.0828	0.0789	0.9528

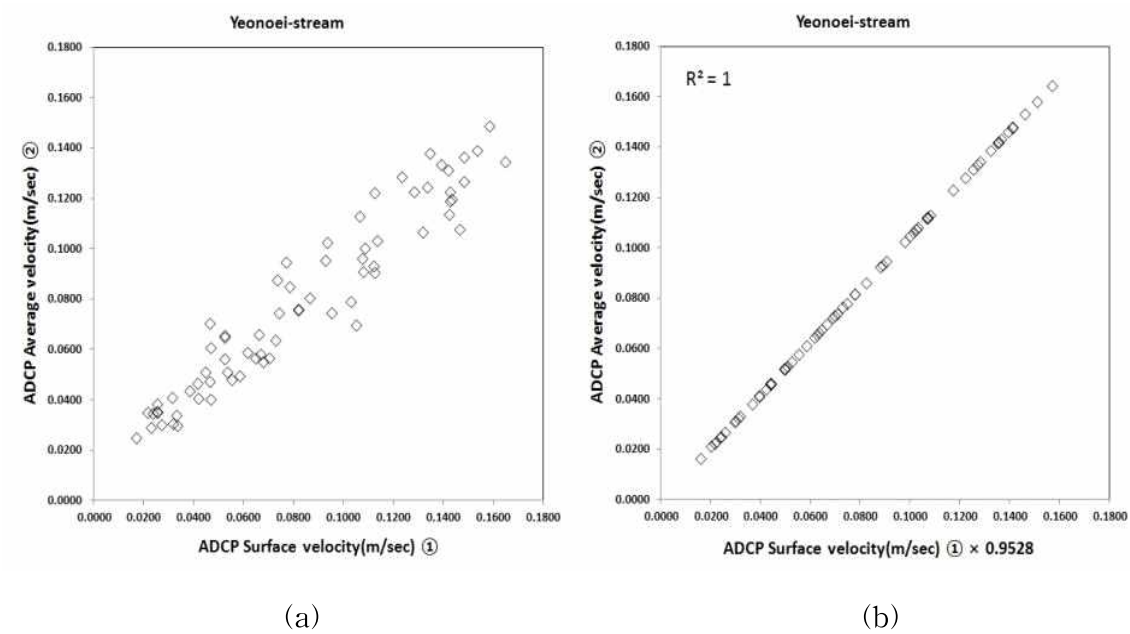


Fig. IV-46. Comparison of the distribution of the surface velocity-average velocity(a) and R^2 result of applying the regression coefficient(Yeonoel-stream)

Table IV-73. Result of the discharge with the regression coefficient applied

No	u_{urf} (m/s) *SIV	u_{surf} *Regression coefficient (m/s)	(m^2)	Discharge (m^3/s)
0	0.0360	0.0343	0.0661	2.27E-03
			0.1405	4.82E-03
1	0.0534	0.0509	0.1832	9.32E-03
			0.2254	1.14E-02
2	0.0634	0.0604	0.2676	1.63E-02
			0.2912	1.75E-02
3	0.0569	0.0542	0.2971	1.61E-02
			0.3031	1.64E-02

4	0.0544	0.0518	0.3091	1.60E-02
			0.3041	1.58E-02
5	0.0609	0.0580	0.2856	1.66E-02
			0.2670	1.55E-02
6	0.0628	0.0598	0.2484	1.49E-02
			0.2299	1.38E-02
7	0.0760	0.0724	0.2275	1.65E-02
			0.2366	1.71E-02
8	0.0818	0.0779	0.2457	1.91E-02
			0.2549	1.99E-02
9	0.0752	0.0716	0.264	1.89E-02
			0.2717	1.95E-02
10	0.0754	0.0718	0.2691	1.93E-02
			0.2645	1.90E-02
11	0.0795	0.0757	0.2600	1.97E-02
			0.2554	1.93E-02
12	0.0693	0.0660	0.2516	1.66E-02
			0.2583	1.71E-02
13	0.0410	0.0391	0.2684	1.05E-02
			0.2784	1.09E-02
14	0.0715	0.0681	0.2891	1.97E-02
			0.3027	2.06E-02
15	0.0620	0.0591	0.3168	1.87E-02
			0.3309	1.95E-02
16	0.0504	0.0480	0.3457	1.66E-02
			0.3670	1.76E-02
17	0.0328	0.0312	0.3899	1.22E-02
			0.4128	1.29E-02
18	0.0325	0.0310	0.4163	1.29E-02
			0.3827	1.18E-02
19	0.0321	0.0306	0.3482	1.06E-02
			0.3136	9.59E-03
20	0.0225	0.0214	0.2675	5.73E-03

