

| GREEN ISSUE 2015-30 |

강원도의 강수관측밀도를 고려한 강수관측망 설치 운영 제안

박수진 부연구위원 | 2015년 12월 30일

Contents

1. 배경 및 필요성
2. 강수 관측망 설치 운영
3. 강원도 지역별 강수관측소 현황 및 관측밀도
4. 강수관측소 설계
5. 기후변화에 대비한 강원도 강수 관측망 운영 제안



SUMMARY

강원도의 강수관측밀도를 고려한 강수관측망 설치 운영 제안

《 현안 및 배경

- 최근 이상기후변화로 인한 매년 강수량 및 강우강도는 평년에 비하여 그 규모가 커져가고 있는 실정
- 또한 기상이변의 강우전선 및 지형학적 요인에 의한 강한 국지성 호우 및 집중호우 빈발
- 국지성호우 빈발에 따른 지역 간의 강수량 편차 크게 발생
- 강원도의 경우 유역의 형태가 대부분 높은 산악지형 및 해발 1,000m 이상의 태백산맥이 가로지르고 있어 국지성호우 및 집중호우에 의한 피해는 더욱 커져가고 있는 실정
- 이에 유역의 효율적 수문관리 및 정확한 재난/재해 경보시스템 구현, 집중호우에 따른 신뢰도 있는 돌발홍수량 산정 등 관측밀도를 고려한 강수 관측망 설치 운영 필요

《 주요내용

- 강원도 내 강수관측소 현황 조사
- 강수관측 밀도 정의 및 최소기준
- 강수관측소의 설치장소 선정 및 결정방법
- 공간분포 특성을 고려한 강수 관측망 평가
- 강수 관측망 최적 운영 제안

《 강원도의 정책적 시사점

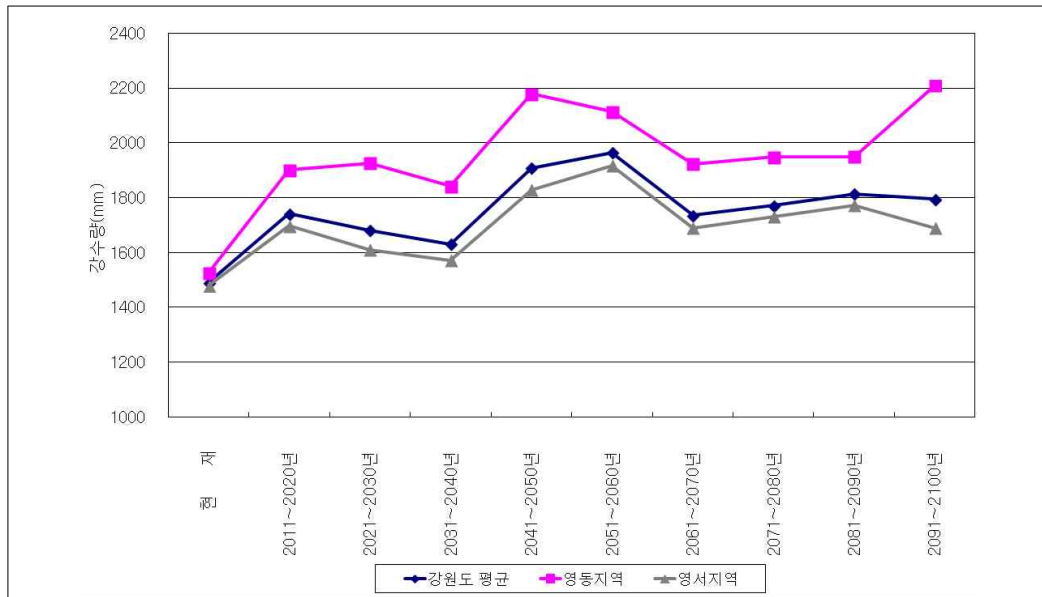
- 기후변화에 대응한 “수자원 장기종합 계획 수립” 기초자료 제공
- 기후변화에 대응한 유역의 효율적 수문관리
- 고품질의 수문기상 정보제공
- 효율적 강수 관측망 운영으로 경제적 효과 발생
- 재난/재해 예방을 위한 정확한 홍수 예·경보시스템 구현



