

강원도 지역의 가뭄피해 최소화를 위한 우수저류조 저장기법의 적용성 검토*

정승권**, 전계원***, 전병희, 장창덕

최근 기후변화로 인한 가뭄의 발생은 사회경제적으로 많은 피해를 주고 있으며, 그 피해액은 매년 증가하고 있다. 기후변화로 인한 가뭄은 발생빈도나 심도가 증가하는 대표적인 자연재해로서 우리가 그 문제점을 인식하여 해결하려 하는 시점에는 이미 시기를 놓쳐버릴 수 있다. 이렇듯 가뭄으로 인한 국가 사회기반과 경제, 개인재산 등의 손실은 쉽게 지각하기 어려운 재해로 나타난다. 태백산맥을 중심으로 영동과 영서로 구분되어 지역의 강수 변동성이 두드러지게 나타나는 강원도 지역은 특히 가뭄재해에 대해 안전하지 않다. 이렇듯 기후변화와 같은 기상학적인 문제점과 산악효과와 같은 지형학적인 문제점 등 다차원적인 문제점을 동시에 해결하기 위해서는 강원도 지역의 가뭄취약특성을 평가하고, 저영향개발(Low Impact Development, LID) 기반의 빗물이용시설 활용방안에 대한 대응전략이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 LID 기반의 빗물관리사례를 중심으로 강원도 지역의 가뭄피해를 최소화하고, 가뭄시 대체용수 활용방안을 제안하였다.

주제어: 빗물재이용, 저영향개발, 가뭄, 우수저류조 저장기법, 우수저류조

1. 서론

최근 기후변화로 인한 이상가뭄의 발생은 사회경제적으로 많은 피해를 주고 있으며, 그 피해액은 매년 증가하고 있다. 기후변화로 인한 가뭄은 발생빈도나 심도가 증가하는 대표적인 자연재해로서 우리가 그 문제점을 인식하여 해결하려 하는 시점에는 이미 시기를 놓쳐버릴 수 있다. 이렇듯 가뭄으로 인한 국가 사회기반과 경제, 개인재산 등의 손실은 쉽게 지각하기 어려운 재해로 나타난다.

강원도 지역도 예외는 아니어서 강원도 일부 지역에서는 연 강수량이 점차 줄어드는 현상을 나타내고 있다. 2008년 7월 이후 태백시 강수량은 141.2mm로서 2007년 강수량인 324mm의 30%수준에 머물렀으며, 예년에 비하면 32%수준에 그친 것으로 조사되었다. 태백시의 10년간 강수량 기록을 검토하면 849.9mm의 연간 강수량을 기록했던 2001년 이후 작년 2008년이 두 번째로 적은 연간 강수량을 기록

* 본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비지원(과제번호#08지역기술혁신 B01-01)으로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

** 제 1저자 *** 교신저자.

하였다. 이로 인해 2008년 가을부터 태백시를 중심으로 하여 전국 8개 시·도 44개 시군이 제한급수 지역으로 지정되었고, 태백시는 제한급수지역으로 선포된 후 무려 2개월 동안 지속되었다. 태백시는 광역상수도 공급량을 평일의 50%를 줄여 제한급수를 시행했었고, 급수구역을 오전에 4구역, 오후에 3구역 총 7개 구역으로 나눠 공급하고 있어 주민들은 하루 3시간씩 수도물을 공급 받을 수 밖에 없었다. 고지대 지역 주민들은 문제가 더욱 더 심각해 급수차 34대로 하루 1,200톤 지원되는 물로 버텼었다(윤갑식, 2009).

태백산맥을 중심으로 영동과 영서로 구분되어 지역의 강수변동성이 두드러지게 나타나는 강원도 지역은 특히 가뭄재해에 대해 안전하지 않다. 이렇듯 기후변화와 같은 기상학적인 문제점과 산악효과와 같은 지형학적인 문제점 등 다차원적인 문제점을 동시에 해결하기 위해서는 강원도 지역의 가뭄취약 특성을 평가하고, 저영향개발(LID) 기반의 빗물이용시설 활용방안에 대한 대응전략이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 LID 기반의 빗물관리사례를 중심으로 강원도 지역의 가뭄피해를 최소화하고, 가뭄시 대체용수 활용방안을 제안하였다.