			0.1994	4.27E-03
21	0.0209	0.0199	0.1308	2.60E-03
			0.0678	1.35E-03
Total discharge				0.6267

3.3 자연하천의 현장유량 검증

Chiu-2차원 유속분포식에 관계된 하천 매개변수의 추정을 위해 연구대상 하천의 ADCP 실측자료를 활용하였다. 추정된 매개변수의 현장 적용성 확인을 위해 연구대상 하천의 동일 관측지점에서 표면영상유속계(SIV)를 적용하여 유량을 산정하고 동시에 ADCP에 의한 실측유량을 비교·분석하였다. 이 과정에서 표면영상유속계(SIV)로 산정된 각 하천의 표면유속에 기존 수심평균유속환산계수(0.85)를 적용하여 산정한 유량과 실측자료의 표면유속-평균유속의 회귀계수를 적용한 산정유량과 비교·분석하여 오차율을 산정하였다.

[Table IV-74]은 연구대상 하천을 대상으로 4회의 ADCP 실측유량과 평균유량을 나타내며, 각 하천별 관측 유량은 Chiu-2차원 유속분포식과 수심평균유속환산계수(0.85), 표면유속-평균유속 회귀계수를 이용한 산정유량에 비교·검토 목적으로 활용된다. 또한 [Table IV-75]는 [Table IV-74]와 같이 ADCP 실측유량을 기준으로 하천 흐름특성으로 고려한 Chiu-2차원 유속분포식의 산정유량과 기존 수심평균유속환산계수(0.85), 표면유속-평균유속 회귀계수를 적용하여 산정한 유량의 오차율을 나타낸다.

중문천의 ADCP에 의한 실측유량은 평균 0.7348 m^3/s 로 관측되었으며, 표면영상유속계로 분석된 표면유속에 기존 수심평균유속환산계수(0.85)를 적용하여 산정한 유량은 0.6424 m^3/s 로 ADCP 실측유량과 12.57%의 오차율을 나타냈다. 또한 동일한 표면유속에 표면유속-평균유속 회귀계수를 적용하여 산정한 유량은 0.6896 m^3/s 로 산정되었으며 ADCP 실측유량과 오차율은 6.14%를 나타냈다. 중문천의 하천 흐름 특성을 고려한 Chiu-2차원 유속분포식에 의해 산정된 유량은 0.7090 m^3/s 로 산정되었으며 ADCP 실측유량과 오차율은 3.51%를 나타냈다.

강정천 ADCP의 실측유량은 평균 0.6665 m^3/s 로 관측되었으며, 수심평균유속환산

계수(0.85)와 표면유속-평균유속 회귀계수를 적용한 산정유량과 Chiu-2차원 유속분포식의 산정유량은 각각 $0.5758 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.6477 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.6526 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 ADCP 실측유량과 비교 시 13.61%, 2.82%, 2.09%의 오차율을 나타냈다.

약근천의 ADCP에 의한 실측유량은 평균 $0.7323 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 관측되었으며, 수심평균유속환산계수(0.85)와 표면유속-평균유속 회귀계수를 적용한 산정유량과 Chiu-2차원 유속분포식의 산정유량은 각각 $0.5819 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.6755 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.6780 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 ADCP 실측유량과 비교 시 20.53%, 7.74%, 7.41%의 오차율을 나타냈다.