1 배경 및 필요성

1. 기후변화로 인한 강수량의 규모는 평년에 비하여 커져가고 있는 실정

- 강원도의 경우 RCP 8.5 기준 21세기 후반(2071년~2100년)강수량은 현재(2001년~2010년)1,491 mm 보다 약 302.4mm 증가한 1,793.3mm 발생 전망(기상청, 2012)
- 특히 강원도의 고성, 속초, 양양, 강릉의 경우 21세기 중반에 이미 2,000 mm 이상 도달할 것으로 전망(기상청, 2012)

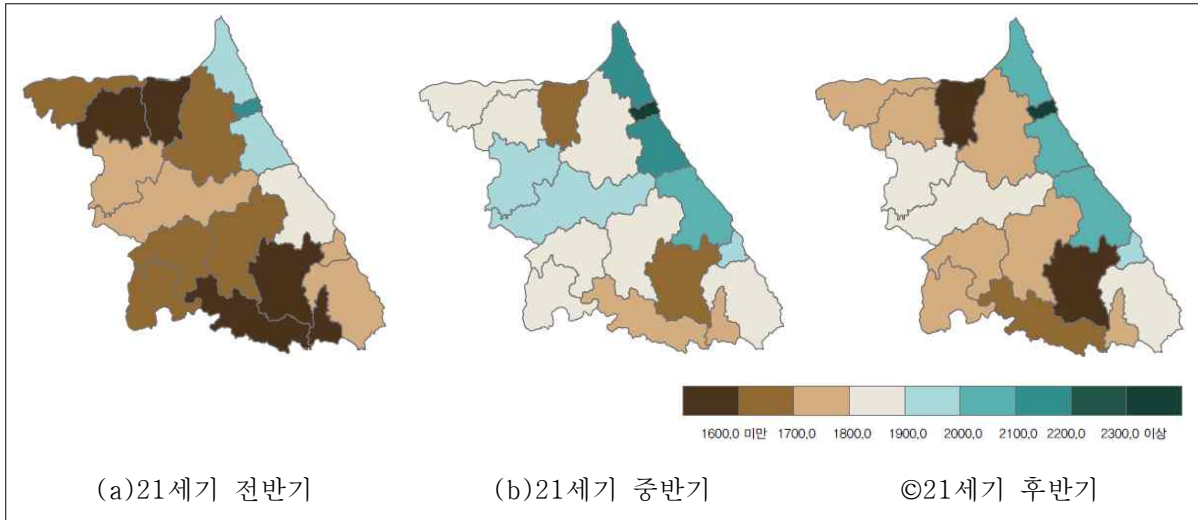


자료 : 강원도기후변화전망보고서, 2012

<그림 1> 영동 및 영서지역의 미래 평균 강수량 시나리오(RCP 8.5)

2. 지형학적 요인에 의한 강수량 편차 발생

- 현재(2001년~2010년)영월지역과 강릉지역의 최대 강수량 편차는 295.2mm 발생하였으며, 향후 21세기 후반에는 양양지역과 영월 간 최대 694mm 편차 발생 전망
- 강원도는 유역의 형태가 대부분 산악지형 및 해발 1,000m 이상의 태백산맥이 가로지르고 있어 강한 국지성 호우 및 집중호우 빈발



자료 : 강원도기후변화전망보고서, 2012

<그림 2> 강원도 지역별 강수량 편차(RCP 8.5 기준)

3. 강한 집중호우 및 국지성 호우 빈발에 의한 피해 증가

- 최근 10년간 홍수로 인한 강원도의 인명피해는 44명, 재산피해는 약 1조7천억 원 발생
- 특히, 2006년 강원도 인제군의 경우 7월 14일 부터 16일 까지 사흘간 400 mm 집중호우로 인명피해 29명, 재산피해 약 5천억 원 발생



