creative commons
COMMONS DEED

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

dCollection

조경학석사 학위논문

산림수원함양기능평가를 통한 수원함양보호구역 설정 방안 연구

- 장흥다목적댐 유역을 중심으로 -

A study on the method establishing protected areas for hydrological ecosystem services

- Focused on the Jangheung dam watershed -

2014년 2월

서울대학교 대학원

생태조경·지역시스템공학부(생태조경학)

김 미 림

▌국문초록

산림수원함양기능평가를 통한 수원함양보호구역 설정 방안 연구

- 장흥다목적댐 유역을 중심으로 -

지도교수 : 이동근

서울대학교 대학원

조경·지역시스템공학부(생태조경학)

김 미 림

우리나라는 국토의 65%가 산림으로 이루어져 수자원을 안정적으로 이용하는데 있어 산림은 매우 중요한 역할을 한다. 산림은 증산작용에 의해 지표면의 열 환경을 완화시키고, 산림의 변화는 지표의 열 환경을 변화시킬 뿐만 아니라 증산량을 감소시켜 물 순환을 변화시킬 수 있을 뿐만 아니라. 간벌, 수종 갱신 등을 통해 가용 수자원을 증진 시킬 수 있다. 최근 산림청과 수자원 공사에서는 수원함양기능이 빈약한 산림의 구조를 개량하여 산림의 수원함양기능을 증진시키는 사업을 시행하고 있다.

산림의 수원함양 기능을 증진시키기 위해서는 숲가꾸기 사업을 통한 지속적인 산림관리와 더불어 수계 인접지역의 개발 방지를 위한 수원함양 보호구역을 확충하여 수원함양기능을 고도로 발휘시키기 위한 노력이 필요하다.

수원함양기능증진을 위해서는 해당되는 산림 유역을 유역 전체를 하나의 보호구역으로 통합하는 관리하는 것이 효과적이지만, 보호구역 지정시 개인의 재산권 침해 지역 민원 등 갈등을 유발 할 수 있어서 세심한 검토가 요

구된다.

본 연구에서는 국내·외에서 수원함양기능 지표 선정 및 평가에 관련된 다수의 문헌을 고찰 한 후 수원함양능력을 측정할 수 있는 지표를 선정하기 위해 고려할 수 있는 후보 지표목록을 도출 한 후 유사하고 상관성이 높은 항목들을 종합하여 단순화한 지표를 도출하였다.

산림수원함양기능을 보호하기 위한 산림 중 우선순위가 높은 지역을 추출하기 위해 계량화 된 평가 기준을 적용하였다. 산림의 물리적, 생태적, 사회·경제적 여건에 따른 우선순위를 부여하여 종합적으로 평가함으로써 우선순위를 부여하여 정량적으로 평가하여 장흥댐 유역에 본 연구 결과를 적용하여 수원함양보호구역을 선정하였다.

본 연구 결과 설정된 수원함양보호구역은 총 132ha이며, 현재의 수원함양기능이 높은 지역으로 평가 된 지역은 전체 지정 면적의 78%인 103ha로 나타났다. 수원함양기능의 증진 가능성이 높은 지역은 29ha로 나타났다. 수원함양증진 가능성이 높은 지역을 산림 관리시 연간 약 23ton의 수자원을 증진 시킬 수 있을 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 관리 및 민원의 문제를 고려하여 국유림에 한해 선정하였지만, 추후 연구를 통해 공·사유림 중 수원함양증진을 위해 관리가 시급한 지역이나 훼손 가능성이 높은 지역을 파악하여 부처 간 협의를 통한 순차적으로 보호구역 설정 검토가 필요하다.

□ 주요어: 보호구역, 수원함양기능, 지표평가

□ 학 번: 2010-23429

▌차 례 ▐

Ⅰ. 연구배경 및 목적 ····· 1

Ⅱ. 연구 범위와 방법 ····· 3

1. 연구 범위 ····· 3
2. 연구 방법 ····· 5

Ⅲ. 선행연구고찰 ····· 7

1. 수원함양기능 ····· 7
2. 수원함양보호구역 ····· 9
3. 소결 ····· 11

Ⅳ. 수원함양기능평가지표개발 ····· 12

1. 지표도출 ····· 12
2. 지표별 평가방법 ····· 16
3. 수원함양보호구역의 설정 절차 및 방법 ····· 25
4. 사례지역적용 ····· 28

Ⅴ. 결론 ····· 39

▌인용문헌 ····· 41

▌부록 ····· 48

표 차례

표 1. 연도별 산림 보호구역 해제 현황 ····· 10
표 2. 국내 산림 연구 중 수원함양기능 평가항목 ····· 13
표 3. 수원함양기능 평가 요소 종합과 분석대상 변수 도출 ····· 14
표 4. 수원함양기능평가지표 도출을 위한 설문항목 설정 ····· 15
표 5. 토성구분 ····· 16
표 6. 토성별 구분 ····· 17
표 7. 경사도에 따른 지형도 구분 ····· 18
표 8. 산림 밀도 구분 ····· 19
표 9. 홍수기 및 갈수기의 유출량 ····· 22
표 10. 임령의 증가에 따른 물 저장량 증가 ····· 24
표 11. 임령별 구분기준 ····· 24
표 12. 지표 등급 재구성 ····· 27

그림 차례

그림 1. 연구대상지 ····· 3
그림 2. 연구흐름도 ····· 5
그림 3. 광릉 활엽수림과 침엽수림의 유출량 변화 ····· 20
그림 4. 보호지역 선정 절차 ····· 25
그림 5. 물리적 여건 평가 ····· 29
그림 6. 생태적 여건 평가 ····· 30
그림 7. 물리적 여건 종합평가결과 ····· 32
그림 8. 생태적 여건 종합평가결과 - 수원함양기능증진 가능성 높은 지역 ····· 33
그림 9. 생태적 여건 종합평가결과 - 수원함양기능이 제일 높은 지역 ····· 34
그림 10. 사회·경제적 여건 종합평가결과 ····· 35
그림 11. 종합평가결과 ····· 36

Ⅰ. 연구배경 및 목적

우리나라는 연간 강수량이 세계 평균보다 1.4배 많은 1,283㎜로 매우 풍부한 강수량을 가지고 있지만, 우리나라의 연간 1인당 재생가능 수자원량은 1,453㎥로 세계 153개국 중 129위로 물스트레스국으로 분류(국제 인구행동연구소, 2003)되었다. 또한 수자원장기종합계획(2006)에 따르면 물빈곤지수(WPI)가 OECD 29개 국가 중 20위로 낮은 수자원환경을 갖고 있어, 향후 수자원 이용에 어려움이 있을 것으로 예상된다.

우리나라는 계절적으로 강수량의 편차가 심하고 국토의 65%가 산악지형(김종호 등, 2005)으로 하천의 경사가 급하여 홍수가 일시에 유출된다. 또한, 토양의 표토층이 얇아 유역의 보수능력이 적고, 홍수량과 갈수량의 비율인 유량변동계수[1]가 매우 커 수자원을 안정적으로 이용하고 관리하기에 어려움이 있다(건설 교통부, 2001).

실질적으로 강수량을 늘리기는 불가능하기 때문에 수자원 확보 대책의 일환으로 수순환 과정 중 발생하는 물의 손실을 줄여 가용 수자원을 늘리는 산림의 수원함양기능이 주목받고 있다. 우리나라 산림은 과거 치산녹화사업으로 인해 76%가 산림관리가 필요한 30~40년생의 청년기 나무로 이루어져 있다. 이러한 산림관리가 이루어지면, 수분이 산림 토양 깊은 곳까지 저장됨에 따라 갈수기에도 풍부한 물을 지속적으로 공급하여 가용 수자원량을 늘어나게 된다. 산림의 지표면은 공극이 풍부한 토양으로 덮여있기 때문에, 물순환 과정에서 배분 구조를 변화시켜 유출이 급속하게 진행되는 것을 막아 홍수를 조절하는 기능이 높다.

산림청은 이러한 산림의 수원함양기능을 증진시키고, 산원수 공급을 극대화하기 위해서 2004년부터 215만 ha에 대하여 가꾸어야 할 산림을 분류(산림청, 2003)하여, 숲가꾸기를 통해 수원함양기능이 빈약한 산림을 정비하여 산림 구조를 개량하는 사업을 시행하고 있다.

산림의 수원함양기능을 증진시키기 위해서는 숲가꾸기 사업을 통한 지속적인 산림관리와 수계 인접지역 사유림에 대한 수원함양보호구역을 확충하여 수원함양기능을 고도로 발휘시키기 위한 노력을 필요로 한다.

하지만, 1963년 보호구역이 최대로 지정 된 이후, 새로운 보호구역 지정 없이, 보호구역의 해제가 증가하고 있으며, 시대적 상황에 따라 해제기준이 변경되기도 하고, 유실수, 특용수림, 연료림 등이 보호구역에서 제외(김현섭, 2011)되는 등 해제기준의 불합리 및 개인 산주들의 반발로 수원함양보호구역이 추가 지정 되지 못하고 있다.

또한, 현재 집수구역이어도 일정 범위를 벗어난 지역에서의 개발행위가 제한되지 않고 있어 상류의 개발행위로 저수지에 토사가 쌓이는 피해가 발생하고 있다.

기존의 수원함양기능 평가에 많이 사용 되었던 산림의 공익적 기능 계량화 연구에서의 평가방법은 토양의 전국에 분포한 모암 및 토양형별 조공극률을 측정하여 평균 토심과 면적을 곱해 구하는 방법으로 주로 토양에 치중하여 평가하였다. 하지만 본 연구에서는 산림의 식생을 고려하여 산림의 관리(수종개선, 산림시업 등)을 통해 수원함양기능이 바뀔 수 있는 부분을 평가하고자 하였다.

본 연구에서는 국내에 적합한 물리적, 생태적, 사회·경제적 여건을 고려하여 산림의 수원함양기능을 평가할 수 있는 평가지표를 개발하여 수원함양에 충분한 산림면적을 산출하여 수원함양보호구역을 설정하였다.

1) 최대유량과 최소유량의 비

Ⅱ. 연구 범위와 방법

1. 연구 범위

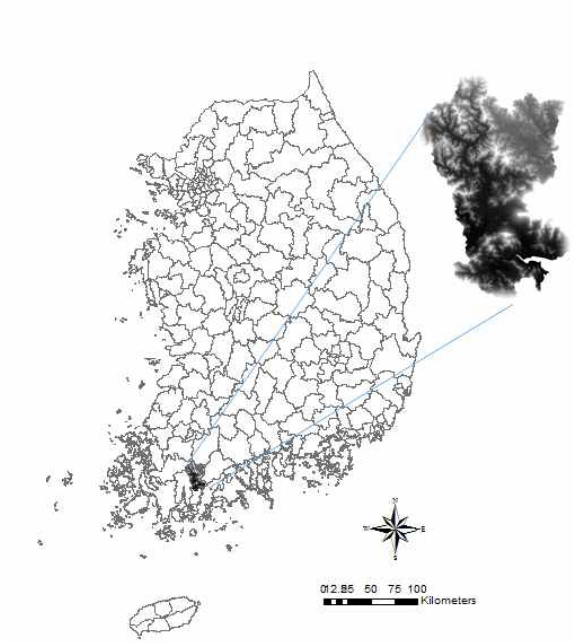


그림 1. 연구대상지

본 연구의 대상지는 전라남도 장흥군 부산면 지천리에 위치한 장흥 다목적댐 유역이다. 장흥 다목적 댐은 탐진강 상류지역으로 저수량은 1억 9,100만㎥이며 유역 크기는 193㎢이다. 장흥, 목포, 강진, 완도, 진도, 해남, 영암, 무안, 신안 등 전라남도 9개 시·군에 생활용수 및 공업용수를 공급할 목적

으로 건설되었다. 장흥 지역은 최근 10년간 가뭄기간동안 생·공용수 부족현상을 겪었고, 수자원 장기공급계획(2006)상 수자원 부족이 예상되는 지역이다. 강 유역을 따라 상수원 보호구역과 수변 보호구역이 지정되어 있지만, 2006년 장흥댐이 준공 이후에도 수원함양보호구역은 지정되어 있지 않다. 장흥댐 유역은 2002년부터 2006년까지 수량 증대, 수질 개선을 위하여 댐 유역 산림의 수원함양기능을 증진시키기 위해 193㎢의 유역 중 댐 주변의 1,600ha의 산림을 대상으로 '녹색댐 조성시범 사업'을 실시하는 등 수자원 증진을 위한 여러 사업들이 실시되고 있는 지역이다.