연외천의 ADCP에 의한 실측유량은 평균 $0.6765 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 관측되었으며, 수심평균유속환산계수(0.85)와 표면유속-평균유속 회귀계수를 적용한 산정유량과 Chiu-2차원 유속분포식의 산정유량은 각각 $0.5592 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.6267 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.6404 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 ADCP 실측유량과 비교 시 17.33%, 7.36%, 5.33%의 오차율을 나타냈다.

연구대상 하천의 ADCP 실측유량과 표면영상유속계로 분석된 표면유속을 Chiu-2차원 유속분포식에 적용하여 산정한 유량과의 오차율은 평균 4.58%를 나타냈으며, 기존 수심평균유속환산계수(0.85)를 적용한 산정유량과 표면유속-평균유속 회귀식을 적용한 오차율은 각각 평균 16.01%, 6.02%로 분석되었어 다른 유량산정방법에 비해 하천의 흐름특성을 고려한 유속분포식의 산정유량이 가장 작은 오차율을 나타냈다. 특히 기존 수심평균유속환산계수(0.85)를 적용한 산정유량이 평균 16.01%를 나타내고 있으므로 일률적인 수심평균환산계수(0.85)의 적용은 지양할 필요가 있으며 하천 흐름특성과 유속분포를 고려한 유속분포식을 적용할 필요가 있다.

Table IV-74. Comparison of ADCP discharge, depth-averaged velocity conversion factor(0.85) and regression coefficient calculated discharge

Observation point	ADCP		Using	Using	Using *Chiu Discharge (m^3/sec)
	Discharge (m^3/sec)	Average Discharge (m^3/sec)	*0.85 Discharge (m^3/sec)	*coefficient Discharge (m^3/sec)	
Jungmun -stream	0.681				
	0.746				
	0.780	0.7348	0.6424	0.6896	0.7090
	0.732				
Gangjung	0.615	0.6665	0.5758	0.6477	0.6526

	0.766				
-stream	0.676				
	0.609				
Akgeun	0.733				
-stream	0.764	0.7323	0.5819	0.6755	0.6780
	0.648				
	0.784				
Yenoiei	0.625				
-stream	0.677	0.6765	0.5592	70.6267	0.6404
	0.758				
	0.646				

Table IV-75. Comparison of error rate of estimation discharge

Observation point	Discharge error rate		
	ADCP / *0.85	ADCP / *Regresson coefficient	ADCP / *Chiu
Jungmun -stream	12.57%	6.14%	3.51%
Gangjung -stream	13.61%	2.82%	2.09%
Akgeun -stream	20.53%	7.74%	7.41%
Yenoiei -stream	17.33%	7.36%	5.33%

V. 결 론

제주도 상시하천인 중문천, 강정천, 악근천, 연외천을 대상으로 2011년 7월부터 2015년 6월까지 ADCP에 의한 실측 유속자료를 이용하여 Chiu-2차원 유속분포에 관여하는 매개변수를 추정하고 검증하였다. 또한, 유속분포식과 기존 수심평균환산계수(0.85) 및 ADCP 실측에 의한 표면유속과 평균유속 회귀계수에 의한 산정유량을 분석한 결과는 다음과 같다.

(1) ADCP에 의한 단면평균 유속분포를 분석하고 Chiu-2차원 유속분포식의 매개변수를 산정한 결과는 중문천의 엔트로피계수(M)가 3.1136, 강정천 3.3459, 악근천 2.7413, 연외천 3.597, 등유속선 형상 매개변수(ξ_{surf})는 중문천 0.4620, 강정천 0.4375, 악근천 0.4124, 연외천 0.4200로 나타났다.

(2) 엔트로피 계수(M)의 유량 민감도는 연구대상 하천 모두 1~10 사이의 범위 중 1~2사이의 입력범위 내에서 유량변화율이 약 19%, 등유속선 형상 매개변수(ξ_{surf})의 유량 민감도는 입력범위 0.1~1.0 중 0.1~0.2사이의 입력범위 내에서 유량변화율 약 47%로서 가장 크게 나타났다.