(a) 인제군 남면-원대리 군도 매몰 및 유실



(b) 인제군 북면-인제읍 간 도로 침수

자료 : 인제군(2006)

<그림 3> 집중호우로 인한 홍수피해

<표 1> 강원도 풍수해 피해 현황(2004년~2013년)

연도	사망 및 실종	이재민(명)	침수면적(ha)	피해액(천원)	비 고
2013	0	15	792	70,747,434	
2012	0	4	1,591	6,954,177	
2011	0	50	134	57,702,374	
2010	0	6	4,686	13,567,274	
2009	0	10	431	30,065,187	
2008	0	3	90	6,579,432	
2007	0	19	0	16,887,852	
2006	44	1,883	6,199	1,368,986,910	
2005	0	326	858	21,893,855	
2004	0	80	1,108	97,797,347	
계	44	2,396	15,889	1,691,181,842	

자료 : 강원도 통계정보(<http://stat.gwd.go.kr>)

4. 기상이변에 의한 호우일수 증가

- 21세기 후반기(2071년~2100년)호우일수는 현재 2.7일(2001년~2010년)보다 5.1일 증가 전망
- 호우 일수 증가 지역은 지역별 최대 양양(272.3%), 태백(242.4%), 강릉(227.1%)증가

<표 2> 강원도의 호우일수 및 증가 율(RCP 8.5 기준)

지역	현재 기후 값	21세기 전반기 (2011~2040년)	21세기 중반기 (2041~2070년)	21세기 후반기 (2071년~2100년)	경향성 (%/10년)
강원	2.7	4.0 (151.4%)	5.7 (213.3%)	5.1 (193.2%)	7.41

자료 : 강원도기후변화전망보고서(2012)

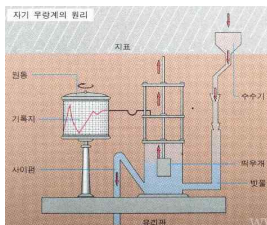
따라서 정확한 재난/재해 경보시스템 구현, 미계측 유역의 강우자료 보정 및 추정, 신뢰도 있는 유역면적 강우량 선정 등 유역의 효율적 수문관리를 위하여 관측밀도를 고려한 강수 관측망 설치 및 운영 필요



2 강수관측망 설치 운영

1. 강수관측 설비¹⁾

- 보통우량계 : 구경 20cm의 수수구를 통하여 들어오는 강수를 받아서 저수병에 모은 다음 우량측정관으로 측정하는 장치
- 전도형 자기우량계 : 수수구를 통하여 일정량의 빗물(1mm)이 수수컵에 고이면서 저수조로 배수되며, 이때 전도횃수를 전기신호로 바꾸어 강수량을 기록
- 부자형 자기우량계 : 수수구에 내인 비의 용적을 부자의 상하운동으로 펜을 움직이게 하는 동안에 자기 회전 시계는 방안지를 일정한 속도로 회전시킴으로써 강수량의 시간적 변화를 기록하는 장치
- 이외에도 저수형 자기우량계, 청량형 자기우량계, 단위시간의 강우강도를 측정하는 강우강도계 등의 설비가 있음



(a) 자기우량계



(b) 전도형 우량계



© 저수형 자기우량계



(d) 강우강도계

자료 : 수자원조사정보시스템(<http://river.kwater.or.kr>)

<그림 4> 강수관측 설비

2. 강수관측밀도 및 관측망 설치운영

■ 강수 관측밀도

1) 수자원조사 정보시스템(<http://river.kwater.or.kr>)

- 다우지역이나 과우지역에 관측망이 집중되지 않고 유역의 공간적 및 지역적 분포 특성 등을 고려하여 유역을 대표할 수 있는 관측망 운영
- 우량관측소는 수계를 고려하여 효과적인 관측이 이루어질 수 있도록 유역면적의 크기, 강수형태, 지형특성 등 평면 배치 및 표고차를 고려, 강수 발생 상황을 표현
- ※ 현재 관측소의 접근성 및 예산, 관할 기관별 필요목적에 따라 관측소 설치 운영으로 일부지역에 편중되거나 자료의 공동 활용이 원활하지 않아 측정이 중복되는 문제 발생

