

# 형산강유역에서 저수지 고려에 따른 유출특성 연구

## A Study on Runoff Characteristics by a Reservoir in Hyungsan River Basin

송인렬\*, 정찬용\*\*, 민경훈\*\*\*, 정성원\*\*\*\*

In Ryeol Song, Chan Yong Jung, Gyeong Hun Min, Sung Won Jung

### 요 지

2007년 현재 농업기반시설관리시스템에 등록·관리되고 있는 저수지는 3,319개소로서 총 저수량은 2,795백만 $m^3$ , 유효저수량 2,448백만 $m^3$ , 유역면적 1,431천ha이고 수혜면적은 392천ha이다. 용수원 중 저수지 유효저수량이 약 93%이다(한국농촌공사, 2008). 또한 2004년 기준 총 3,328개의 저수지 중 홍수조절용 게이트가 설치된 저수지는 28개소로서 대부분 자연유하식 물넘이를 통하여 홍수량을 배제할 수밖에 없어 집중호우나 폭우를 감당하기에는 구조적으로 취약한 실정이다. 따라서 현재 운영 중인 저수지는 가뭄 대비 용수확보의 기능도 홍수시 홍수배제 능력도 부족한 현실이다(김필식, 2009). 본 연구에서는 형산강 유역에 위치한 수위관측소 지점에 대해 저수지 고려유무에 따른 유출특성 분석을 실시하였다. 먼저 형산강 유역에 위치한 저수지 유역면적을 검토한 결과 형산강 전체 유역면적대비 51.23%를 차지하는 것으로 나타났으며, 형산강 본류에 위치한 경주2, 모아, 안강 지점의 유출률은 저수지 유역면적을 고려하지 않았을 경우 각각 30.1%, 38.9%, 34.2%로 분석되었고 저수지 면적을 고려하였을 경우 각각 37.2%, 50.2%, 45.1%로 분석되었다. 결과적으로 형산강 유역에서 저수지 유역면적이 전체 유역면적의 50% 이상을 차지하고 있으며 저수지를 고려한 유출률은 저수지 유역면적을 배제한 유출률에 비해 7.06%~11.22%의 높은 유출특성을 보이는 것으로 분석되었다.

**핵심용어 : 농업용저수지, 유출율, 유량측정**

### 1. 서론

한국의 경우 국토의 약 70%가 산지이고 지형이 비교적 험하며 강우의 유출이 빨라 토지의 보수력이 낮다. 따라서 농업용 저수지는 농업용수 확보를 위한 중요한 시설물이자 수단이 된다(박삼규 등, 2002). 현재 한국에 축조되어 있는 농업용 저수지들 중 상당수는 축조된지 50년 이상으로 대부분 노후화 된 실정이며(홍병만, 2004) 대부분의 농업용 저수지의 관개규모가 100ha(0.01 $km^2$ )이하의 소규모 저수지이다.

2007년 현재 농업기반시설관리시스템에 등록·관리되고 있는 저수지는 3,319개소로서 총 저수량은 2,795백만 $m^3$ , 유효저수량 2,448백만 $m^3$ , 유역면적 1,431천ha이고 수혜면적은 392천ha이다. 용수원 중 저수지 유효저수량이 약 93%이다(한국농촌공사, 2008). 또한 2004년 기준 총 3,328개의 저수지 중 홍수조절용 게이트가 설치된 저수지는 28개소로서 대부분 자연유하식 물넘이를 통하여 홍수량을 배제할 수밖에 없어 집중호우나 폭우를 감당하기에는 구조적으로 취약한 실정이다. 따라서 현재 운영 중인 저수지는 가뭄 대비 용수확보의 기능도 홍수시 홍수배제 능력도 부족한 현실이다(김필식, 2009).

본 연구에서는 형산강 유역에 위치한 국토해양부 수위관측소인 경주2, 모아, 기계2, 안강 지점에 대한 유량측정을 실시하였으며 저수지(한국농어촌공사, 국토해양부 국가 수자원관리 종합정보시스템) 고려유무에 따

\* 정희원 · 유량조사사업단 연구원 · E-mail : songir@hsc.re.kr

\*\* 정희원 · 유량조사사업단 연구원 · E-mail : cyjung@hsc.re.kr

\*\*\* 비희원 · 유량조사사업단 연구조원 · E-mail : wslid@hsc.re.kr

\*\*\*\* 정희원 · 유량조사사업단 단장 · E-mail : swjung@hsc.re.kr

른 유출특성 분석을 실시하였다.