(3) ADCP 실측자료에 의한 하천별 최대유속(u_{max})과 평균유속(u)을 분석하고 엔트로피 계수(M)와 등유속선 형상 매개변수(ξ_{surf})를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용한 결과, 유속분포식에 의해 산정된 표면유속(u_{surf})과 ADCP의 표면유속과의 r^2 는 중문천 0.9267, 강정천 0.9242, 악근천 0.8677, 연외천 0.8988로서 매우 높은 상관성을 보였다.

(4) ADCP 유속자료에 의한 유량과 기존 수심평균유속환산계수(0.85)를 적용한 산정유량의 오차율은 평균 16.01%, 표면유속-평균유속 회귀계수를 적용한 산정유량과 오차율은 평균 6.02%, Chiu-2차원 유속분포식을 적용한 산정유량과의 오차율은 평

균 4.58%로서 비교적 작게 나타났다.

(5) 비접촉식 유속계에 의한 표면유속을 평균유속으로 산정 시 적용방법에 따른 오차율은 국내 내륙지역의 대하천에 적용할 경우 더 크게 나타날 수 있다. 따라서 표면유속에 의한 유량산정 시 기존의 일률적인 수심평균환산계수(0.85)의 적용은 지양하고, 하천의 흐름특성과 유속분포를 고려한 유속분포식이 활용되어야 보다 정밀한 유량을 산정할 수 있다.

향후 자연하천에서 홍수유출시 난류성 흐름특성과 관련한 매개변수 추정과정과 홍수량산정에 대한 연구와 독립된 하천의 흐름특성 및 유속분포에 관계되는 매개변수의 정량화에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

- OECD, 2008, OECD Environmental Outlook to 2030
- Chiu, C-L., 1987, Entropy and probability concepts in Hydraulics, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 113, No. 5, pp. 583-599
- Chiu, C-L., 1988, Entropy and 2-D velocity distribution in open channels, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 10, pp. 738-756
- Chiu, C-L., 1989, Velocity distribution in open channel flow, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 115, No. 5, pp. 576-594
- Chiu, C-L., and Chiou, J-D., 1986, Structure of 3-D flow in rectangular open channels, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 112(11), pp.1050-1068
- Chiu, C-L., and Lin, G-F., 1983, Computation of 3-D flow and shear in open channels, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 109(11), pp.1424-1440
- Chiu, C-L., Lin, G-F., and Lu, J-M., 1993, Application of probability and entropy concepts in pipe-flow study, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 119(6), pp. 742-756
- Chiu, C-L., and Murray, D. W., 1992, Variation of velocity distribution along nonuniform open- channel flow, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 7, pp. 989-1001
- Chiu, C-L., and Said, C. A. A., 1995, Maximum and mean velocities and entropy in open-channel flow, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 121, No. 1, pp. 26-35
- Chiu, C-L., and Tung, N-C., 2002, Maximum velocity and regularities in open-channel flow.” Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 128, No. 4, pp. 390-398
- Chow, V. T., 1959, Open-Channel Hydraulics. McGraw Hill. Singapore,

pp.24-34

- Aya, s., Fujita, I., and Yagyu, M., 1995, Field-observation of flood in a river by video image analysis, Annual J. of Hydraulic Engineering, JSCE, 39, 447
- Ettema, R., Fujita, I., Muste, M., and Kruger, A., 1997, Particle image velocimetry for whole-field measurement of ice velocities, Cold Regions Science and Technology Journal, 26(2). 97-112
- Fujita, I. and Komira, S. 1994, Application of Image Analysis for Measurement of River-Surface Flow, roc. of Hydraulic Engineering, JSCE, vol.38, 733-738
- Fujita, I. and Muste, M. and Kruger, A. 1998, Large-Scale Particle Image Velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications, Journal of hydraulic Reserch, IAHR, vol.36, no.3
- Fujita, I., and Komura, S., 1994, Application of video image analysis for measurements of river surface flows, Proc. of Hydraulic Engineering, JSCE, 38, 733-738
- Kinoshita, R., 1984, Present status and future prospects of river flow analysis by aerial photography, Proc. of JSCE, NO.345-II-1, 1-19
- Leese, L. A., Novak, C. S., and Clark, B. B., 1971, An automated technique for obtaining cloud motion from geosynchronous satellite data using cross correlation, J. of Applied Meteorology, 10(2), 118-132
- Lee, J. S., and Julien, P. Y., 2006, Electromagnetic Wave Surface Velocimetry, Journal of Hydraulic Engineering, 132(2), 146-153
- Muste, M., Bradley, A. A., Kruger, A., and Meselhe, E., 2002, Flow measurement in streams using video imagery, Water Resources Research, 38(12), 1315
- Muste, M., Gonzalez-Castro, J. A., Yu, K., Kim, D., 2007, Accuracy of ADCP