2. 연구 방법

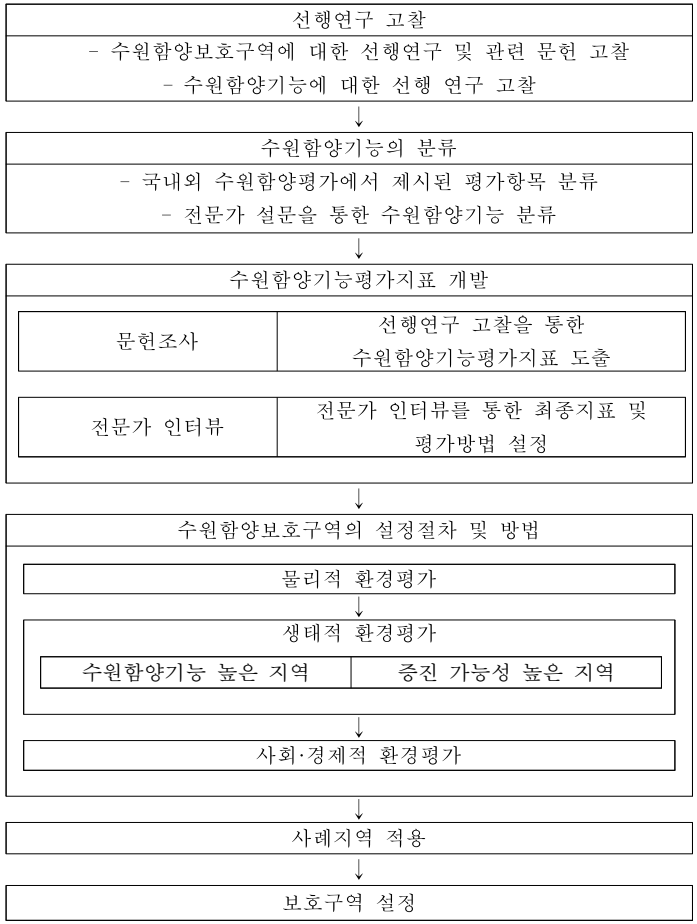


그림 2. 연구 흐름도

본 연구의 내용은 크게 수원함양기능 개념 정립, 평가지표개발, 지표의 적용과 분석, 활용방안과 고찰로 분류된다. 먼저 개념 정립부분에서는 관련 문헌 분석을 통해 산림의 수원함양에 대한 개념을 정립하고 유사한 산림 유역평가, 산림 공익 기능 평가, 산지 기능 평가의 평가지표들을 종합하여 후보지표를 선정하였다. 선정된 지표가 수원함양기능을 평가할 수 있는지 판단하고 지표의 활용방안에 대해 학계 및 전문가들의 다양한 의견을 수렴하였다.

수원함양기능 평가를 위해 앞서 선정된 지표들을 각 지표가 수원함양에 미치는 영향을 파악하였다. 또한 산림의 수원함양기능을 평가하기 위해 선정된 지표를 바탕으로 해당 산림유역의 수원함양기능을 평가 등급을 설정하였다.

지표별 평가에 따른 값을 도합하여 장흥 다목적 댐 유역을 대상으로 개발한 지표를 시범 적용함으로써 지표의 활용성을 고찰 하였다. 또한 수원함양기능평가 혹은 산림수원함양보호구역 설정 시에 활용할 수 있는 방안을 살펴보았다.

Ⅲ. 선행연구고찰

1. 수원함양기능

산림의 수원함양기능은 지형, 토성, 식생, 수순환과정 (Western et al., 1999; Famiglietti et al., 1998), 강우 개별적인 산림상태(Bruijnzeel, 2004)등 다양 한 요소들에 의해 결정 된다.

김형오(2003)은 산림의 수원함양기능을 임지에 내린 강우를 지하로 투수시키고 서서히 유출함으로서 맑고 깨끗한 생활용수를 풍부하고 지속적으로 공급하는 기능으로 정의하였다. Brauman 등(2007)은 수문학적 과정에서 생태계가 제공하는 혜택으로 정의 하였으며, MA(2005)에서는 조절서비스에 속하는 홍수관리, 물조절, 토양유실조절, 수질정화와 제공서비스에 속하는 물 공급, 그리고 서식지 기능으로 분류하였다. De Groot et al. (2002)는 생태계 조절기능에 물 공급과 물 조절 부분으로 구분하였다. 이 구분에 따르면 식생피복에 의한 대수층의 정화, 정체, 물 저장과 생태계에 의해서 통과되는 물의 양 보다 산이 저장하고 있는 용량을 더 중요하게 보았다.

산림의 수원함양기능은 주로 산림 수종 및 임령에 따른 증발산, 유출에 미치는 정성적, 정량적 영향을 고려하여 평가(김재수, 1987) 되었다.

산림의 수원함양기능의 계량적인 평가는 수문학적 요소와 지형학, 생태학, 물리학적 요소들 간의 상호작용을 실험(Rodriguez-Iturbe, 2009; Kundzewicz, 2002; Nuttle, 2002), 지형과 소유역 규모에서 토양 수분간의 관계(Nyberg, 1996) 혹은 식생간의 증산과정(Western, 1999)에서 수문 패턴의 변화 평가, 토양 수분과 지형사이의 관계를 실험하는 연구(Meyles et al., 2003; Anctil et al., 2002)가 이루어져 왔다.

김경하 등(1993)이 임황, 토지, 지형, 지질 및 기상 등 유역의 갈수 기 저수량을 다중회기방법으로 분석하여 입지인자의 함수로서 산림의 수원함양기능을 평가하였다. 김종호(1989)는 전국 농업용 저수지의 저수량과 상류 산림유역의 입지환경, 즉 지역, 모암, 상층울폐도 등을 인자로 시도되었다. 산림의 공익적 기능 계량화 연구를 통하여 전국에 분포한 모암 및 토양형별 조

공극률을 측정하여 평균 토심과 면적을 곱해 구한 바에 의하면 산림이 저장할 수 있는 수원함양 능력은 180톤(임업연구원, 1993)으로 평가하였다.

산림의 수원함양기능을 결정하는 요인들은 증발산, 침투, 지하수 함량, 토양 침식을 지배하는 인자들과 식물의 생장 및 가용수자원 산정 등에 있어서 중요한 수문요소들로 이러한 정량적인 특성은 해당 지형의 식생이나 침식정도를 결정하고, 산림의 이용과 장기적인 관리에도 영향을 주는 것으로 나타났다.

이러한 산림의 수원함양기능은 자연 상태로 놔둘 때보다 지속적으로 관리(김경하와 정용호, 2006)할 때 더욱 증진되며, 자연 상태로 놔둘 경우, 토양유실, 증발산 증진에 의한 수분 손실 등 산림의 수원함양기능이 저하되는 것으로 나타났다.

임목 밀도의 감소는 임내로 유입되는 강수량이 증가시켜 토양 함수율을 증대(Bamler and Zech, 1997)시키고, 임내로 유입되는 광량이 증가함에 따라 하층식생이 복원(Son et al., 2004; Wang et al., 1995)되어 수원함양기능이 증대된다.

또한, 건기에도 식물이 이용할 수 있는 유효수분량이 증대됨으로써 식생의 연년생장(Lee et al., 2009)이 증진되어 숲가꾸기가 산림의 수원함양에 직접적인 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

2. 수원함양보호구역

현대의 산림 보호구역은 1961년 산림법이 제정될 때 보호구역 제도에 대한 규정을 제도화함으로써 시행되었다. 1995년 산림법의 개정과 2005년 산림 자원의 조성 및 관리에 관한 법률, 2011년 산림보호법 개정에 의한 산림보호구역 설정으로 현재의 제도가 확정되었다(산림청, 2010).

산림보호구역은 산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률 (법제처, 2013)에 의해 수원함양의 목적을 달성하기 위하여 산림을 보호구역으로 지정할 수 있도록 규정하고 있다. 그 중에서도 수원함양 보호구역은 수원 함양 및 홍수방지 또는 상수원의 수질 보호를 위해 필요로 하는 지역을 지정하고 있다.

현재의 보호구역은 대부분 산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률(이 제정되기 이전 산림법 규정에 의해 지정 되었고, 그 후 본연의 기능이 상실 되거나 감소되는 경향을 보이고 있다. 1963년 보호구역 면적은 1,047,449ha로 최대로 지정되었으나, 2008년 말 301,105ha로 감소하였고, 이중 수원함양보호구역의 면적은 총 272,330ha로 산림 보호구역중 가장 큰 면적을 차지하고 있다.

최근 산림의 수원함양기능이 중요성이 점차 커지고 있어, 보호구역 목적에 따른 보호구역 지정 및 관리가 중요해지고 있지만, 해제 산림 보호구역 중 수원함양기능이 차지하는 비율은 면적상 80%에 이르러 다른 기능 목적의 보호구역보다 해제율이 높다. 또한 전체적으로 보호구역 면적이 감소하는 추세에 있는 것은 보호구역 해제뿐만이 아니라 보호구역으로 추가 지정된 사례가 없기 때문이다.

표 1. 연도별 산림 보호구역 해제 현황 (단위: ha)

년도	재해방지	생활환경	수원함양	경관	유전자 보호	계
2007	417.3 (158)	0.6 (1)	7,143/4 (2,146)	1,785.3 (485)	8.0 (4)	9,354.6 (2,794)
2008	716.9 (233)	-	15,309.4 (5,793)	1,060.7 (280)	-	17,087.0 (6,406)
2009	145.9 (166)	-	3,124.1 (2,348)	2,812.5 (236)	-	6,082.5 (2,700)
2010	350.2 (471)	-	2,638.8 (1,734)	52.6 (41)	-	3,042.4 (2,249)
2011	96.2 (244)	-	2,596.8 (1,474)	32.2 (76)	2.2 (9)	2,727.4 (1,803)
총계	1,630 (1,222)	0.6 (1)	30,812.5 (13,495)	5,743.3 (1,118)	10.2	38,293.9 (15,852)

(손학기, 2012)

산림보호를 통해 산림이 관리가 되면 산림의 수량과 수질에 영향을 끼치며(US Environmental Protection Agency, 1993), 적절 수준의 간벌 등을 통한 산림관리는 수량 증대의 효과가 있는 것으로 밝혀졌다(Eschner et al., 1963; Moring et al., 1975; Dickerson, 1975).