<표 3> 강수관측을 위한 최소 관측망 밀도

구 분	관측최소밀도(km^2)	
	자기우량계	보통우량계
해안지역	9,000	900
산지지역	2,500	250
평야지역	5,750	575
구릉지역	5,750	575
도서지역	250	25
도시지역	10~20	-
건조 및 극지역	100,000	10,000

자료 : WMO(세계기상기구), 1994

■ 강수관측소 설치 운영

- ※ 배치
 - 강수계측망은 다우지역이나 과우지역에 치우쳐 배치하지 말고 한 유역에 내리는 지역적 분포를 대표할 수 있도록 계획
 - 홍수예경보 등을 위한 자료를 수집하기 위해서는 그 관측밀도를 높게 하여야 하며, 댐이 설치된 유역과 같이 중요한 구역에서는 관측소를 기준밀도보다 조밀하게 배치, 도시하천 등에서는 $50km^2$ 당 2개 관측소 이상을 설치
- ※ 설치장소의 선정
 - 강수량 관측소는 바람, 장애물 등의 영향이 없는 장소에 설치

- 강수량 관측을 위한 설치장소는 다음 조건을 고려하여 선정
 - ① 지형이 협소하여 풍향 풍속이 특수한 값을 나타내지 않은 곳
 - ② 바람의 영향으로 특수한 강수상황을 나타내지 않는 곳
 - ③ 실시간 자동수집방식 등 무선통신을 이용하는 우량계는 전파 송수신 조건이 양호한 곳

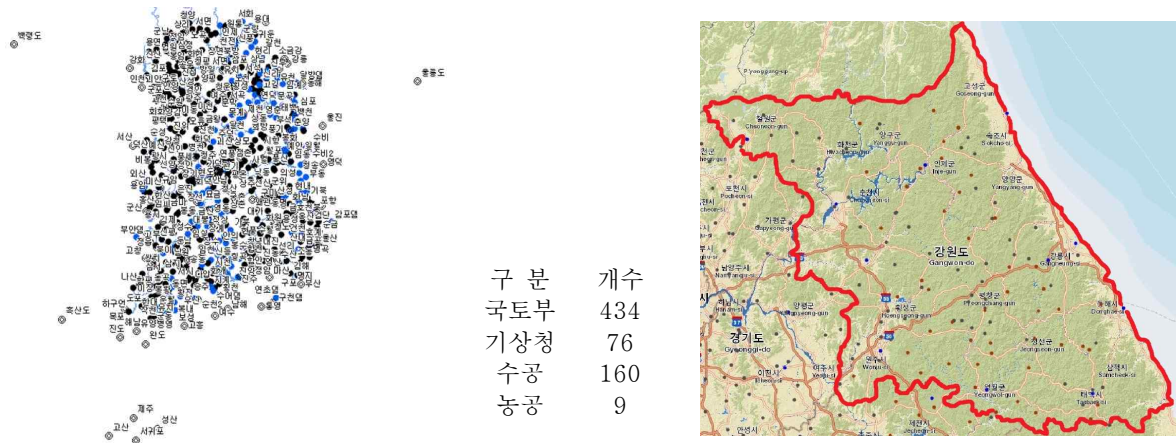
자료 : 하천설계기준 및 해설, 국토교통부



3 강원도 지역별 강수관측소 현황 및 관측밀도

1. 강수관측소 현황

- 강원도 지역의 강수관측소는 총 241개이며, 관할기관별로는 지자체 142개, 국토교통부 53개, 한국수자원공사 26개, 기상청 12개, 한국수력원자력 6개 운영



(a) 우리나라 강수관측소 현황

(b) 강원도 강수관측소 현황

자료 : 한국하천정보시스템(<http://garam.kwater.or.kr>)