discharge measurements for rating of flow-control structures, IIHR report, IIHR-Hydroscience & Engineering, The University of Iowa, Iowa City, IA

- Jeju development institute, 2009, The hydrologic and water quality characteristics analysis for the streamwater application in Jeju island, 2009-11, p.98
- RDI, 1996, Acoustic Doppler Current Profilers-Principle of operation, a practical primer. San Diego, CA, Instruments
- SonTek, 2010, Doppler Velocity Log for ROV/AUV Applications, SonTek Newsletter, 6(1), SonTek, SanDiego, CA
- 제주시, 2001, 지방2급 하천정비기본계획 보고서
- 제주시, 2009, 한천 외 3개 하천기본계획 보고서
- 제주발전연구원, 2012, 제주상수도 50년 보고서
- 제주특별자치도, 2014, 제주특별자치도 풍수해저감종합계획 보고서
- 김남길, 2010, 표면영상유속계를 이용한 하천의 유속측정 기술 개발, 동의대학교 박사학위 논문
- 김동수, 강부식, 2011, ADCP 자료의 공간평균을 이용한 평균유속장 산정에 대한 검증, 한국환경과학회지, 20(1), 107-118
- 김동수, 양성기, 김수정, 이준호, 2015, 지표유속법 기반 제주 산지형 하천 Kalesto 유량 정확도 향상 기법, 한국환경과학회지, 24(4), 371-381
- 김동수, 양성기, 정우열, 2014, 산지하천의 전자파 표면유속 측정에 기반한 유량 및 유속 관측 오차 분석, 한국환경과학회, 23(4), pp. 543-552
- 김동수, 강부식, 2011, ADCP 자료의 공간평균을 이용한 평균유속장 산정에 대한 검증, 한국환경과학회지, 20(1), 107-118
- 김치영, 노영신, 차준호, 2016, 유량조사에서의 첨단기술 및 적용 현황, 대한토목학회지, 6(435), 29-33
- 김미영, 이영호, 서민식, 1999, 해류표면의 속도계측을 위한 SF-PIV의 개발, 한

국해양환경공학회논문집, 155-160

- 김서준, 류권규, 윤병만, 2011, 고정식 표면영상유속계(FSIV)를 이용한 실시간 하천 유량산정, 한국수자원학회논문집, 44(5), 377-388
- 김서준, 2008, 표면영상유속계를 이용한 유량측정기법의 정확도분석, 명지대학교 대학원 석사학위논문, 10-22
- 김 원, 윤광석, 이을래, 김치영, 김동구, 차준호, 박은희, 2004, 하천 유량측정 지침, 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단, 20-24
- 김영근, 2003, LSPIV를 이용한 표면유속 측정, 명지대학교 석사학위 논문
- 김영성, 양재린, 2007, LSPIV 적용시 물표면과 카메라 사이의 촬영각도에 따른 상관계수의 변화양상 분석, 제33회 대한토목학회 정기 학술대회, 2556-2559
- 김영성, 이현석, 2011, 전자파표면유속계의 성능개선 및 실용화, 한국수자원학회 2011년도학술발표회
- 김원, 김치영, 김동구, 이찬주, 황석환, 2005, 수치모형을 이용한 수위-유량관계 개발, 한국수자원학회, 2005(1), 319-323
- 김영성, 양재린, 추태호, 고익환, 2002, 표면유속을 이용한 하천유량 측정기법 개선, 한국수자원학회, 940-945
- 김영성, 양재린, 추태호, 고익환, 김우구, 2001, 엔트로피를 이용한 유량측정기법의 국내하천에의 적용, 대한토목학회, 1-4
- 김지성, 김원, 김동구, 김치영, 2009, 수치모형을 이용한 고리형 수위-유량 관계 분석, 대한토목학회, 29(1B), 1-9
- 김창완, 이민호, 정상화, 민인홍, 2004, 초음파유량계를 이용한 실시간 하천유량 측정, 한국수자원학회, 220-224
- 김창완, 이민호, 정상화, 김기정, 2007a, 실시간 자동유량관측 시스템 개발, 한국수자원학회, 551-555
- 김창완, 이민호, 정성원, 유동훈, 2007b, 자연하천에서 무차원 유속분포-지표유속 법을 이용한 유량산정, 한국수자원학회, 855-859