일반적으로 간벌은 토양과 생육환경을 개선시켜 산림 식생의 생장을 증진시키는 것으로 알려져 있다(Mufioz et al., 2008). 또한 간벌로 인한 수관 소개는 산림 내부의 미기후 조건들을 변화시켜 수목에 의한 강우의 직접 차단과 증발산에도 영향을 끼치는 것으로 나타났다(Wang et al., 1995). 배상원(2010)의 연구에 따르면 간벌 실시 후 4년이 지난 후에도 간벌에 의한 유입량 증가로 인해 수관의 강우 차단율 감소가 지속되는 것으로 나타났으며, Son(2004)의 연구에서도 재적의 40%를 간벌하면 수관에 의한 강우 차단율이 26.6%에서 18.1%로 감소하는 것으로 밝혀졌다.

3. 소결

산림청에서는 지난 2000년부터 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강 등 5개 강 유역 산림 18,192ha를 수원함양림으로 조성하고 있고, 수량 증대, 수질 개선 등에 직접적인 효과가 있는 댐유역 산림을 수원함양이 뛰어난 산림으로 만들기 위해 산림 시업을 실시하고 있다.

수원함양기능증진을 위해서는 해당되는 산림 유역을 유역 전체를 하나의 광역적 시스템으로 통합하는 관리 및 보호하는 것이 효과적이지만, 넓은 면적을 수원함양 보호구역으로 지정하면, 지역 민원 등 갈등을 유발 할 수 있어서 세심한 검토가 요구된다.

산림의 상태는 유역의 물 순환 과정과 밀접한 관계를 가지기 때문에, 수원함양기능이 높은 지역을 보호구역으로 설정하기 위해 산림의 물리적, 생태적, 사회·경제적 여건에 따른 우선순위를 부여하여 종합적으로 평가함으로써 우선순위를 부여하여 정량적으로 평가하여 향후 수원함양보호구역 지정시 타당한 근거를 두고자 하였다.

Ⅳ. 수원함양기능평가지표개발

1. 지표도출

본 장에서는 산림의 수원함양에 영향을 미치는 지표를 도출하고자 하였다. 산림기능평가, 산림입지인자평가, 산림 수순환 관련 연구들을 종합하여 후보지표목록을 작성한 후 유사하고 상관성이 높은 항목들을 물리적·생태적·사회적·경제적 요소로 구분하여 후보목록을 도출하였다. 최종 지표 도출을 위해 전문가 인터뷰를 실시하고 그 결과를 토대로 지표를 선정하였다.

1) 수원함양평가 항목 검토

산림기능평가, 산림입지인자, 산림 수문 등의 수식어가 포함된 국내·외 선행연구를 선별하여 산림수문과 관련된 지표와 분석 대상 지표를 종합하였다. 수원함양기능 평가체계 구축을 위해 국내·외에서 수원함양기능 지표 선정 및 평가에 관련된 다수의 문헌을 고찰 한 후, 지표로서 활용 가능성이 있는 문헌을 선정하였다. 산림이 가지는 수원함양능력을 측정할 수 있는 지표를 도출하기 위해 고려할 수 있는 후보 지표목록을 도출 한 후 유사하고 상관성이 높은 항목들을 종합하여 단순화한 지표를 도출하고자 하였다.

표 2. 국내 산림 연구 중 수원함양기능 평가항목

중분류	김경하 외 (2003)	김종호 외 (2007)	김형오 (2005)	국립산림과학원 (1992)	박재현 외 (2001)
모암			○	○	○
표고			○	○	○
지질					○
방위					○
경사			○	○	○
토양층위					○
토성		○			○
토양형			○	○	○
퇴적양식					○
토심					○
토양견밀도	○		○	○	○
임상			○	○	○
임령			○	○	○
경급			○	○	
임목축적					○
수고					○
흉고 직경	○				○
상층산림					○
지하고					○
하층식생 피복도	○				○
부식층 및 낙엽층의 두께					○
강수량			○	○	
집수면적			○	○	
사면형태			○	○	
수계밀도	○				

종합한 지표들을 물리적, 생태적, 사회·경제적, 기타 여건으로 구분을 하였다. 물리적 여건 평가 요소로는 모암, 표고, 지질, 방위, 경사, 토양층위, 토성, 토양형, 퇴적양식, 토심, 토양견밀도가 도출되었고, 생태적 여건 평가 요소로는 임상, 임령, 경급, 임목축적, 수고, 흉고직경, 상층산림, 지하고, 하층식생 피복도, 부식층 및 낙엽층의 두께가 도출되었다. 사회 경제적 여건으로는 도로와의 거리, 토지이용, 소유권이 도출되었으며, 기타적인 요소는 강수량, 집수면적, 사면형태, 수계밀도가 도출되었다.

표 3. 수원함양기능 평가 요소 종합과 분석대상 변수 도출

평가요소 종합	변수도출
물리적여건	모암
	표고
	지질
	방위
	경사
	토양층위
	토성
	토양형
	퇴적양식
	토심
	토양견밀도
생태적여건	임상
	임령
	경급
	임목축적
	수고
	흉고 직경
	상층산림

	지하고
	하층식생 피복도
	부식층 및 낙엽층의 두께
사회·경제적 여건	도로와의 거리
	토지이용
	소유권
기타	강수량
	집수면적
	사면형태
	수계밀도

전문가 인터뷰를 통해 평가자료의 부족(퇴적양식, 토양형 등)과 수원함양기능평가와 관련없는 지표(방위 등) 등 본 연구의 범위에 벗어나는 것은 제외하였으며, 후보목록을 도출하고. 최종 지표 도출을 위해 전문가 인터뷰를 수행하였다.

표 4. 수원함양기능평가지표 도출을 위한 설문항목 설정

지표	의미
경사	경사가 클수록 유속이 빨라짐
토성	수분을 보유할 수 있는 특성 구분
밀도	수목의 밀도에 따라 식생의 강우 차단율이 달라짐
임령	식생이 잘 자라는 지역은 식생 활착률이 좋음.
임상	임상에 따라 입면적지수가 변화되어 증발산량이 달라짐

다음으로 수원함양기능지표의 중복선정을 피하고, 누락된 지표를 재선정하기 위해 전문가들과 브레인스토밍 과정을 수행하였다. 산림의 수원함양 관련된 지표들 중 수원함양기능 지표를 선정하였다. 이상의 과정을 통해 총 5개의 지표를 대표지표로 통합하였다.

2. 지표별 평가방법

1. 물리적여건

(1) 토성

토성이란 토양의 성분으로 B층 토양의 모래·미사·점토의 함량을 의미한다. 산림의 수원함양기능은 토성에 따라 수분 함유량이 달라지고, 토양의 투과성 또한 달라져 유출에도 영향을 미친다(Bedient, 1992). 토질에 따라 토양이 점점 습해지는 시간이나, 토양의 습도를 유지하는 것이 다르게 나타나며(ANCTIL et al., 2002) 산림이 수분을 간직 할 수 있는 보수력은 토성과 직접적으로 관련이 있다고 볼 수 있다(Eschner, 1963).

표 5. 토성구분

구 분	구분기준
사 토	흙을 물에 묻혀 손으로 비볐을 때 거의 모래만으로 감지되는 토양(점토의 함유량이 10%이하)
양질사토	모래가 2/3이상인 토양(점토의 함유량이 15%)
사질양토	모래가 대략 1/3~2/3인 토양(점토의 함유량이 20%이하)
미사질양토	미사 1/2이상, 모래 1/2이하인 토양(점토의 함유량이 27%이하)
양 토	모래와 미사가 대략 1/3~1/2씩인 토양(점토의 함유량이 27%이하)
사질식양토	모래 1/2이상, 미사 1/4이하인 토양(점토의 함유량이 20~35%)
식양토	모래와 미사가 대략 1/5~1/2씩인 토양(점토의 함유량이 27~40%)
미사질식양토	미사 1/3~2/3, 모래 1/4이하인 토양(점토의 함유량이 27~40%)
미사질식토	모래 1/5이하, 미사 2/5~2/3인 토양(점토의 함유량이 40%~60%)
식 토	점토가 대부분인 토양(점토 함유량이 50% 이상)

※ 모래 : 입경 2~0.05㎜, 미사 : 입경 0.05~0.002㎜, 점토 : 입경 0.002㎜이하

산림입지도에서는 10가지 구분항목 (양토, 미사질양토, 식양토, 미사질 식양토, 양질사토, 사질식양토, 사양토, 미사질식토, 사토, 식토)으로 토성을 등급화 하였다. 김경탁과 최윤석(2004)는 토성, 배수등급, 투수성, 투수저해토층의 유무 및 출현깊이, 지하수위 등 침투수량을 지배하는 요인들을 적용하여 토양을 구분하였다.

본 연구에서는 SCS 기준을 토대로 우선순위를 부여하였는데, SCS 기준은 유출량 실측 자료 없이 유역의 수문학적 토양특성과 식생 피복 상태 등에 대한 자료만으로도 유출량을 산정(윤용남, 1998) 할 수 있기 때문이다.

표 6. 토성별 구분

구분	토양도 내 분류	유효 저류능 (㎤/㎝)	최소침투속도 (㎜/hr)	SCS 분류
모래(sand)	사질	0.35	8.27	A
양질사토 (Loamy Sand)		0.31	2.41	
사질양토 (Sandy Loam)	사양질 / 미사사양질	0.25	1.02	B
양토(Loam)		0.19	0.52	
미사질양토 (Silt Loam)	식양질 / 미사식양질	0.17	0.27	C
사질식양토 (Sandy Clay Loam)		0.14	0.17	
식양토(Clay Loam)	식질	0.14	0.09	D
미사질 식양토 (Silty Clay Loam)		0.11	0.06	
사질점토 (Sandy Clay)		0.09	0.05	
미사질 점토 (Silty Caly)		0.09	0.04	
점토(Clay)		0.08	0.01	

(환경부, 2008)

(2) 경사

경사의 크기에 따라 그 지역의 토심이 다르며, 일반적으로 경사가 낮을수록 토심이 깊어 상대적으로 수원함양기능이 높아진다(김재훈, 2003). 유역의 지표경사는 물의 유출에 크게 영향을 미쳐 경사가 급한 지역에서는 빠르게, 그리고 경사가 완만한 지역은 상대적으로 느리게 유출되며, 경사에 따라 지중으로 침투되는 속도와 양이 다르게 나타난다.

경사는 사면에서 나타나는 토양수분의 분포와 거동은 유역에서의 물 순환을 이해하기 위한 핵심 요소(Zhang and Berndtssm, 1991)로, 경사각에 따라 종종 산림을 파편을 만들며(Iverson et al., 2004), 격한 경사의 경우 하천의 흐름을 만들어 내어(Sidle et al., 1985) 물의 이동 뿐 아니라 토양의 유실 등 토양의 침투와 배수, 유출에 영향을 준다(Nyberg, 1996).