II. 저영향개발 빗물관리방안

1. LID의 정의

저영향개발(LID)은 강우유출수 관리 및 도시개발 등으로 인한 유역물순환구조 개선을 위해 단순하면서도 효과적인 방안으로 최근에 주목받는 개념이다. LID는 기존 강우유출수 관리에 적용하고 있던 복잡하면서 과도한 비용을 필요로 하는 공학적 접근방식을 녹색공간의 확보, 자연형 공간조성, 자연상태의 수문순환 기능의 유지기법 등을 활용한 개발 대상지에서의 강우유출 및 비점오염원의 영향을 최소화할 수 있는 새로운 기술이다.

친수구역 조성지침(국토해양부, 2011)에서는 LID를 홍수 및 수질오염 저감을 위한 우수의 침투, 저류, 물순환 체계를 고려한 토지이용기법으로 정의하고 있다.

2. 우수저류조 저장기법

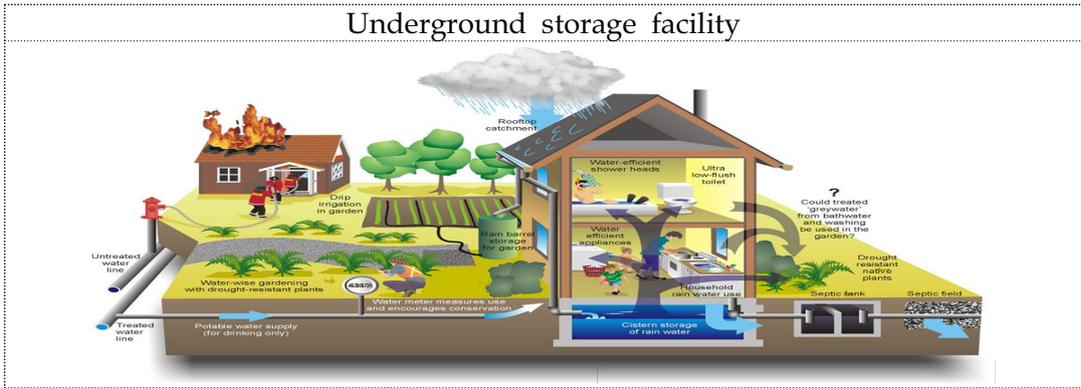
본 연구에서는 앞절에서 제시한 우수유출저감시설 중 우수저류조 저장기법으로 활용가능한 시설에 대하여 강원도 지역의 가뭄피해를 최소화하기 위한 방안으로의 적용성을 검토하고자 한다.

우수저류조 저장기법이라 함은 지역내에서 집수처리나 침투처리된 우수를 최종점에서 집중처리하여 저류·저장시키는 대규모 지하저류조의 개념에서 벗어나 강우가 발생하는 지점에서분산형 우수처리체

계를 통해 우수를 저류·저장시키는 모든 방법을 통틀어서 제시하고자 한다.

따라서 본 연구에서는 지붕면 집수를 통해 단독주택이나, 공동주택단지에서 우수를 집수처리하는 빗물저금통(Rain Barrel), 공원유수지, 도로옆 식생통로, 학교운동장을 이용한 임시저류지, 옥상녹화 등의 우수저류조 저장기법을 통해 강원도지역에서 발생하는 가뭄피해에 대한 대책방안으로 적용가능한 방안들을 검토하고 제안하고자 한다.





〈그림 1〉 UD 기법을 적용한 우수저류조 저장기법 설치사례

3. 국내외 우수저류조 저장기법 적용사례

1) 독일

독일은 이수용도의 빗물저장조를 침투블럭, 침투연못, Innodrain, Trough-trench 시스템 등 지표면 침투시설과 연계함으로써 빗물관리를 통해 물순환 건전화로 도모하며, 녹지공간을 통해 자연생태계 보전을 함께 고려하고 있다.