- 김창완, 이민호, 유동훈, 정성원, 2008, 자연하천에서 Chiu의 유속분포와 최대유속 추정을 이용한 유량산정, 한국수자원학회논문집, 41(6), pp. 575-585
- 김치영, 김원, 이을래, 2002, 유속면적법에 필요한 유속측정 시간 산정, 대한토목학회, 441-444
- 김치영, 윤광석, 김동구, 김원, 2004a, 초음파 유량측정 시스템에 의한 유량측정, 한국수자원학회, 1198-1202
- 김치영, 김원, 김동구, 2004b, 한 측선에서 제한된 측정수에 따른 불확실도, 대한토목학회학술발표회논문집, 대한토목학회, 3384-3389
- 김치영, 김원, 이찬주, 김동구, 2006, 유속지수법을 이용한 자동유량측정, 한국수자원학회학술발표회논문집, 한국수자원학회, 242-246
- 김치영, 김원, 이찬주, 김동구, 2007a, 수위-유량관계법과 유속지수법에 의한 유량환산법 비교, 대한토목학회학술발표회논문집, 대한토목학회, 2609-2612
- 김치영, 김원, 이찬주, 황석환, 2007b, 실측자료를 이용한 고리형 수위-유량관계 특성 분석, 대한토목학회학술발표회논문집, 대한토목학회, 1301-1304
- 김치영, 노영신, 차준호, 2016, 유량조사에서의 첨단기술 및 적용 현황, 대한토목학회지, 64(6), 29-33
- 과학기술부, 2007, 지표수 조사 시스템 적용
- 노영신, 윤병만, 김영근, 류권규, 2002, 개수로 실험장치를 이용한 LSPIV, 한국수자원학회 2002년도 학술발표회 논문집(II), 982-988
- 노영신, 윤병만, 류권규, 2005, 표면유속을 이용한 평균유속 추정방법의 개발, 한국수자원학회논문집, 38(11), 917-925
- 류권규, 김동수, 윤병만, 2005, 상호상관 PIV기법을 위한 빠르고 정확한 FFT 알고리즘의 개발, 한국수자원학회논문집, 38(10), 851-859.
- 류권규, 윤병만, 김주황, 2006, LSIV를 위한 흔들리는 영상의 보정 알고리즘의 개발, 한국수자원학회 학술발표대회, 205
- 뮤트로닉스, 2010, 평갈수용 전자파표면유속계, 특허출원 10-2010-89895