Hudson(1936)은 경사지역을 경사 5도 마다 구분하였다. 경사가 없는 평탄지에서는 문제가 되지 않으나 경사가 급한 곳은 유출수 속도가 증대되기 때문에, 경사도 10도 이상 되는 지역은 유속이 급격히 빨라짐을 알 수 있다(환경부, 2004). 본 연구에서는 토양 수분을 결정하는 물리적 요소인 경사 구분 기준을 산지구분조정지침을 토대로 부여하였는데, 그 이유는 산림의 수원함양평가를 위해 경사를 구분 할 경우, 국내 산림의 특성상 완만한 경사보다, 급경사 지역이 많기 때문에, 국내 특성을 반영하여(Famiglietti, 1998)다음과 같이 산지구분조정지침을 토대로 우선순위를 부여하였다.

표 7. 경사도에 따른 지형도 구분

경사	Hudson, G.D (1936)	산지구분조정지침 (2008)
0~5°	평탄지	완경사지
5~10°	완경사지	
10~15°	준완경사지	
15~20°	급경사지	경 사 지
20~25°	급준경사지	급경사지
25~30°		험 준 지
30°이상		절 험 지

2. 생태적여건

(1) 밀도

산림의 밀도에 따라 임내로 유입되는 광량이 증가함에 따라 광합성량이 변화(Son et al., 2004; Wang et al., 1995)되고 하층의 식생도 변화하게 된다. 산림 내 임분 밀도조절은 햇빛의 통과량을 증가시켜 하층식생이 잘 살 수 있는 환경을 만들고 이들 식물은 비가 올 때 산림 토양 유실을 감소시키는데 큰 역할을 하게 되며, 산림 토양 입자 등 사이에 공간이 생겨 더 많은 물을 저장할 수 있다(산림청, 2010).

산림은 임지의 침투와 투수성을 개선·유지하여 강수가 토양수분으로 전환되게 하지만, 임관의 차단작용은 토양수분으로 전환할 수 있는 강수를 감소시킨다. 즉 이와 같은 상반된 작용은 강수 발생 이후의 토양수분 상태에 영향을 미칠 뿐만 아니라 증산에 의한 토양수분의 소모와 임지면 증발에 따른 토양수분의 소모 억제에 관계한다. 본 연구에서는 밀도를 산림 내에서 입목들의 수관이 그 산림을 덮고 있는 정도로 정의 하였다.

또한 식생에 의한 강우 차단효과는 강우량이 증가할수록, 침엽수에 비해 활엽수와 혼효림지역에서 상대적으로 더 크게 나타나며, 동일한 토질 조건에서 식생 밀도가 높은 지역이 낮은 지역보다 빗물침투가 상대적으로 적기 때문에 투과율이 높아(이문세, 2009) 수원함양에 영향을 미친다. 본 연구에서는 우리나라 산림의 특성을 반영한 산지구분조정지침에 따라 구분하였다.

표 8. 산림 밀도 구분

구 분	구분기준
소	수관밀도가 40%이하 산림
중	수관밀도가 41~70%인 산림
밀	수관밀도가 71%이상인 산림

(2) 임상

산림의 수원함양에 가장 큰 영향을 끼치는 요소 중 하나는 현존 식생으로, 산림은 임목의 생장에 따라 경쟁에 의한 층위의 발생과 수관면적의 확장이 동반되면서 임관이 울폐 되면 강수의 유입이 차단되고, 엽량이 많아지면서 수분증발산이 활발해져 수분 손실량이 커진다. 또한, 임내의 광 환경 조건이 임목 및 하층식생의 생육에 불리한 조건으로 변하기 때문에 하층식생도 점차적으로 사라져 지피식생이 거의 없는 상태로 진행이 된다. 토양공극의 보호원이자 유기물의 공급원인 하층식생이 없어지는 일련의 과정은 결국 토양의 물리성과 이화학성을 나쁘게 해 궁극적으로 산림의 수자원 저류기능의 저하를 초래한다.

산림유역의 유출량은 산림이 임상에 따라 다르게 나타난다. 2003년 광릉 활엽수림과 침엽수림의 유출량 측정 변화(김경하, 2003)를 살펴보면 대체적으로 활엽수림이 침엽수림보다 유출량이 많았다.

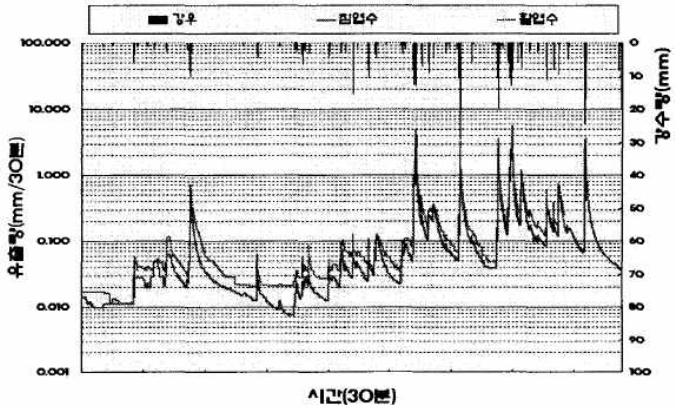


그림 3. 광릉 활엽수림과 침엽수림의 유출량 변화(김경하, 2003)

비가 온 후 곧 빠져나가는 직접 유출량은 나지가 강우량의 65%인데 비해 우량한 활엽수림은 12%, 20년생 침엽수림은 22%, 불량한 혼합림은 51%로서 활엽수림이 가장 적게 나타나 활엽수림의 상대적 물 저장량이 월등히 크다(김경하, 2003).

홍수기의 유출률을 보면 혼합림>활엽수림>침엽수림 순으로서 혼합림은 토심이 얕아 수원함양능력이 적은 반면 침엽수림은 차단과 증산량에 의한 손실량이 많다. 갈수기의 유출률은 활엽수림>혼합림>침엽수림 순으로서 활엽수림은 토심이 깊고 공극이 잘 발달 되어 수원함양능력이 크다(정용호 외, 1991). 또한, 활엽수와 혼효림으로 피복된 지역은 침엽수로 피복된 지역보다 식생에 의한 수원함양 효과가 더 크게 나타난다 (이문세 등, 2009).

엽면적 지수가 큰 활엽수종으로 이루어진 산림에서는 강우의 차단이 증가하여 하천유출수량은 감소하는 경향을 보이며(Waring, 2007), 하층 식생과 움푹 들어간 곳들은 유역차원에서 흐름을 지연시킴으로써 수문곡선의 최고값을 낮추고 첨두유량에 이르는 시간을 지연시키게 된다. 이것은 동시에 유속에너지를 감소시켜 토양과 영양소 유실을 감소시켜 수질보호에도 작용한다(이도원, 2003). 미국 동남부 삼림에서는 활엽수림을 침엽수림으로 바꾸었을 때 잎면적(leaf area)이 늘어남에 따라 비와 눈의 차단이 증가하고 증발산이 200㎜ 이상 늘어나서 하천으로 흘러드는 물의 양이 줄어들었다(Swank & Douglas, 1973). 피지에서는 초지에서 침엽수림으로 식생이 변하자, 유출량이 50~60%가 줄어 물 공급에 큰 어려움을 겪기도 했다(Gregersen, 1987). 정용호 등(2004a,b) 실험결과에서도 침엽수림과 활엽수림은 첨두유출량은 비슷하였으나, 강우 종료 후 유출량에서는 차이를 보였다. 침엽수림이 활엽수림에 비해 유출량이 빠르게 감소하였고, 특히 봄철에 차이가 크게 나타났다. 본 연구에서는 활엽수림, 혼효림, 침엽수림 순으로 우선순위를 부여하였다.

표 9. 홍수기 및 갈수기의 유출량(82~91) 단위 : mm

구분	강수량		유출량		유출률(%)	
	홍수기	갈수기	홍수기	갈수기	홍수기	갈수기
혼합림	886	433	730	211	82	49
활엽수림	862	472	552	274	64	58
침엽수림	862	472	487	160	56	34

※홍수기 : 7-9월, 갈수기 : 나머지 월 (임업연구원보고서, 1991)

3) 임령

수관층에 의한 강우 차단 율은 수종 및 임령에 따라 다양한 결과를 나타내는데 (이현규, 1998; 박영대; 1999) 이러한 수관의 강우 효과는 강우 강도가 낮을수록 커지는 경향이 있으며, 수관 차단량은 잎의 면적과 비례하게 된다. 또한 임령이 높은 산림의 경우 임령이 증가함에 따라 낙엽층의 두께도 많아진다. 이 낙엽층은 수문학적 순환에서 매우 중요한 요소로서, 낙엽층 자체가 물을 머금기도 하고, 토양으로의 침투를 차단하기 때문이다. 낙엽층의 두께는 물을 머금을 수 있는 양을 결정한다(강민석, 2011).

나무의 임령이 높을수록, 나무가 클수록 굵은 나무뿌리가 토양에 파일처럼 박히는 파일효과와 잔뿌리들이 미생물과 얽혀 촘촘히 그물망을 형성해 토사유출을 막고 수분을 머금어주는 네트워크가 크며, 유기물 층의 발달은 조공극량이 많이 분포하는 A층의 형성에 큰 영향을 미친다(김재훈, 2003). 식생 피복은 그 규모와 정도에 따라 지면의 토양 수분 함량에 영향을 준다 (Hall et al, 1993; Keim et al., 2003).

식생이 잘 자라는 식물이 잘 자랄 수 있는 여건을 가지고 있고, 식생이 잘 자랄수록 식생이 뿌리가 충분히 깊고 튼튼히 박혀 토양 공극을 좋게 하고 또 식생의 뿌리가 보강역할을 하고(차경섭, 2006), 유역의 유출량조절효과를 판별할 수 있는 유출량-지속 기간 곡선 분석 결과 산림이 생장함에 따라 홍수 유출 조절 효과가 커지는 것(김경하와 정용호, 2006)으로 밝혀져 식생의 임령은 수원함양기능 측면에서 매우 중요하다. 또한, 임령이 오래된 임목일 경우 그 하부에 낙엽층이 많다. 낙엽층이 수분을 저류할 수 있고, 토양에서 증발하는 수분을 차단하여 토양의 함수율을 증가시켰다. 수고가 큰 식생들은 표면차단을 저지(Dawson, 1998; Ingraham, 1995)하고, 식생은 뿌리가 깊을수록 물의 소비가 줄어든다(Scott et al., 2000).

임령이 어린 나무의 경우 일반적으로 물의 양에 불균형하게 영향을 끼치며(Vertessy, 2001; Irvine, 2004), 나이가 많아질수록 뿌리(근계)의 확장범위가 넓어지고 장대해져 저장할 수 있는 물의 양이 증가하게 되고 수질정화기능도 높아지게 된다.

표 10. 임령의 증가에 따른 물 저장량 증가 (단위 : ton/ha)

임령(년)	20	30	40	50	60	70
저장량	2,099	2,401	2,616	2,782	2,918	3,033
증가율	14	9	6	5	4	

(임과 물의 과학, 1989)

우리나라 산림의 물 저장 가능량은 180억톤(ha당 2,780톤)으로 추정되어 다른 나라에 비해 상당히 낮은데 그것은 산림의 80%가 30년생 이하여서 생장에 따른 물의 소비가 많은 한편 토양 깊이가 낮기 때문이다. 그러나 임령이 증가하면 토양이 개선되므로 물 저장량이 증가하는데 임령증가에 따른 저장량 및 증가율은 초기에는 상당히 빠르게 증가하다가 점차 완만해 지기 때문에, 본 연구에서는 임령 순으로 분류하였다.