## 2. 본론

### 2.1 대상유역

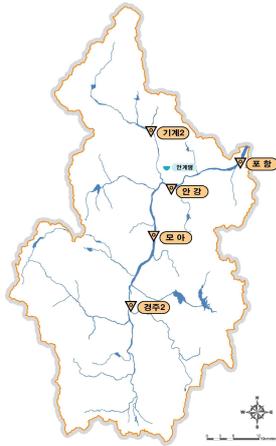


그림 2.1 대상유역

형산강 유역은 한반도 남동부(동경 129°01' ~ 129°25', 북위 35°40' ~ 36°12')에 위치하여 서쪽으로 낙동강, 남쪽으로 태화강, 동쪽과 북쪽으로 동해안에 접하는 작은 유역들과 경계를 이루고 있다.

형산강은 경상남북도의 도계 남쪽에 위치한 해발 901m의 백운산과 그 동편에 위치한 해발 765m의 치슬령의 두 곳에서 발원하여 경상북도 도계에서 합류한 후 35.0km를 북류하면서 좌측으로부터 이조천, 대천, 소현천, 칠평천이 유입되고 우측으로부터는 남천, 북천을 유입 시키고 경주시 강동면의 제2강동대교에 이르러 유역의 북단에서 남류한 기계천과 합류한 후 유로를 동쪽으로 바꾸어 14.5km 유하하여 포항시 남구 해도동에서 동해안의 영일만으로 유입된다.

유역의 요소를 살펴보면 유역면적은 1,166.8km<sup>2</sup>이고 유로연장은 62.2km이며 이중 경주시 탑정동의 대천 합류점에서 하구인 경북 포항시 남구 해도동의 해안선까지 36.0km가 국가하천 구간으로 되어있다.

유역의 행정구역은 경북과 경남의 2개도로 되어 있으며, 경북의 3개시와 경남의 1개시가 포함된다. 본 연구에서는 그림 2.1과 같이 형산강 본류에 위치한 국토해양부 수위관측소인 경주2, 모아, 안강 지점과 지류에 위치한 기계천의 기계2 지점에 대해 2009년 유량측정을 실시하였으며 그 결과를 토대로 유출분석을 실시하였다.

### 2.2 수위-유량관계곡선식 개발

형산강유역의 4개 지점에 대한 유량측정성과 단면자료 및 통계특성 등을 종합적으로 이용하여 수위-유량관계곡선식을 개발하였으며 지점별 수위-유량관계곡선식은 표 2.1과 같다.

표 2.1 지점별 수위-유량관계곡선식

지 점	적용 수위 (m)	수위-유량관계곡선식	이용자료 연도/자료수	비 고	
경주2	0.47 ≤ h ≤ 0.73	$Q = 456.903 \times (h - 0.470)^{3.938}$	2009/42	0.58m 이하 외삽	전 기간
	0.73 < h ≤ 2.37	$Q = 98.695 \times (h - 0.530)^{2.344}$		2.15m 이상 외삽	09/01/01 00:00 ~ 09/07/08 00:00
	2.37 < h ≤ 3.58	$Q = 150.310 \times (h - 0.630)^{1.821}$		2.15m 이상 외삽	09/07/08 00:10 ~ 09/12/31 23:50
	0.73 < h ≤ 3.58	$Q = 150.310 \times (h - 0.630)^{1.821}$			전 기간
	3.58 < h ≤ 6.94	$Q = 108.397 \times (h - 0.940)^{2.366}$			고수위 외삽추정식
모 아 <sup>주)</sup>	0.66 ≤ h ≤ 0.86	$Q = 2.540 \times (h - 0.660)^{2.915}$	2004/ 6 2008/ 5 2009/43	저수위 외삽추정식	보 폐쇄
	0.86 < h ≤ 1.59	$Q = 771.399 \times (h - 0.850)^{2.260}$		0.90m 이하 외삽	
	-0.06 ≤ h ≤ 0.95	$Q = 3.883 \times (h + 0.060)^{1.505}$		0.49m 이하 외삽	보 개방
	0.95 < h ≤ 1.59	$Q = 771.399 \times (h - 0.850)^{2.260}$		3.69m 이상 외삽	전 기간
	1.59 < h ≤ 6.83	$Q = 339.830 \times (h - 0.500)^{1.616}$			
기계2 (H=h+2)	0.60 ≤ H ≤ 1.11	$Q = 0.102 \times (H - 0.600)^{1.650}$	2009/35	0.91m 이하 외삽	전 기간
	1.11 < H ≤ 1.68	$Q = 0.145 \times (H - 0.500)^{2.956}$		2.40m 이상 외삽	
	1.68 < H ≤ 3.08	$Q = 43.461 \times (H - 1.500)^{3.040}$			
	3.08 < H ≤ 6.10	$Q = 152.708 \times (H - 2.000)^{1.740}$			
안 강	1.20 ≤ h ≤ 1.46	$Q = 1.144 \times (h - 1.200)^{2.850}$	2008/10 2009/23	저수위 외삽추정식	전 기간
	1.46 < h ≤ 1.88	$Q = 707.607 \times (h - 1.430)^{2.928}$		1.57m 이하 외삽	
	1.88 < h ≤ 9.23	$Q = 237.842 \times (h - 1.400)^{1.700}$		2.87m 이상 외삽	