건축물의 경우에는 옥상녹화 및 식생여과조를 건물외부에 설치하여 빗물 및 오염물질 유출을 저감시키고, 건물내 빗물저류조 설치를 통해 호우시 우수를 저감시킴은 물론 화장실세정용수나 조경용수 등으로 이수에 활용한다. 우수저류조 저장기법의 적용은 업무용 건축물, 시범주택단지, 공장, 대학, 공동주택 등 다양한 시설에 효과적으로 운영되고 있다.

2) 일본

일본은 도시 하천유역의 종합치수대책(1977)으로서 저류침투시설의 도입을 시작으로 도심지에서의 빗물이용, 건전한 물순환체계 확보를 위한 우수저류침투시설의 기능강화 등으로 발전되어왔다. 주요 건축물에 설치된 저류조를 통해 화장실세정용수 등의 이수용수를 확보하고, 학교의 경우에는 운동장 저류를 통해 빗물유출을 저감시키는 방안을 활용하고 있다. 공동주택단지내에는 우수지를 비롯하여 여러 침투시설(침투U자도랑, 침투트렌치, 투수성포장 등)의 적용으로 빗물유출저감은 물론 물순환 건전화를 꾀하고 있다.

3) 호주

호주는 1994년에서 2001년까지 호주 주민의 16%가 우수저류조를 사용하고 있으며, 이 중 13%가 주 음용수로 우수를 활용하고 있다(Australian Bureau of Statistics, 1994-2001). 시드니 올림픽 개최시에는 수자원의 활용을 극대화하기 위해 이중급수시설을 설치하여 홈부쉬베이에서 유출되는 빗물을 저류하고 하수를 처리하여 공원이나 과수원 등에서 관개용으로 재사용한 바 있다. 이를 통해 매년 전체 물 사용량의 50%인 500,000m³의 상수도 절감효과를 거두고 있다.

4) 미국

미국은 2007년 건조한 지역을 중심으로 250,000개의 빗물저류시스템(Rainwater Harvesting System, RWH system)이 활용되고 있는 것으로 보고되었으며(Kincade, 2007), 하와이에서도 60,000명 이상이 RWH system에 의존하는 것으로 나타났다(Maconber, 2001). 또한 텍사스주 오스틴에서는 지난 10년간 정원용수 공급용 소규모 시설 6,000개가 설치 운영되고 있다.

텍사스 주 Hunt School에서는 20,000 gallons의 빗물저류조를 설치하여 관개용수, 정원용수, 운동장용수 등으로 활용하고 있다.

5) 영국

영국 수도보급회사인 “Thames Water”사는 320m 직경의 밀레니엄 돔의 지붕을 이용하여 100,000m³의 빗물을 집수하고 화장실 용수로 하루 100m³의 물을 사용하고 있다. 이는 화장실용수 총 사용량인 500m³의 20%에 해당하는 양이다. 나머지 우수는 식물정화시스템을 거쳐 연못에 저장하고 남은 양은 템즈강으로 흘려보낸다.

6) 말레이시아

말레이시아는 처리수에 대한 의존도 저감 및 가뭄과 홍수대비 목적으로 빗물이용을 제도화 하였는데, 2004년도에 정부청사와 2006년도에 공장, 학교, 대저택 등 대형건물에 빗물이용시설 또는 시스템을 설치하도록 권장하다가 2007년도에는 빗물이용시스템 설치를 의무화하였다.

7) 태국

1980년대부터 가정용 빗물집수시스템을 개발하여 큰 성과를 거둔 태국은 “Jar Program”을 통해 2톤의 철근콘크리트로 된 빗물저장조가 가정용으로 수백만개나 건설되었고 약 110,000m³의 페로세멘트

탱크가 설치되었다(Traitongyoo, 1987). 이로 인해 태국 동북부 산악지대를 비롯한 농업지역의 주민들이 보다 쉽게 음용수를 공급받을 수 있게 되었다.

8) 스리랑카

스리랑카에서는 1995~1998년에 세계은행의 지원을 받은 Water and Sanitation Program을 통해 펌프킨 탱크(Pumpkin Tank)와 지하저장조(Underground brick dome)를 개발, 설치하였다. 이를 통해 수도공급시스템 설치가 어려운 지역에 물을 공급지원하게 되었다.