표 11. 임령별 구분기준

구 분	구분기준
1 임령	임령 1~10년생 입목의 수관점유 비율이 50%이상인 산림
2 임령	임령 11~20년생 입목의 수관점유 비율이 50%이상인 산림
3 임령	임령 21~30년생 입목의 수관점유 비율이 50%이상인 산림
4 임령	임령 31~40년생 입목의 수관점유 비율이 50%이상인 산림
5 임령	임령 41~50년생 입목의 수관점유 비율이 50%이상인 산림
6 임령	임령 51년생 이상 입목의 수관점유 비율이 50%이상인 산림

3. 수원함양보호구역의 설정 절차 및 방법

산림수원함양기능을 보호하기 위한 산림 중 우선순위가 높은 지역을 추출하기 위해 계량화 된 평가 기준을 적용하여 다음 그림의 선정 절차에 따라 주요 산림수원함양보호구역을 선정하였다. 이에 따르면 보호구역 지정에 따른 민원 등의 문제점을 최소화하기 위해 전문가 인터뷰를 통해 결정된 각 평가항목에 따른 우선순위를 부여하였다.

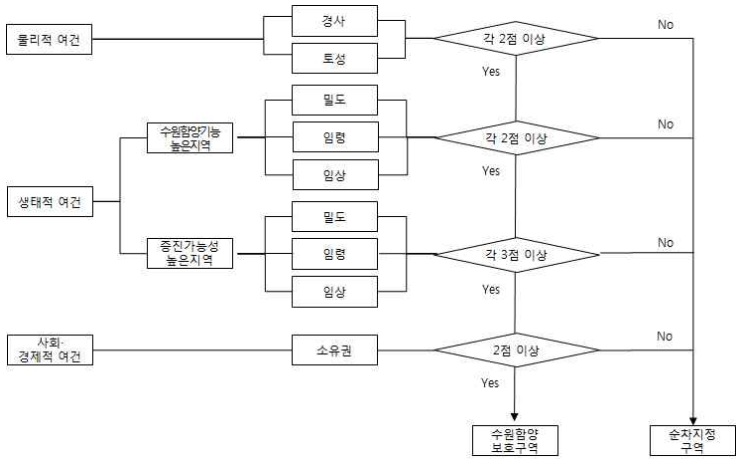


그림 4. 보호지역 선정 절차

주요 평가항목인 산림의 물리적 여건 및 생태적 여건, 사회·경제적여건, 중 물리적 여건은 인위적으로 변경시킬 수 없으므로 우선선정하였다. 이 조건이 만족 되는 경우 임상과 토양 발달의 상태는 수종선택으로 개선 할 수 있으므로 생태적 여건은 그 다음 순위를 두었다. 생태적 여건의 경우 현재 수원함양기능이 높은 지역과 수원함양 증진 가능성이 높은 지역으로 나누어

선정하였다. 물리적 여건과 생태적 여건을 평가해 일정한 점수 이상이 되는 경우 사회·경제적 여건을 평가하여 해당 산지를 수원함양보호구역으로 선정하도록 하였다.

다음의 조건을 만족하는 지역을 수원함양 보호구역으로 선정하였다.

물리적 여건으로 투수성과 배수성이 매우 나쁜 4등급 식질토를 제외(김종호 등, 2007)한 토성 점수가 2점 이상, 30° 이상의 급경사일 경우 침투량,이 매우 낮고 유속이 빨라 수원함양기능이 매우 저하되기 때문에(김재훈, 2003) 경사 점수가 2점 이상인 지역을 선정하였다.

생태적 여건으로는 수원함양기능 증진 가능성이 높은 지역 평가에서는 수관이 울폐되어 강수의 차단과 증발산량이 증가하여 수분의 손실이 많아지게 되는 침엽수림(배상원 등, 2010)인 임상 점수가 3점, 수원함양기능의 증진을 위해 산림 시업을 필요로 하는 임령 30년생 이상(정용호, 2004)인 임령 점수는 3점 이상, 수관이 울폐되어, 강수의 차단과 증발산이 증가하여 수분의 손실이 많아지게(Bosch와 Hewlett, 1982)되는 밀한 지역이 3점인 지역을 선정하였다.

수원함양기능이 높은 지역 평가에서는 수원함양 기능이 높은 월동 중 낙엽이 져서 증발작용이 정지되는 활엽수림(Anderson et al., 1976)이 3점, 수원함양증진을 위한 표층 토양의 조공극이 촉진되는 피복밀도인 30%~80%(박재현, 2001)을 3점으로, 임령의 경우 수원함양기능 증진 가능성이 높은 지역과 동일한 기준으로 등급화 하였다. 사회·경제적 여건으로 국유림 조건을 충족하는 산림의 경우 수원함양보호구역으로 선정하였다.

평가 지표를 실제로 적용하기 위해서는 평가 등급을 재구성해야 할 필요가 있어 수원함양기능능력을 고려하여 등급을 재구성하였다.

표 12. 지표 등급 재구성

구분	지표	평가 등급 기준				
		5	-	-		1
물리적 여건	토성	사질	사양질/ 미사사양질	식양질/ 미사식양질		식질
	경사	0~15°	15~20°	20~25°	25~30°	30° 이상
생태적 여건	수원함양기능증진 가능성 높은 지역 평가					
	밀도	밀	중	소		
	임상	침엽수림	혼효림	활엽수림		
	임령	41년생이상	31~40년생	21~30년생	11~20년생	1~10년생
	수원함양기능이 제일 높은 지역 평가					
	밀도	중	밀	소		
	임상	활엽수림	혼효림	침엽수림		
	임령	21~30년생	31~40년생	41년생이상	11~20년생	1~10년생
사회·경제적여건	소유권	유		무		

4. 사례지역 적용

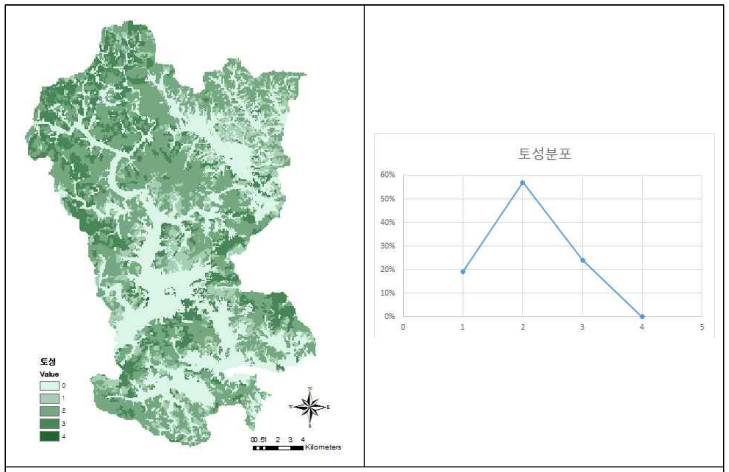
본 장에서는 3장에서 개발한 산림수원함양기능평가지표를 장흥댐 유역에 시범적용 하였다.

(1) 개별지표 평가결과

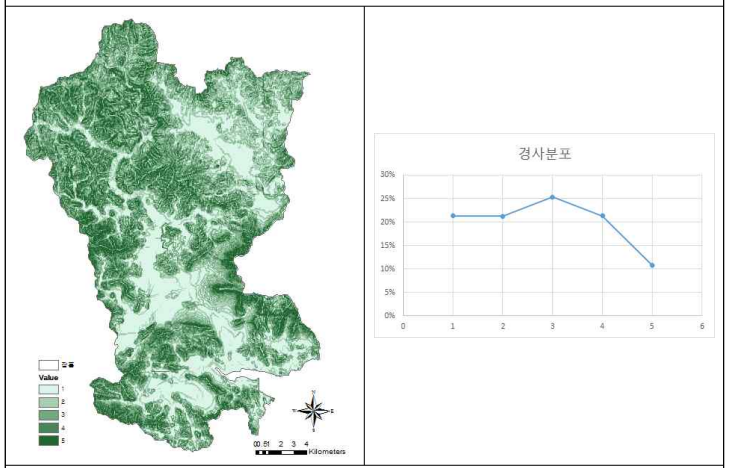
1) 물리적 여건 평가

물리적 여건 평가의 지표인 토성과 경사에 대해 평가하였다.

토성의 경우 2등급인 식양질 미사 식양질 토양이 57%로 가장 많이 분포하였다. 4등급인 사질토양은 1%미만으로 분포하였다. 경사의 경우 등급별로 비교적 고르게 분포하였으며 완경사지인 5등급 지역이 제일 적게 분포하였다. 유역의 상류 쪽인 북서쪽 지역이 토성의 점수가 높게 평가 되었고 유역 하류쪽 일수록 토성의 점수가 낮았다. 이는 유역의 상류에 위치할수록 공극이 풍부한 토양구조로 이루어져 있기 때문에 빗물의 침투가 용이한 토양이 분포 되어있기 때문으로 보인다. 경사의 경우 유역 상류 쪽과 유역의 남동쪽이 높게 평가 되었는데, 표고가 높아 경사의 점수도 높게 평가되었다.



토성 평가결과



경사 평가결과

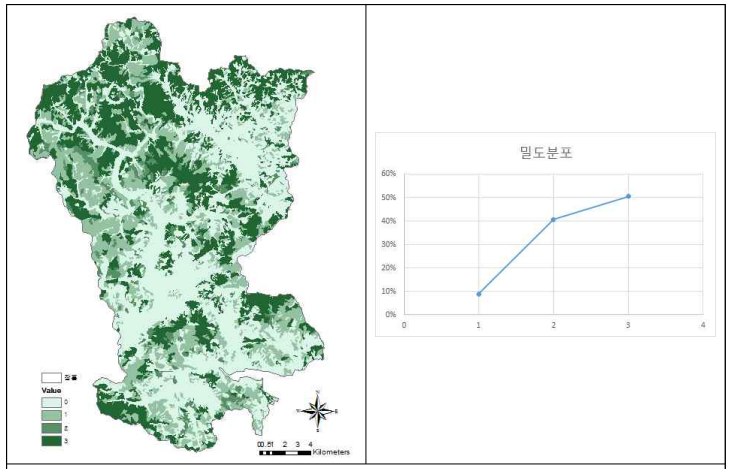
그림 5. 물리적 여건 평가

2) 생태적 여건 평가

생태적 여건 평가 지표인 밀도, 임상, 영급의 평가결과는 다음과 같다.

밀도의 경우 3등급 지역이 51%, 2등급 지역이 41%로 분포하였으며, 임상의 경우 1등급인 활엽수림이 52%로 가장 많이 분포하였다. 영급의 경우 3~4등급의 임령 30~50년생 입목이 가장 많은 비율을 차지하였다.

밀도가 높은 지역들은 주로 탐진강 유역을 따라 분포 하였다. 임상의 경우 주로 탐진강 유역산림이 수원함양기능이 높은 활엽수림이 많이 분포 하였고, 북동쪽 지역에 침엽수림이 주로 분포하였다. 영급의 경우 청년기에 속하는 3~4등급의 수목들이 유역 전체에 고루 분포 하였고 유역 상류쪽인 북동쪽 지역이 5등급이상의 수목들이 많이 분포하였다.