<그림 5> 우리나라 및 강원도 강수관측소 현황(지자체 운영 제외)

<표 5> 지역별 강수관측소 현황

지역	국토 ¹⁾ 교통부	기상청 ¹⁾	한국 ¹⁾ 수자원공사	한국 ¹⁾ 수력원자력	지자체 ²⁾ (강원도)	합계
춘천시	3	1	2	2	12	20
원주시	5	1	1	6	10	17

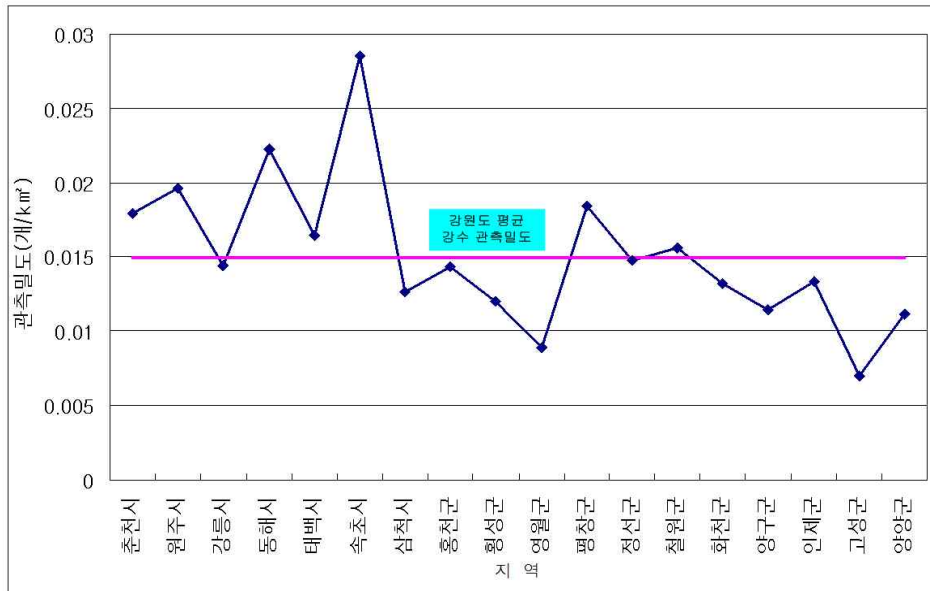
지역	국토 ¹⁾ 교통부	기상청 ¹⁾	한국 ¹⁾ 수자원공사	한국 ¹⁾ 수력원자력	지자체 ²⁾ (강원도)	합계
강릉시	2	2			11	15
동해시		1			3	4
태백시					5	5
속초시					3	3
삼척시	2		1		12(2)	15
홍천군	10	1	2	2	11	26
횡성군	3		1		8	12
영월군		1	2		7	10
평창군	11	1	5	1	9	27
정선군	2	1	3		12	18
철원군	3	1			10	14
화천군	5			1	6	12
양구군	2		1	2	3	8
인제군	4	1	8		9(1)	22
고성군		1			5	6
양양군	1				6	7
합계	53	12	26	6	142	241

자료 : ¹⁾ 국가수자원관리종합정보시스템(<http://wamis.go.kr>), ²⁾ 강원도

2. 강수관측 밀도

- 강수 관측소 밀도(ρ)는 관측소 개수(N)를 대상면적(A)으로 나눈 값으로 정의
- 강원도의 평균 강수관측밀도는 $0.015\text{개}/\text{km}^2$ 를 보이고 있어 세계기상기구(WMO)에서 제시한 최소 관측밀도 충족
- 지역별로는 속초지역이 관측밀도가 가장 높은 것으로 나타났으나 이는 대상면적이 작은 것에 기인한 것으로 판단
- 영월군과 고성군의 경우 타 지역에 비하여 관측밀도가 낮게 나타나고 있어 평면 공간 및 고도분포 등을 고려한 관측소의 위치조정과 함께 예산 확보를 통한 추가 설치 운영 필요

※ 본 자료는 단순 관측밀도 자료이며, 관측밀도가 높다고 하여 강수 관측망이 우수하다고 판단할 수 없음. 즉, 유역에 관측소가 많이 설치되어 있다하여 해당 유역의 관측망이 적절하다는 의미는 아님.