9) 강원도 원주시청

강원도 원주시는 시청청사내 우수저류조를 설치하여 청사 뒤 봉화산에서 내려오는 계곡수, 건물바닥에서 발생하는 5개소 영구배수시설 용수와 옥상에서 모아지는 빗물, 주변 침투시설로부터 모아지는 빗물 등 150m³의 빗물을 저장, 활용한다. 저장된 우수는 원주시 청사앞의 물길정원, 바닥분수, 조경용수로 사용되며, 청사의 화장실 용수와 건물전체 소방용수로 사용된다. 이를 통해 2008년에는 16,800톤을 절수함으로써 상하수도요금을 연간 3천만원 절약하는 효과를 거두었다.

10) 강원도 강릉시 단오산림공원

강원도 강릉에 위치한 단오산림공원의 녹지 2,461.76m²으로부터 집수된 우수는 다기능 녹지시스템, 관로형 저류시스템, 정밀여과시스템, 통합빗물관리시스템을 통하여 수경시설(벽천분수, 바닥분수 등), 식수, 조경용수 등으로 활용하고 있다.

4. 강원도 가뭄발생특성

강원도는 태백·정선·강원남부지역을 중심으로 지난 2008년 9월부터 시작된 가뭄이 장기화되면서 강수량 부족으로 인한 저수율의 저감 등으로 인한 물 부족 문제가 심각한 고민거리로 대두되었다. 2008년 가을부터 그 징후를 보이기 시작하여 급기야 태백시를 중심으로 하여 전국 8개 시·도 44개 시군이 제한급수지역으로 지정되었고, 태백시는 제한급수지역으로 선포된 후 무려 2개월 동안 지속되었다. 태백시는 광역상수도 공급량을 평일의 50%를 줄여 제한급수를 시행했었고, 급수구역을 오전에 4구역, 오후에 3구역 총 7개 구역으로 나눠 공급하고 있어 주민들은 하루 3시간씩 수돗물을 공급 받을 수밖에 없었다. 고지대 지역 주민들은 문제가 더욱 더 심각해 급수차 34대로 하루 1,200톤 지원되는 물로 버텼었다(윤갑식, 2009). 특히 정선군 사북면의 고지대 지역 주민들의 고통은 이루 말할 수

없을 정도였다.

이는 2007년 9월 386mm에 이르던 강수량이 2008년 9월에는 47.7mm에 불과하였으며, 이에 대비한 저수관리 및 상수도 공급량 조절의 실패로 물부족 사태를 가중시키는 원인으로 작용하였다.



출처: 세상을 두드리는 사람



출처: 중앙일보



출처: 오마이뉴스, 장성천



출처: 태백정선인터넷뉴스

<그림 2> 2009년 태백시 극한가뭄에 의한 피해사태

강원도지역의 가뭄의 원인은 상수도 시설 노후화로 인한 물부족 현상도 주요요인으로 작용하고 있다. 2011년도 강원도의 상수도 보급률은 94.5%로 전국 평균 97.9%보다 낮으며, 충청남도 87.8%, 전라남도 90.6%에 이어 세 번째로 낮다(환경부, 2012).

군 단위의 평균 보급률은 72.4%로 강원도의 평균보다도 현저히 낮은 수치를 보이고 있는데 군 단위의 27.8%의 시민들은 자가용수(마을상수도, 소규모 급수시설, 전용상수도, 우물생 등)을 이용하고 있는 실정이다. 또한 톤당 생산원가는 1,278원으로 전국에서 가장 높으며, 반대로 수도요금 현실화율은 55.6%로 가장 낮은 실정이다. 전국 164개의 지방상수도사업자 중에서 강원도에는 수도요금이 높은 10위 이내에 6개 시,군이 포함되어 있고, 생산원가가 높은 사업자는 4개시,군이 포함되어 있다(전만식, 2011).