### 2.3 형산강유역의 저수지 현황

대상 지점에 대한 유출분석을 위해 수위-유량관계곡선식에 의한 연유출량을 산정하고 유입량 계산에 필요한 유역면적 검토에 있어 형산강 유역에 위치한 저수지 자료에 대한 조사를 실시하였으며 저수지에 대한 자료는 한국농어촌공사(<http://rims.ekr.or.kr/>)와 국가수자원관리종합정보시스템(<http://wamis.go.kr/>)에서 제공되는 자료를 토대로 위성사진 검토와 현장조사를 통해 저수지 및 댐에 대한 정보를 수집하였다.

2004년 기준 총 3,328개의 저수지 중 홍수조절용 게이트가 설치된 저수지는 28개소이고 대부분 자연유하식 물넘이를 통하여 유출이 발생하는 것으로 나타났으며(김필식 등, 2009) 형산강 유역의 경우 저수지 개수는 88개가 존재하고 표 2.2 및 그림 2.2에서 보는 바와 같이 안계댐 포함 저수지가 차지하는 유역면적이 형산강 전체 유역면적 대비 51.23%를 보이고 있다. 따라서 형산강 유역에 위치한 전체 저수지는 게이트가 없는 자연유하식 물넘이 형태로 이루어진 것으로 가정하고 3분기를 제외한 전 기간에는 저수지 유역내로 저류되어 유출이 발생하지 않을 것으로 판단하여 저수지를 고려한 유출분석을 실시하였다.

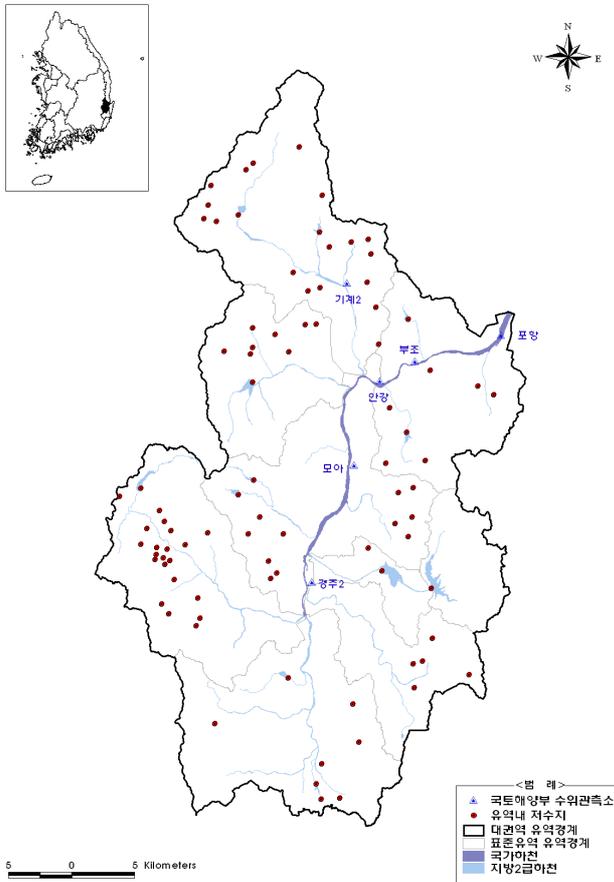


표 2.2 지점별 저수지 고려유무에 따른 유역면적

지 점	총 유역면적 (km <sup>2</sup> )	지점 상류 저수지 유역면적 (km <sup>2</sup> )	순 유역면적 (km <sup>2</sup> )	저수지 유역면적 비율(%)
경주2	443.34	169.35	273.99	38.20
모아	646.28	297.3	348.98	46.00
기계2	156.12	99.51	56.61	63.74
안강	907.57	458.93	448.64	50.57
포항	1,044.11	543.90	509.21	51.23