<그림 6> 지역별 강수관측 밀도(개/km²)

3. 강원도 주요 하천유역별 강수관측망 운영 현황

- 강원도 119개 하천의 강수 관측망 운영현황은 다음과 같으며, 지방하천으로는 홍천강 유역이 9개 관측망을 운영하여 가장 많은 관측망 운영

<표 6> 하천유역별 강수관측망 운영 현황

하천명	관측망(개)	관할기관	하천명	관측망(개)	지역
가곡천	1	지자체(1)	덕치천	2	국토부(1) 지자체(1)
간척천	1	지자체(1)	도사천	1	국토부(1)
감천천	1	국토부(1)	정선 동강	1	기상청(1)
강릉남대천	4	지자체	동명천	1	지자체(1)
강촌천	1	지자체	두미천	1	지자체(1)
계방천	2	수공(1) 국토부(1)	마읍천	1	지자체(1)

하천명	관측망(개)	관할기관	하천명	관측망(개)	지역
계성천	1	지자체(1)	명월천	2	국토부(2)
계천	2	수공(1) 지자체(1)	무릉천	1	지자체(1)
계촌천	3	수공(1) 국토부(1) 지자체(1)	문혜천	1	기상청(1)
고길천	1	국토부(1)	물지천	1	지자체(1)
굴지천	4	수공(1) 지자체(3)	방태천	3	국토부(1) 수공(1) 강원도(1)
공지천	2	지자체(2)	법천천	1	국토부(1)
광정천	1	지자체(1)	북천	4	수공(2) 지자체(2)
군선천	1	지자체(1)	북한강	5	국토부(3) 지자체(2)
군업천	1	국토부(1)	사창천	1	지자체(1)
굴지천	1	지자체(1)	사천천	1	기상청(1)
귀둔천	1	수공(1)	상남천	2	수공(1) 지자체(1)
금계천	1	지자체(1)	서강	2	기상청(1) 지자체(1)
양양남대천	1	국토부(1)	서곡천	2	국토부(1) 지자체(1)
철원남대천	1	국토부(1)	서천	2	한수원(1) 지자체(1)
내촌천	4	국토부(2) 지자체(2)	석항천	2	지자체(2)
달방천	1	기상청(1)	섬강	3	국토부(3)
대교천	2	국토부(1) 지자체(1)	섬석천	1	지자체(1)
대기천	1	국토부(1)	성동천	2	국토부(1) 지자체(1)
소금강	1	국토부(1)	울지천	1	수공(1)
소도천	1	지자체(1)	인북천	2	수공(1) 지자체(1)

하천명	관측망(개)	관할기관	하천명	관측망(개)	지역
소양강	10	국토부(1) 기상청(2) 수공(2) 지자체(5)	일리천	1	지자체(1)
속사천	2	국토부(1) 지자체(1)	임계천	4	국토부(1) 수공(1) 지자체(2)
송천	5	기상청(1) 한수원(1) 수공(1) 지자체(2)	자산천	1	지자체(1)
수입천	2	수공(1) 한수원(1)	자운천	2	수공(1) 지자체(1)
신흥천	1	지자체(1)	장남천	1	국토부(1)
쌍용천	1	지자체(1)	장승천	1	지자체(1)
쌍천	1	지자체(1)	전천	5	국토부(1) 지자체(4)
하안미천	1	국토부(1)	정동진천	1	지자체(1)
양덕원천	2	국토부(1) 지자체(1)	조양강	3	수공(1) 국토부(1) 지자체(1)
양양남대천	1	지자체(1)	주수천	1	지자체(1)
어론천	3	수공(1) 국토부(1) 지자체(1)	주천강	4	지자체(4)
어천	1	지자체(1)	중방대천	1	지자체(1)
연곡천	1	지자체(1)	지내천	2	한수원(1) 지자체(1)
연당천	1	지자체(1)	지장천	6	수공(1) 국토부(1) 지자체(4)
영실천	2	국토부(1) 지자체(1)	지정천	1	지자체(1)
오대천	4	수공(1) 국토부(1) 지자체(2)	지촌천	2	한수원(1) 국토부(1)
오십천	7	국토부(1) 지자체(6)	창리천	1	지자체(1)
오호천	1	지자체(1)	천기천	1	지자체(1)