밀도 평가결과

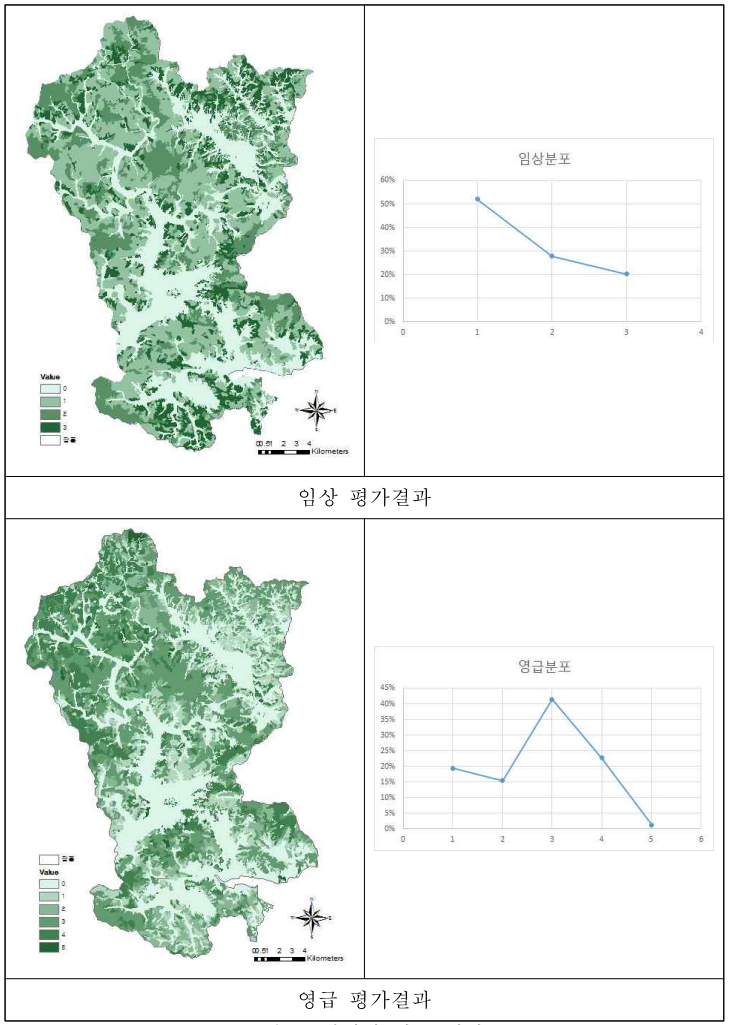


그림 6. 생태적 여건 평가

(2) 단계별 평가결과

1) 물리적 여건 평가

물리적 여건으로 토성 점수가 2점 이상, 경사 점수가 2점 이상인 지역을 선정하였다.

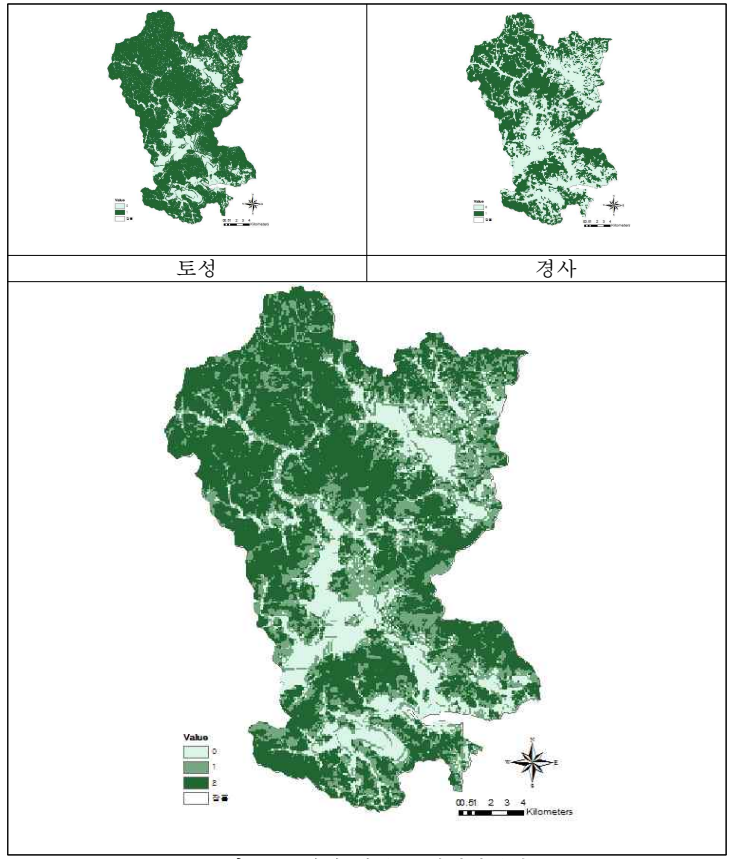


그림 7. 물리적 여건 종합평가결과

2) 생태적 여건 평가 - 수원함양기능증진 가능성 높은 지역 평가

생태적 여건으로는 임상 점수가 3점 이상, 임령 점수는 3점 이상, 밀도 점수의 경우 3점 이상인 지역을 선정하였다.

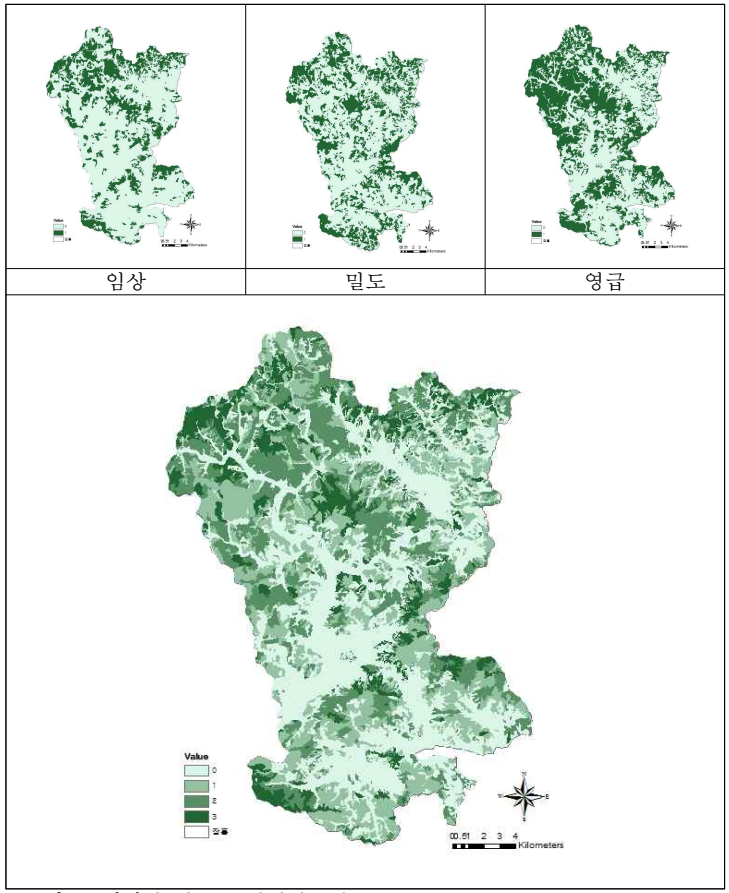


그림 8. 생태적 여건 종합평가결과 - 수원함양기능증진 가능성 높은 지역 평가

2) 생태적 여건 평가 - 수원함양기능이 제일 높은 지역

생태적 여건으로는 임상 점수가 3점 이상, 임령 점수는 3점 이상, 밀도 점수의 경우 3점 이상인 지역을 선정하였다.

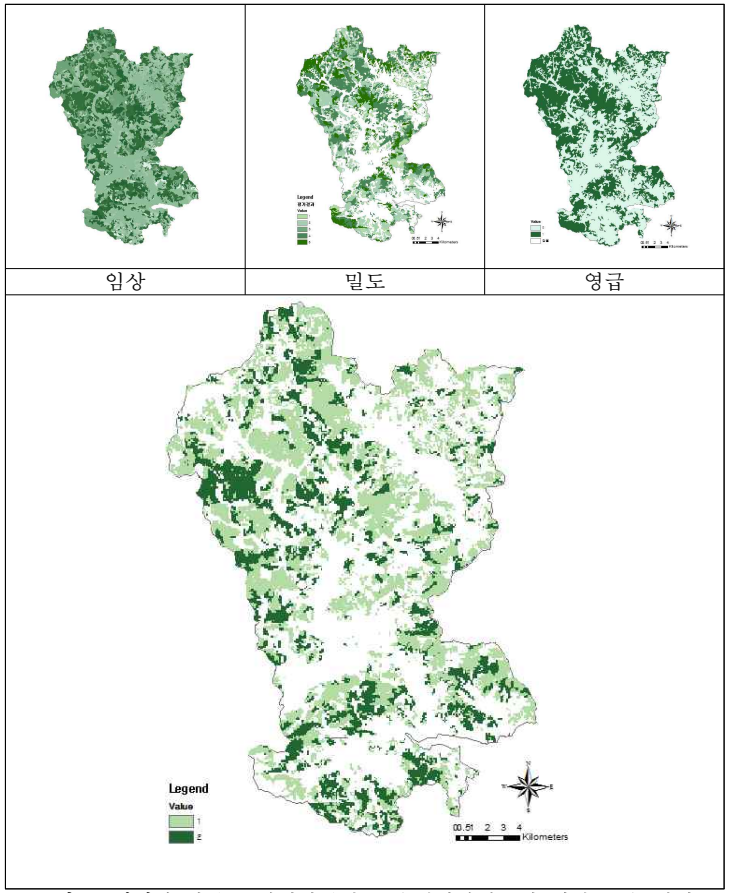


그림 9. 생태적 여건 종합평가결과 - 수원함양기능이 제일 높은 지역

3) 사회·경제적 여건평가

사회·경제적 여건으로 국유림 조건을 충족 유무로 평가하였다.

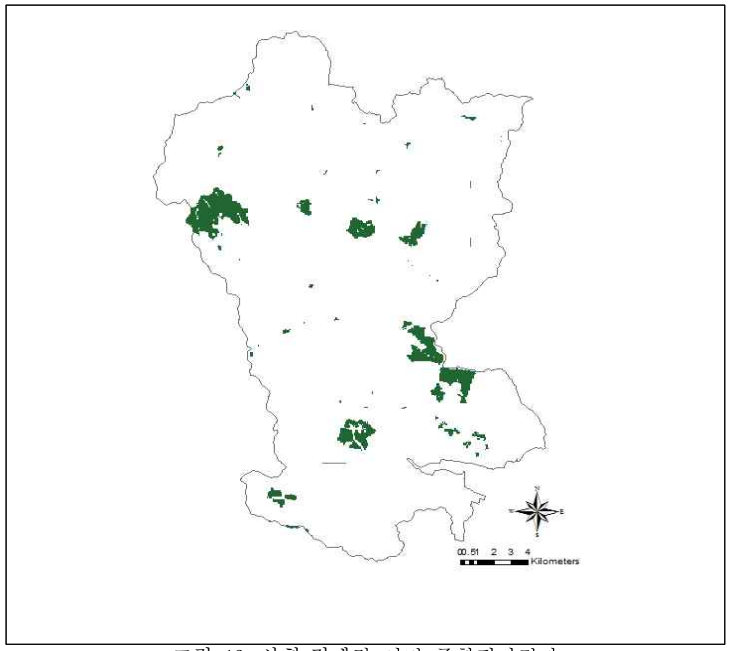
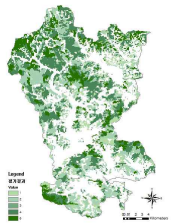
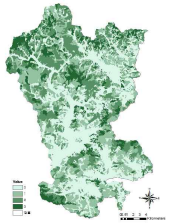
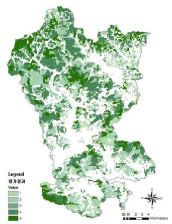
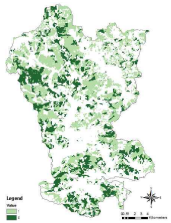
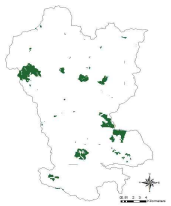


그림 10. 사회·경제적 여건 종합평가결과

(3) 보호지역 설정

앞서 4장에서 설정한 방법대로 물리적 여건, 생태적 여건, 사회·경제적 여건 순으로 분석한 결과는 다음과 같다.