- 변창구, 1999, 제주도 수자원의 효율적인 이용방안 연구, 제주대학교 산업대학원 석사학위논문, 2-3
- 양성기, 김동수, 류권규, 강명수, 정우열, 이준호, 김용석, 유호준, 2012, 전자파와 수표면 영상을 이용한 산지하천 홍수유량 및 유속 계측 비교연구, 한국환경과학회지, 21(6), 739-747
- 양성기, 김동수, 정우열, 류권규, 2011, 다양한 첨단 유량계측기기를 활용한 제주도 하천 유출 비교 분석, 한국환경과학회지, 20(6), 738-788
- 양성기, 2007, 제주도의 하천관리와 개선방안, 하천과 문화, 한국하천협회, 3(4), 104-115
- 양성기, 김동수, 2015, 제주형 하천유출 관측의 신시대
- 양성기, 2007, 제주도의 하천관리와 개선방안, 하천과 문화, 3(4), 105-115
- 양성기, 김동수, 정우열, 2014, 선행강우를 고려한 제주하천 유출특성 분석, 한국환경과학회, 23(4), 553-560
- 이상호, 김우구, 김영성, 1997, 전자파 표면유속계의 하천 유량 측정에 관한 실용성, 한국수자원학회, 30(6), 671-678
- 윤병만, 류권규, 노영신, 2001, PIV의 수리학 분야에의 적용, 명지대 산업기술연구소 논문집, vol. 20, 761-766
- 윤병만, 2003, LSPIV 기법의 개요 및 응용 분야, 한국가시화정보학회지, 1(2), 13-16
- 박재영, 오병동, 전선미, 김재복, 2006, The Development of the Automatic Discharge Acquisition & Management System(ADAMS) using Ubiquitous Technique, 한국수자원학회학술발표논문집, 한국수자원학회, 488-493
- 수문수자원학회, 2010, 하천유량관측의 신시대(하천유량관측고도화연구회 편)
- 오제승, 김병식, 김형수, 서병하, 2005, 홍수량 추정을 위한 유량 산정 기법에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 25(3B), 207-213
- 이민호, 김창완, 유동훈, 2009, 자동유량측정에 의한 한강대교 조석영향 분석, 한

국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 42(7), 513-523

- 이을래, 김원, 2003, 수리학적 영향인자에 의한 수위-유량관계 곡선의 분석, 대한토목학회학술발표회논문집, 대한토목학회, 175-178
- 이찬주, 김원, 김동구, 김치영, 2005, ADCP를 이용한 유속과 유량 측정, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 38(10), 811-824
- 이찬주, 김원, 김동구, 김치영, 2005, ADCP를 이용한 유속과 유량 측정, 한국수자원학회논문집, 38(10), 811-824
- 이찬주, 서일원, 김창완, 김원, 2007, Chiu가 제안한 2차원 유속분포식의 자연하천 적용성 분석, 한국수자원학회논문집, 40(12), 957-968
- 우효섭, 2001, 하천수리학. 청문각.
- 유지우, 2005, 중국 수문관측 현황 및 발전 방향, 한국수자원학회지, 38(5), 34-43
- 윤용남, 2007, 수문학, 청문각
- 이동훈, 2012, 유출분석을 위한 소유역 분할에 대한 연구, 아주대학교 대학원 공학석사학위 논문, 14-20.
- 원유승, 2007, 지표수와 지하수를 연계한 장기 강우-유출 모형의 개발, 아주대학교 일반대학원 박사학위 논문
- 정종호, 윤용남, 2007, 수자원설계실무, 구미서관
- 추태호, 1999a, 엔트로피 개념에 의한 유량측정 기법(최대유속을 중심으로), 1999년 한국수자원학회학술발표회논문집, 한국수자원학회, 599-606
- 추태호, 1999b, 엔트로피 개념에 의한 유량측정 기법(표면유속을 이용한 평균유속공식 개발, 1999년 한국수자원학회학술발표회논문집, 한국수자원학회, 607-612
- 추태호, 2002a, 엔트로피 개념에 의한 유량측정 기법(I) - 최대유속을 중심으로 -, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 22(4B), 495-505
- 추태호, 2002b, 엔트로피 개념에 의한 유량측정 기법(II) - 표면유속을 중심으로 -. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 22(4B), 507-515

- 추태호, 2002c, 낙동강 하구둑 방류량 산정방법 개선연구-엔트로피 개념에 의한 유량 측정방법 적용, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 22(4B), pp. 485-494
- 추태호, 이상진, 박상우, 오륜수, 2009, 하천 수리특성을 고려한 확률론적 유속공식에 의한 하천유량 산정, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 29(6B), 537-542