강원도지역, 특히 강원남부지역은 저수관리 및 상수도 공급량 조절의 실패로 나타난 2009년 태백시 가뭄피해뿐만 아니라 근본적으로 댐유역의 물관리 부재, 광역상수도 공급지역의 누수율 문제, 물공급체계의 다원화 등 물관리체계의 다원화 문제로 가뭄에 대한 고통을 받는 특성을 지니고 있다. 이

외에도 강원남부지역은 석회암 지질로 동일 수계의 짧은 구간내에서도 지점에 따라 유량의 변동이 급격히 이루어져 하천수를 활용한 용수확보가 매우 어렵다(강원발전연구원, 2011).

III. 강원도 가뭄피해저감을 위한 우수저류조 저장기법 적용방안

가뭄지역에 대해 우수저류조 저장기법을 적용시 피해저감효과를 분석하기 위하여 본 연구에서는 2009년도 극한가뭄피해를 입은 강원도 태백시를 대상유역으로 선정하였다. 태백시에 적용하고자 하는 우수저류조 저장기법은 학교운동장을 저류지로 활용하는 방법을 적용하였다. 운동장 저류의 경우 기존 저류시설을 도입하는 것과는 달리 평상시에는 본래의 목적에 맞게 활용하다가 집중호우시에 저류지로서 역할을 수행하기 때문에 도심형 다목적 저류공간으로서 활용성이 매우 높다. 본 연구에서는 태백시(삼척시)에 위치한 초,중,고등학교의 현황을 파악하고, 운동장 저류로 인해 저장가능한 우수량과 용수로서의 활용방안을 제시하였다.

강원도 태백시 초,중,고등학교 현황 및운동장 부지면적을 파악하고, 이에 따른 우수저류조 저장 가능 용량을 파악하고자 하였으며, 우수저류조의 저장용량 산정은 서울시 조례(대지면적(m²)×0.02)를 참조하였다.

<표 1> 강원도 태백시 운동장 부지현황 및 우수저장조 용량산정(2011. 12. 31 현재)

구 분	학교수	운동장 부지면적(m ²)			우수저류조 저장가능 총 용량(m ³)
		3,000 이하	3,000~5,000	5,000 이상	
초등학교	13	2	2	9	32,478
중학교	6	-	-	6	8,920
고등학교	4	-	2	2	3,602
합 계					45,000

IV. 결론

태백시 인구는 약 50,000명으로 1일 13,250m³(1인 1일당 물사용량 265ℓ, 상수도통계, 2008)의 용수 수요량이 필요하다. 태백시내의 학교는 초등학교 13개소, 중학교 6개소, 고등학교 4개소가 위치하고

있으며, 이를 통해 45,000m³의 우수를 저장하게 되며, 비상급수시 약 3일분 용수공급량 확보가 가능하다. 또한 우수저류용량은 평상시 학교내에서 화장실 세정용수, 친수용수, 조경용수, 청소용수로 활용할 수 있도록 설계되며, 이를 통해 평균 월 10%의 상수요금 절감효과를 얻게 된다. 이와 같이 다양한 우수저류조 저장기법을 활용하여 빗물이용시설의 확대는 강원도 지역뿐만 아니라 전국적으로 각 지역별 특성을 고려한 우수저류조 저장기법의 적용으로 초기우수저감 및 비상시 대체용수로의 활용성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 강상준 외. 2011. 도심형 빗물저류공간 조성을 위한 기초연구. 경기개발연구원 연구보고서.
- 강원발전연구원. 2011. 강원도 물관리체계 개선방안.
- 국토해양부. 2011. 친수구역 조성 지침.
- 김경남. 2010. 기후변화 대비 취약성 평가에 관한 연구. 강원발전연구원 연구보고서.
- 세상을 두드리는 사람. 2009. 2009년 태백시 극한가뭄에 의한 피해.
- 오마이뉴스. 2009. 2009년 태백시 극한가뭄에 의한 피해.
- 윤갑식. 2009 가뭄 심포지엄.
- 일본. 1977. 도시하천유역 종합치수대책.
- 전만식. 2011. 강원도 물관리 체계 개선방안. 강원발전연구원 연구보고서.
- 중앙일보. 2009. 2009년 태백시 극한가뭄에 의한 피해.
- 태백정선 인터넷 뉴스. 2009. 2009년 태백시 극한가뭄에 의한 피해.
- 한무영 외. 2012. 빗물저류조의 분산배치에 따른 침투유출 저감효과 분석. 2012 한국수자원학회논문집. 45(1): 65-73.
- 호주. 2002. Australian Bureau of Statistics. 1994-2001.
- 환경부. 2012. 2011년 상수도 통계연보.
- Kincade-Levario, Heather. 2007. *Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse*. Canada: New Society Publishers.
- Macomber, Patricia S. H. 2001. *Guidelines on Rainwater Catchment Systems for Hawaii*. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa.
- Traitongyoo, Tavatchai. 1987. *Equator Partnership Award For Sustainable Development in Tropical Ecosystems*. Community Based Integrated Rural Development(CBIRD) Center. Sub Tai, Thailand.