하천명	관측망(개)	관할기관	하천명	관측망(개)	지역
옥동천	4	수공(1) 지자체(3)	천진천	1	지자체(1)
와수천	2	국토부(1) 지자체(1)	철암천	1	지자체(1)
왕산천	1	지자체(1)	철원 남대천	4	지자체(4)
용촌천	1	기상청(1)	청초천	2	지자체(2)
운계천	1	지자체(1)	추곡천	1	수공(1)
운학천	1	지자체(1)	파포천	2	지자체(1)
원주천	4	기상청(1) 지자체(3)	팔미천	1	지자체(1)
팔미천	1	지자체(1)	호산천	1	지자체(1)
평정천	1	지자체(1)	홍천강	9	기상청(1) 한수원(2) 국토부(2) 지자체(4)
평창강	7	수공(2) 국토부(3) 지자체(2)	화진포 호	1	지자체(1)
하안미천	1	지자체(1)	화천천	5	국토부(3) 한수원(1) 지자체(1)
한계천	2	국토부(1) 지자체(1)	황둔천	1	수공(1)
한전천	2	지자체(2)	황지천	2	지자체(2)
한탄강	4	지자체(4)	홍양천	2	국토부(1) 지자체(1)
해송천	1	지자체(1)	홍정천	2	국토부(1) 지자체(1)
행구천	1	지자체(1)			

주) 국토부 : 국토교통부, 수공 : 한국수자원공사, 한수원 : 한국수력원자력



4 강수관측소 설계

1. 강수관측소 최적의 수 산정 방법

- 유역 내에서 강수관측소 최적의 수는 다음 식으로 산정

$$N = \left(\frac{C_V}{P_m}\right)^2 \quad (\text{식})$$

여기서, N : 최적의 관측지점 수, C_V : 강수량의 변동계수(표준편차 / 평균)

P_m : 유역의 평균 강수량 측정 시 허용오차

2. 강수관측소의 공간적 분포 특성 평가

- 최근린 지수법을 이용한 강수관측소의 집중성향 평가
 - 관측지에서의 최근린 거리의 평균과 모형에서의 평균기대 거리 비를 이용하여 점의 분산 및 집중정도 파악할 수 있으며, 다음 식으로 산정(이지호외 2인, 2013)

$$NNI = \frac{d_m}{d_{em}} \quad (\text{식})$$

여기서, NNI : 최근린 지수, d_m : 기대거리(km), d_{em} : 이론적 평균 최근린 거리($1/(2\sqrt{\sigma})$), σ : 강수관측소 밀도

- $NNI = 1$ 이면 가정한 모형과 동일, $NNI < 1$ 가정한 모형보다 집중성향, $NNI > 1$ 가정한 모형보다 분산성향

3. 지역별 강수관측소 관측거리

- 강수 관측소 평균거리는 강원도 평균 4.2km 이며, 고성군과 영월군은 각 6.0km 와 5.3 km를 보여 관측거리가 높은 것으로 나타남

<표 7> 지역별 강수관측거리 및 격자크기

지역	강수관측 평균거리(km) $1/(2\sqrt{\sigma})$	격자크기 (km)	지역	강수관측 평균거리(km) $1/(2\sqrt{\sigma})$	격자크기 (km)
춘천시	3.7	7.5	영월군	5.3	10.6
원주시	3.6	7.1	평창군	3.7	7.4
강릉시	4.2	8.3	정선군	4.1	8.2
동해시	3.4	6.7	철원군	4.0	8.0
태백시	3.9	7.8	화천군	4.4	8.7
속초시	3.0	5.9	양구군	4.7	9.4
삼척시	4.4	8.9	인제군	4.3	8.6
홍천군	4.2	8.4	고성군	6.0	12.0
횡성군	4.6	9.1	양양군	4.7	9.5
강원도 평균	4.2	8.6			