그림 2.2 형산강 유역 저수지 위치도

## 3. 분석

### 3.1 유량환산

수자원 분야에서 유출을 검토하기 위해서는 수위자료가 아닌 유량자료를 이용하여 해당 분석을 수행하게 된다. 따라서 정도 높은 유량자료의 확보는 수자원 분야의 연구와 실무에 있어 대단히 중요한 문제이다. 수위자료와는 달리 유량자료의 경우 연속적으로 측정하는 것은 예산과 장비 측면에서 현실적으로 어려운 문

제이프로 연속자료 생성이 상대적으로 용이한 수위자료에 대한 관측을 수행한 후 이를 수위-유량관계에 적용하여 유량자료를 산정하게 된다.

유량환산을 위해 수위자료를 수집하여 이상치 여부를 검토하였다. 검토 결과 지점별로 일부 기간 결측 또는 자료 이상이 발견되었으나, 제한된 정보와 시간의 제약으로 수위자료의 처리는 수행되지 못하였다. 다만, 개발된 수위-유량관계곡선식의 적절성을 평가하기 위한 유출비교를 위해 수위자료 중 명백한 이상치로 판단되는 경우에만 정상적인 수문곡선의 경향을 고려하여 수위자료 일부를 보정하였다. 또한, 형산강유역에 대한 수위자료 및 유량자료를 검토하였으며 계측된 수위자료는 결측 및 계측오류구간 등의 명백한 이상유무가 판단되는 경우에만 계기수위와 목자관수위의 비교 및 상하류 수위곡선의 타당성 검토를 통해 각 지점간 상하류 수위와의 상관관계를 이용한 대응수위를 사용하여 수위보정을 실시하였다. 이러한 방법으로 수위검토 후 유량환산을 실시하여 연유출량을 산정하였다.

### 3.2 유출평가

산정된 유량의 적정성을 평가하기 위한 지표 중의 하나는 지점별 연간 유출률을 검토하는 것이다. 유출률은 강우량에 따라 지배되기 때문에 신뢰성 있는 유출률을 산정하고 평가하기 위해서는 대상유역을 대표할 수 있는 강우자료를 사용하는 것이 중요하다. 따라서 2009년 형산강유역에 대한 유역평균우량산정에는 강우자료의 평가가 우선시 되어야 하며 본 연구에서는 국내에 적용 가능한 강우관측소를 토대로 대상유역에 산재되어 있는 기상청 및 국토해양부가 관리하는 우량관측소를 선별하여 우량계측망을 선정하였다.

국토해양부 우량자료는 무인관측 특성상 동절기 결빙과 융설로 강수가 정상적으로 계측되지 않으므로 연강우량을 사용하는데 결측구간에 따른 오차가 발생한다. 특히 산간지역의 경우 표고분포에 따라서 강설 및 융설의 발생시기가 다르기 때문에 국토해양부 우량자료의 사용에 주의가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 우량관측망의 지배면적비를 사용하는 Thiessen 면적가중평균법을 사용하여 유역평균우량을 산출하여 산술평균우량법과 비교 및 검토하였다. 형산강 유역의 과업 대상인 4개 지점의 우량관측소현황 및 티센계수는 표 3.1과 같다.

표 3.1 우량관측소 현황 및 티센계수

지 점	우량관측소	티센계수				
		영천	울산	포항	계	
형 산 강	경주2	영천, 울산, 포항	0.41	0.53	0.06	1.00
	모 아	영천, 울산, 포항	0.36	0.36	0.28	1.00
	기계2	영천, 포항	0.17	-	0.83	1.00
	안 강	영천, 울산, 포항	0.32	0.23	0.45	1.00

형산강 유역은 안강 지점의 상류인 기계천에 안계댐이 위치하고 안계댐은 영천댐의 조절지 댐의 역할을 하고 있으며 포항시와 포항제철에 생·공업용수를 공급하고 있다. 또한 안계댐은 댐방류량이 존재하지 않고 발전시설 및 홍수조절 기능이 없어 형산강 유역에 영향을 주지 않는 것으로 판단하여 댐 고려에 대한 유출 분석은 실시하지 않았다.