수원함양기능증진 가능성 높은 지역 평가		
		
물리적여건	생태적 여건	사회·경제적 여건
수원함양기능이 제일 높은 지역		
		
물리적여건	생태적 여건	사회·경제적 여건

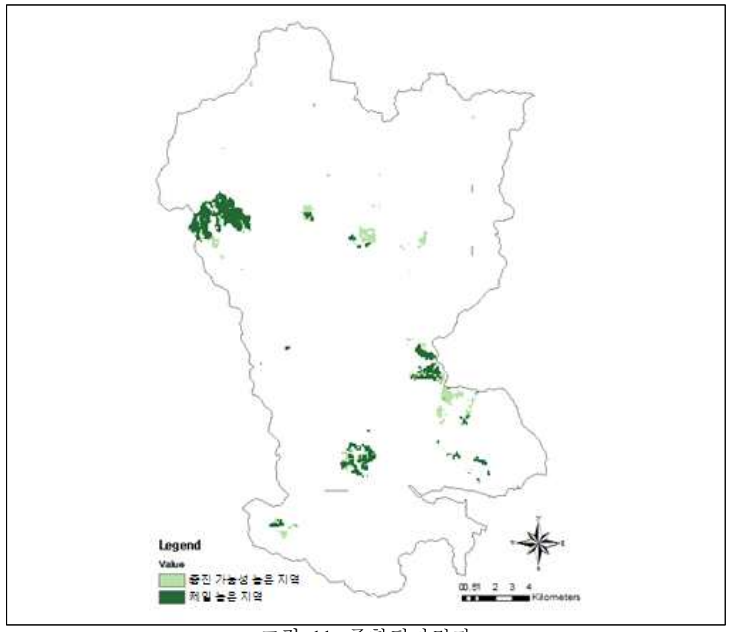


그림 11. 종합평가결과

본 연구를 통해 장흥댐 유역의 수원함양보호구역의 면적은 약 132ha로 장흥댐 유역의 0.6% 정도의 면적이다. 이 면적 중 현재의 수원함양기능이 높은 지역으로 평가 된 지역은 전체 지정 면적의 78%인 103ha로 나타났다. 수원함양기능의 증진 가능성이 높은 지역은 29ha로 나타났다.

수원함양기능의 증진 가능성이 높은 지역을 지속가능한 산림자원 관리 지침 중 수원함양림의 조성·관리 지침에 따라 수관울폐도(樹冠鬱蔽度)를 50~80% 수준으로 유지할 수 있도록 숲가꾸기 사업을 실시하여, 수관에 의해 차단되는 강우 손실량을 줄이고, 임목 밀도를 낮추고, 가지치기 등을 통해 증산 손실량을 감소시키면, 연간 약 23ton의 이용가능한 수자원을 증진시킬 수 있을 것으로 기대된다.

연구대상지인 장흥을 대상으로 수자원장기종합계획을 기준으로 용수공급량과 용수과부족량을 산출한 결과 생활용수 필요량보다 49백만㎥/년 만큼 부족한 것으로 나타났다. 산림 관리를 통해 연간 23ton이 공급될 경우 약 필요 용수의 5%를 확보하는 효과가 발생한다,

전국적으로 기존의 댐유역과 5대강 유역을 대상으로 본 연구의 결과를 확장적용 할 경우 새로이 지정되는 보호구역 면적은 약 96,560ha가 새로 지정되는 것으로 분석되었으며, 해당 지역을 본 연구결과에 따라 5,354ton의 수원증진 효과가 있을 것으로 나타났다.

Ⅶ. 결론

산림 유역 내에서의 수순환은 매우 복잡하게 나타나기 때문에, 많은 선행 연구들에도 불구하고 다양한 수종, 영급, 토성, 관리 정도의 차이로 실제의 변화량을 추정하기란 매우 힘들어, 본 논문에서는 산림 유역의 수순환에 가장 큰 영향을 주는 식생에 의한 증발산량과 토양의 침투량, 식생에 의한 차단량을 중점으로 산림의 수원함양 기능을 평가하고자 하였다.

산림은 수자원 저장과 정화기능을 가지고 있으며 홍수 발생시에 홍수피해를 저하시키는 기능이 보다 효과적으로 나타나기 때문에 산림의 수원함양기능을 효과적으로 보호하기 위해서는 보호구역의 위치도 중요하다. 산림의 수원함양 기능을 보호하고 유지하기 위해서는 물줄기가 시작하는 주요 산줄기에서부터 하천의 상류지역과 하류지역 일대를 모두 보호 하는 것이 수자원 함양 및 산림의 공익적 기능의 측면에서 적절하지만, 수원함양을 위해 산지를 보전하고 산림을 조성하는 소유자의 경제적 기회손실 때문에, 유역에 해당하는 모든 지역을 보호구역으로 조성하기는 쉽지 않다. 또한 산림의 수원함양 기능은 사방댐이 있는 유역에서 다른 산림에 비해 수원함양기능이 높게 발휘된다.

따라서 본 연구에서는 물리적, 생태적, 사회·경제적 여건들을 고려한 수원함양기능을 평가하여 장흥 다목적 댐 유역의 신규 수원함양보호구역 지정시 보다 합리적인 근거를 제시하고자 하였다.

또한, 산림의 수원함양기능은 지속적으로 산림이 관리 될 때 극대화 되며, 자연 상태대로 자라게 놔두게 되면 산림이 지나치게 우거지게 되어 토양 유실 및 토양공극 파괴로 산림의 수원함양기능이 저하(김경하와 정용호, 2006)된다. 따라서, 산림청과 수자원 공사에서 지속적인 수자원 확보를 위해 실시하고 있는 혼효림으로 구조개선, 적절한 간벌과 수종 갱신으로 산림구조를 복층림 구조로 바꾸는 사업의 효과를 증진 시키고자 수원함양기능이 우수하고 산림시업을 통해 수원함양기능이 증진될 수 있는 지역을 보호지역으로 선정하고자 하였다.

본 연구를 통해 수원함양보호구역으로 선정된 지역은 물리적, 생태적 사회·경제적 여건이 비교적 양호한 산림으로 관리 및 민원의 문제를 고려하여 국유림에 한해 선정하였지만, 추후 연구를 통해 공·사유림 중 수원함양증진을 위해 관리가 시급한 지역이나 훼손 가능성이 높은 지역을 파악하여 중·장기적인 계획하에 지정 관리 할 필요가 있으므로 부처 간 협의를 통한 순차지정 구역의 도입검토가 필요하다.

또한 70년대 이후 새로이 조성된 저수지 및 댐 유역을 보호구역으로 지정하여 산림의 적절한 관리와 강수량에 의한 증발산률을 줄여 유출량을 증가시킴으로써 수원함양기능을 증진시키고, 수원함양사업의 효과증진과 산림생태계 보전 및 이용측면에서 일정 공간 단위로 보호구역을 지정하여 관리하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

▌참고문헌▐

강민석. 2011. 광릉활엽수림의 낙엽층 차단저류능 추정에 관하여. 한국농림기상학회지. 13(2) : 87-92.

건설교통부. 2001. 수자원장기종합계획(Water Vision 2020).

건설교통부. 2006. 수자원장기종합계획(Water Vision 2020).

국립산림과학원. 1992. 산림의 공익기능에 대한 계량화 평가.

국제인구행동연구소. 2003. 국제인구행동연구소보고서(PAI)

김경탁, 최윤석. 2004. 정밀토양도를 이용한 유효강우량 산정에 관한 연구. 한국지리정보학회지 7(2): 1-15.

김경하, 정용호, 정창기, 전재홍, 유재윤. 2004. 잣나무 및 전나무림에서 간벌이 수관저류능, 임내우 및 차단 손실량에 미치는 영향. 한국임학회지. 93(7) : 453-463.

김경하, 정용호, 정창기. 2003. 전나무림에서 간벌과 가지치기가 임내우 및 차단 손실량에 미치는 영향. 한국임학회지. 92(3) : 276-283.

김경하, 정용호. 2006. 임상이 다른 3개 산림 소유역의 장기 증발산량과 유출량의 변화. 한국농림기상학회지 8(3): 174-182.

김경하. 1993. 유역의 입지조건이 갈수기 저수량에 미치는 영향. 산림 과학원.

김경하. 2003. 산림 소유역에서 장기 수문자료를 이용하여 분석한 임상이 침두유출량에 미치는 영향. 한국임학회지. 92(5) : 462.

김경하. 2004. 산림수자원 관리를 위한 유역의 물 순환 조사. 전원과 자원 46(2) : 2-8

김재수. 1987. 산림이 홍수량에 미치는 영향과 소유역내 증발산량 추정. 임업연구원연구보고. 35 : 69-78.

김재훈. 2003. 조공극량에 의한 팔공산 소유역의 수원함양기능평가.

김종호, 김재준, 전준헌, 손영모, 김경하, 윤호중, 박찬열, 이승우. 2007. 산림의 공익기능 계량화 연구 . 국립산림과학원 연구보고 07-05.

김종호, 이경학, 박찬우, 김경하, 윤호중, 손영모, 이승우, 박찬열, 서정원, 오정수. 2005. 산림의 공익기능 계량화 연구보고서. 국립산림과학원. 연구보고 05-07.

김종호. 1989. 산림의 공익기능의 계량화. 연구정보. 임업연구원.

김현섭, 배상원, 박영규, 이경재, 이상태, 정준모, 박재현, 장석창, 서경원. 2011. 보안림의 관리제도 및 관리방안. 국립산림 연구원

김형오, 정주상, 김종오. 2003. 산림기능유형별 잠재력 평가를 위한 주요 산림입지환경인자의 상대적 중요도 분석. 한국임학회지. 92(4) : 333-339.

박영대, 이돈구, 김동엽. 1999. 경기도 광주 지방 잣나무림, 낙엽송림, 활엽수림에서 수관통과우, 수간류, 토양수내 양료동태. 한국임학회지. 88(4) : 541-554.

박재현, 정용호, 윤호중, 김경하. 2001. 한국임학회지. 산림의 입지환경인자가 표층토양의 조공극율에 미치는 영향인자 분석(1) 침엽수림을 중심으로. 90(3).

박재현, 정용호, 윤호중, 김경하. 2001. 한국임학회지. 산림의 입지환경인자가 표층토양의 조공극율에 미치는 영향인자 분석(2) 활엽수림을 중심으로. . 90(2).

배상원, 황재호, 이상태, 김현섭, 정준모. 2010. 한국임학회지. 잣나무 산림 내 간벌 후 토양온도, 수분, 광유효도 및 직경생장 변화.

배성원, 김현섭, 장석창, 이경재, 이상태, 정준보. 2011. 수원함양기능증진을 위한 낙엽송인공림의 시업적 관리 방안에 대한 연구. 산림과학 공동학술대회.