4. 강수관측소 격자²⁾

- 강수관측밀도가 높은 경우 격자 크기를 줄였을 때 공간의 강수정확도는 상대적으로 크게 향상
- 우리나라의 경우 정확한 공간 강수량을 측정하기 위한 격자의 크기는 최소 5 km 이하가 적절하고, 국지적 집중호우 등을 고려하면 1 km 이하 적절



5 기후변화에 대비한 강원도 강수 관측망 운영 제안

- 강원도의 평균 강수관측밀도는 0.015개/km를 보여 매우 높은 관측밀도를 보임
- 강수관측밀도 격자크기는 평균 8.6km 수준으로 양호한 것으로 나타났으나 정확한 강수량 측정을 위한 최소 격자 크기 5km 수준에는 미치지 못하는 것을 알 수 있음

2) 황석환 외 1인(2013), “수자원분야 활용을 위한 최적 강수격자크기 및 관측소밀도 연구”

- 강원도와 같이 산악지형에서의 정확한 국지적 집중호우 양상을 구현하기 위해서는 좀 더 많은 관측소 설치 운영으로 관측밀도를 높여 격자크기를 줄일 필요가 있음
- 특히 고성군과 영월군의 경우 격자 크기가 10km 이상을 보이고 있어 이 지역에 대한 최적의 관측소 개수 산정을 통한 강수 관측망 추가 설치 운영 필요
- 강원도 하천의 강수 관측망 운영현황을 보면, 집중 또는 관측밀도가 낮은 곳이 있어 이곳에 대한 유역면적 특성을 고려한 강수 관측망 추가 운영필요
- 강원도의 경우 높은 산악지형 특성으로 국지성 집중호우에 대한 피해가 큰 만큼 관측망 집중성향 분석을 통한 강수의 공간적 및 고도분포 등을 고려하여 강수 관측망 조정 운영 필요
- 향후 강원도의 지형학적 특성, 유역면적을 고려, 강수 격자크기 및 관측밀도 조정 연구를 통하여 강수량의 공간 재현으로 정확한 재난/재해 경보시스템 구현 필요
- 강원도 내 지자체에서 운영하는 강수관측소와 타 기관의 관측소를 연계 운영한 다면, 효율적 수문관리 운영으로 예산절감에 큰 기대를 할 수 있을 것으로 보임

참고문헌

- 기상청(2012), 강원도 기후변화 전망보고서
- 강원도, 강원도통계정보 : <http://stat.gwd.go.kr>
- 이지호 외 2인(2013), 적정면적 강우량 산정을 위한 유역별 강우관측망 평가, 한국방재학회지, 한국방재학회, 제13권 4호, pp. 80~86
- 이연길 외 4인(2011), 한수원(주) 댐운영을 위한 강우관측망 설계에 관한 연구, 한국수자원학회 학술발표회, 한국수자원학회, pp. 326~330
- 국토교통부(2009), 하천설계기준 및 해설
- 황석환 외 1인(2009), 수자원분야 활용을 위한 최적 강수격자크기 및 관측소 밀도연구 한국방재학회논문집, 한국방재학회, 제 13권 4호, pp 137~148
- 국토교통부, 국가수자원관리종합정보시스템 : <http://wamis.go.kr>
- 한국수자원공사, 수자원조사정보시스템 : <http://river.kwater.or.kr>

- 발 행 인 : 홍 성 태
- 발 행 처 : (재)한국기후변화대응연구센터
- 발행번호 : 2015-30호
- 발 행 일 : 2015년 12월 30일

www.crik.re.kr