鄭承權: 충북대학교에서 공학석사학위(논문제목: “GIS를 이용한 토지이용별 비점오염부하량 분석”, 2000. 2)를 취득하였다. 현재 수자원, 환경전문 컨설팅 기업인 헥코리아에서 연구개발사업부를 이끌고 있으며, 물순환, 빗물이용 및 관리, 저영향개발기법(LID), 스마트워터그리드, 수문기상, 돌발홍수 등 수자원 및 방재분야에 관심을 가지고 있다. 현재 수자원학회 회원 등으로 활동 중이다(jsk@hecorea.co.kr).

全桂元: 충북대학교에서 공학박사학위(논문제목: “홍수유출과 수질예측을 위한 Web기반 시스템의 개발”, 2004. 2)를 취득하였다. 현재 강원대학교 방재전문대학원에서 부교수로 재직중이며 돌발홍수, 산지하천, 토석류제해에 관한 방재분야에 관심을 가지고 있다. “산악지역돌발홍수 기준우량 결정에 관한 기초연구”(2010), “지상 LiDAR를 이용한 토석류 발생량 추정에 관한 기초연구”(2010)등의 논문을 게재한 바 있다(kwjun@kangwon.ac.kr).

田炳熙: 동경공업대학에서 공학박사학위(논문제목: “Study on Porous Carrier and Membrane Hybrid Process for Nitrogen Removal in Wastewater”, 2000. 3)를 취득하였으며, 현재는 강원대학교 삼척캠퍼스 소방방재학부 부교수로 재직 중이다. 주 연구분야는 폐턴분류를 이용한 수처리장치 고장진단과 산지제해 분야이며, 현재 방재학회 회원 등으로 활동 중이다(bhjun@kangwon.ac.kr).

張昌德: 강원대학교에서 공학박사학위(논문제목: “하도형상 변화를 고려한 격자기반 토석류 해석모형의 개발”, 2012. 2)를 취득하고 현재 강원대학교 소방방재학부 외래교수로 재직 중이다. 해안제해, 토석류, 수치모형 분야에 관심을 두고 연구 중이다(cdjang79@kangwon.ac.kr).

투 고 일: 2013년 01월 06일
수 정 일: 2013년 02월 17일
게재확정일: 2013년 02월 25일

The Suggestion of Future Drought Reduction Using Rainfall Storage Techniques for Rainwater Control

Seung Kwon Jung, Kye Won Jun, Byong Hee Jun, Chang Deok Jang

Recently, climate change has caused drought to become more frequent and is becoming one of the serious natural disasters, resulting damages in infrastructure facilities, economy and private property losses etc. Taebaek city of Gangwon-do lies in the northeast Korean Peninsula along the steep mountain slopes, all the way to the sea. Thus, this city exhibits the Marine Climatic Characteristics. During the past 10 years, the average rainfall of Taebaek city is 849.9mm/year, which is less than the average rainfall for the whole country (1,274mm/year). This means that the self-sufficiency of water supply is very low in Taebaek city. In order to ensure the self-sufficiency of water supply of Taebaek city, this paper aims to describe the implementation of Rainfall Detention Facilities in the open fields of primary, middle and high school as well as propose the plan of water resource demand and supply.

Key words: rainfall reuse, LID, drought, rainfall storage technique, rainfall harvest system