수위관측소 유역면적은 한국수문조사연보(국토교통부, 2008)에 제시된 자료를 이용하였으며 유출률은 해당 지점에서 산정된 유량을 유역면적으로 나눠 산정된 유출고를 유역평균우량으로 나눈 값으로 장기간의 강우 대비 유출특성을 파악하는 지표로 사용된다. 유출률 산정에는 정상적인 수위거동을 보이지 않거나 결측기간의 유량은 유출률 산정에서 제외하였으며 지점별 유출검토를 표 3.3에 제시하였다.

전반적으로 지점별 계기수위 결측기간과 모아 지점의 보 개방 정도에 따른 일부 기간의 부정확한 환산유량을 제외하면 형산강 유역의 유출률 및 유량환산은 적절하게 산정되었다고 판단된다.

표 3.2 모아 지점 유출평가에서 제외된 기간

지 점	유출평가에서 제외된 기간	원인
모 아	2009.04.07. 17:00~2009.04.10. 19:00	수문 폐쇄 시기
	2009.05.21. 15:00~2009.05.21. 16:00	"
	2009.06.05. 12:00~2009.06.05. 20:00	수문 개방 시기
	2009.06.20. 20:00~2009.06.22. 22:00	수문 폐쇄 시기
	2009.11.19. 12:00	수문 부분개방 시기
	2009.11.20. 07:00	수문 부분개방 시기
	2009.11.27. 14:00~2009.12.03. 19:00	수문 폐쇄 시기
	2009.12.23. 18:00~2009.12.18.080:00	수문 개방 및 폐쇄 시기

표 3.3 지점별 유출검토

지 점	저수지 미고려				저수지 고려			비 고	
	유역면적 (km <sup>2</sup> )	유역 평균우량 (mm)	유출고 (mm)	유출률 (%)	유역면적 (km <sup>2</sup> )	유출고 (mm)	유출률 (%)		
형 산 강	경주2	443.3	1,009.0	304.0	30.1	274.0	492.0	37.2	2009.1.1~2009.12.31
	모 아	646.3	967.9	376.8	38.9	349.0	697.7	72.1	표 6.19 참조
	기계2	156.1	882.3	147.9	16.8	56.6	408.0	23.7	2009.1.1~2009.12.31
	안 강	907.6	936.4	320.6	34.2	448.6	402.5	45.1	2009.1.1~2009.12.31

5. 결과

본 연구에서는 형산강 유역에 위치한 저수지 고려유무에 따른 유출특성 분석을 실시하였다. 분석에 있어 먼저, 형산강 유역에 위치한 국토해양부 수위관측소인 경주2, 모아, 기계2, 안강 지점에 대해 2009년 유량측정을 실시하였으며 측정결과를 토대로 수위-유량관계곡선식을 개발하여 년 총유출량을 산정하였다. 산정된 유량의 적정성을 평가하기 위한 지표 중의 하나인 유출률 검토를 위해 형산강 유역에 위치한 저수지 유역면적을 검토한 결과 형산강 전체 유역면적대비 51.23%를 차지하는 것으로 나타났으며 형산강 본류에 위치한 경주2, 모아, 안강 지점의 유출률은 저수지 유역면적을 고려하지 않았을 경우 각각 30.1%, 38.9%, 34.2%로 분석되었고 저수지 면적을 고려하였을 경우 각각 37.2%, 50.2%, 45.1%로 분석되었다. 결과적으로 형산강 유역에서 저수지 유역면적이 전체 유역면적의 50% 이상을 차지하고 있으며 저수지를 고려한 유출률은 저수지 유역면적을 배제한 유출률에 비해 7.06%~11.22%의 높은 유출특성을 보이는 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

1. 국토해양부 (2010). 2009년 하천유량조사보고서.
2. 유량조사사업단 (2010). 2009년도 국토해양부 수위-유량관계곡선식.
3. 기상청 (2009). 기상월보.
4. 김필식 등 (2009). 가동보의 새로운 Paradigm 연구.
5. 김보경 등 (2009). 준분포형 모형을 이용한 농업용 저수지가 안성천 유역의 유출모의에 미치는 영향 평가.
6. 국토해양부 (2008). 한국수문조사연보.
7. 유철상 등 (2007). 한국 농업용 저수지의 형태학적 특성 분석.
8. 국토해양부 낙동강홍수통제소 홈페이지. <http://www.nakdongriver.go.kr/>
9. 국토해양부 국가 수자원관리 종합정보시스템. <http://wamis.go.kr/>
10. 한국농어촌공사 홈페이지. <http://rims.ekr.or.kr/>