법제처. 2013. 산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률 개정. 2013.3.23

산림청. 2003. 보도자료 - 2003.3.

산림청. 2010. 보도자료 - 2010.7.9.

산림청. 2010. 임업통계연보 (http://www.forest.go.kr)

손학기, 진정수, 권용석, 김진영, 성선용, 성영배, 엄정희. 2012. 새로운 패러다임의 산지관리정책 연구. 국토연구원.

윤용남. 1998. 공업수문학. 청문각.

이도원, 강신규, 황태희. 2003. 산림 유역의 물 순환. 숲과 문화 총서.

이문세, 김경수, 송역석, 류제천., 2009. 강우 및 식생에 의한 토질특성 변화 분석. 19(1) : 33-41

이천용, 김경하, 원형규, 1992, 산림의 공익적기능의 계량화 연구(Ⅱ) - 수원함양기능 - 과학기술부. 63-81.

이현규. 1998. 잣나무 산림의 임내강우량에 관한 연구. 한국임학회지 87(4): 562-571.

임업연구원. 1993. 산림의 공익적기능의 계량화 연구(Ⅲ). 과학기술처.

정용호, 김경하, 정창기, 전재홍, 유재윤. 2004. 숲가꾸기에 따른 계류수의 탁도와 부유물질의 농도변화. 한국 임학회 학술발표자료 논문집.

정용호, 김경하, 정창기, 전재홍, 유재윤. 2004. 임상 및 시업 유무에 따른 물 순환 과정별 강수 배분 구조. 한국임학회 학술연구발표논문집.

정용호, 박재헌, 김경하, 윤호중, 원형규. 1999. 전나무림과 잣나무림 유역에서 산림 시업이 산림의 수질정화기능에 미치는 영향(2). 한국임학회지. 88(4) : 498-509

차경섭. 2006, 역학적 기법과 지리정보 시스템을 이용한 산사태 위험지 예측, 건축도시연구정보센터. 27-38

환경부. 2004. 생태자연도 활용에 있어 식생보전등급 적용방안 연구.

Anctil F, Mathieu R, Parent L, Viau AA, Sbih M, Hessami M. 2002. Geostatistics of near-surface moisture in bare cultivated organic soils. J Hydrol. 260 : 30-7.

Anderson, H. W., Hoover, M.d. and Reinhart, K.G. 1976. Forest and Water : Effect of forest management of floods, sedimentation and water supply. USDA. Forest Service, Gen. Tech. Rep. PSW. 18. 115.

Baumler, R. and Zech, W. 1997. Atmospheric deposition and impact of forest thining on the throughtfall of mountain forest ecosystmes in Bavian Alps. Forest Ecology and Management. 95 : 243-251.

Bedient, P.B., Huber, W.C. and Vieux, B. E. 2002. Hydrology and floodplain analysis. Addision-Wesley.

Bosch, J. M. and J. D. Hewlett. 1982. A review of catchment experiments to determine the effects of vegetation changes on water yield and evapotranspiration, Journal of Hydrology. 55 : 3-23.

Brauman, K. A., Daily, G. C., T. K. Duarte and H. A. Mooney. 2007. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. Ann. Rev. Environ. Resour. 32 : 1-32.

Brown, G. W. 1991. Forestry and water quality. Oregon State University. 142.

Bruijnzee,. L. A. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?. Agriculture, Ecosystems and Environment 104 : 185-228.

Dawson T. E. 1998. Fog in the California redwood forest: ecosystem inputs and use by plants. Oecologia 117 : 476-85.

De Groot, R. s., Wilson, M. and Boumans, R. M. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological Economics. 41(3) : 393-408.

Eschner A. R. and Larmoyeux J. 1963. Logging and trout : four experimental

forest practices and their effect on water quality, Progress in Fish Culture. 25 : 59-65.

Famiglietti J. S., Rudnicki J. W., Rodell M. 1998. Variability in surface moisture content along a hillslope transect. Rattlesnake Hill. 210 - 259.

Gregersen, H M, K N Brooks, J A Dixon and L S Hamilton. 1987. Guidelines for economic appraisal of watershed management projects, FAO Conservation Guide No. 16, FAO, Rome.

Hall R. L., Calder I. R. 1993. Drop size modification by forest canopies: measurements using a disdrometer. J. Geophys. Res. Atmos. 98 : 65-70.

Ingraham N. L., Matthews R. A. 1995. The importance of fog-drip water to vegetation: Point-Reyes Peninsula, California. J. Hydrol. 164 : 269-85.

Irvine, J., Law, B.E., Kurpius, M.R., Anthoni, P.M., Moore, D., Schwarz, P. A. 2004. Age-related changes in ecosystem structure and function and effects on water and carbon exchange in ponderosa pine. Tree Physiol. 24 : 753-63.

Keim R. F., Skaugset A. E. 2003. Modeling effects of forest canopies on slope stability. Hydrol. Process. 17 : 57-67.

Lee, S. T., Bae, S. W., Jang, S. C., Hwang, J, H,, Chung, J. M., Kim, H. S., 2009. A study on the relationship between radial growth and climate factors by regions in Korean Pin(Pinus Koraiensis). Journal of Korean Forest Society. 98(6) : 733-739.

Ludwig, J. A., Wilcox, B.P., Breshears, D.D., Tongway, D.J., Imeson, A.C. 2005. Vegetation patches and runoff-erosion as interacting ecohydrological processes in semiarid landscapes. Ecology. 86 : 288-97.

MA(Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Ecosystems and Human Well-being : Multiscale Assessment. Millennium Ecosystem Assessment Series. 4. Washington, DC(Island Press). Google Books.

Matzner, E. and Meiwes, K. J. 1994. Long-term development of element fluxes bulk precipitation and throughfall in two German forest. J EnvironQuaq. 26 : 162-166.

Meyles E, Williams A, Ternan L, Dowd J. 2003. Runoff generation in relation to soil moisture patterns in a small Dartmoor catchment, Southwest England. Hydrol Process. 17 : 251-64.

Moring, J. R. and Lantz R. L. 1975. The Alsea Watershed Study: Effects of logging on the aquatic resources of three headwater streams of the Alsea River, Oregon Part 2 - Changes in Environmental Conditions, Fishery Research Report number 9, Oregon Department of Fish and Wildlife, Corvallis, Oregon.

Mufioz, F., Rubilar, R., Espinosa, M., Cacino, J., Toro, J. and Herrera, M. 2008. The effect of pruning and thinning on above aerial biomass of Eucalyptus nitens(Deane & Maiden) Maiden. Forest Ecology and Management 255: 365-373.

Nuttle, W.K. 2002. Eco-hydrologys past and future in focus, EOS. Trans Am Geophys Union. 83(19). 11-21.

Nyberg, L. 1996. Spatial variability of soil water content in the covered catchment at Gardsjon, Sweden. Hydrol Process. 10 : 89-103.

Rodriguez-Iturbe I. 2009. Eco-hydrology: a hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics. Water Resour Res 36 : 3-9.

Scott RL, Shuttleworth WJ, Goodrich DC, Maddock T. 2000. The water use of two dominant vegetation communities in a semiarid riparian ecosystem. Agric. Forest Meteorol. 105 : 241-56.

Sidle, R.C., A.J. Pearce, and C.L. O'Loughlin. 1985. Hillslope stability and land use, Water Resources Monograph, (11)-140.

Son, Y. H., Lee Y. Y., Jun Y. C.. and Kim Z. 2004. Light availabity and understory vegetation four years after thinning in a Larix leptolepis plantaion of central Korea. Journal of Forest Resources 9 : 133-139.

Swank, W. T. and Schreuder, H. T. 1973. in International Union of Forest Research Organizations Biomass Studies: S4.01, Mensuration, Growth and Yield, Working Party on the Mensuration of the Forest Biomass. 171-182.

US Environmental Protection Agency. 1993. Water quality effects and non-point source control practices for forestry: an annotated bibliography, EPA 841-R-97-008, Washington DC.

Vertessy, R. A., Watson, F. G. R , Sullivan, S. K. 2001. Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forests. Forest Ecol. Manag. 143 : 13-26.

Wang, J.R., Simard, S.W. and Kimmins, J.P. 1995. Physiological responses of paper birch to thinning in British Columbia. Forest Ecology and Management 73 : 177-184.

Waring, R. H., Running, S. W. 2007. Forest Ecosystem Analysis at Multiple Time and Space Scales. Forest Eciststem. 1-16.

Western, A. W., Grayson, R. B., Bloschl, G, Willgoose, G. R., McMahon, T. A. 1999. Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices. Water Resour Res 35(3) : 797-810.

Zhang W. and Berndtsson. 1991. Analysis of soil water dynamics in time and space by use of pattern recognition" Water Resources Research. 27(7) : 1623-1636.

부록1.

산림수원함양능력 평가지표 개발

- 1차 전문가 설문 -

수자원함양기능 평가항목 설정

구분	평가항목	평가목적	적합성	
			대표성 (1~5)	측정성 (1~5)
지형	경사	경사가 클수록 유속이 빨라짐		
	표고	고도의 차이에 따라 수원함유량의 차이가 있음		
토질특성	토성	수분을 보유할 수 있는 특성 구분		
	토심	유효토심이 깊을수록 식생 생육 및 생장에 필요한 수분을 많이 지닐 수 있음.		
	건습도	산림의 입지환경인자에 의한 임지 생산력을 간접적으로 추정.		
식생	생태자연상태	생태 자연이 좋을수록 식생이 좋아져 식생에 따른 수원함양 증가		
	소밀도	수목의 밀도에 따라 식생의 강우 차단율이 달라짐		
	임령	식생이 잘 자라는 지역은 식생활착률이 좋음.		
	식생피복률	식생의 피복률이 높을수록 식생의 수원함양 가능성 증가		
기타	하천으로부터의 거리	하천으로부터의 거리가 가까울수록 수원 함유량이 높아짐		

	도로와의 거리	도로와의 거리가 가까울수록 사람이 접근이 용이하고 오염원과의 거리도 가까워짐.		
	토지이용	자연성이 높을수록 수원함양기능이 큼		

수정항목제안	
추가항목제안	
통합항목제안	
상제항목제안	

부록2.

산림수원함양능력 평가지표 개발

- 2차 전문가 설문 -

안녕하십니까? 서울대학교 경관생태학 및 기후변화적응연구실에서는 '산림의 수원함양능력 평가지표 개발'이라는 주제로 연구를 수행하고 있습니다. 수자원을 효율적으로 활용하기 위하여 산림의 수원함양능력을 판단할 필요가 있으며, 이에 적합한 지표를 구성하기 위해 전문가 의견을 듣고자 합니다. 설문조사의 내용은 다른 용도로 활용되지 아니하며, 연구자료로만 사용됨을 알려드립니다. 바쁘신 중에 시간을 내어 설문에 응하여 주신 데에 깊은 감사를 드립니다.

▣ 수행일자 : 2013년 10월 5일
▣ 수행기관 : 서울대학교 경관생태학 및 기후변화적응 연구실(02-880-4885)
▣ 담당자 : 김미림 연구원(mr2035@snu.ac.kr)

* 아래 표는 본 연구에서 고려하고 있는 적응능력 지표입니다. 선정된 지표가 기후변화를 고려한 하천평가에 적합한지 판단하여 해당 항목에 체크하여 주시기 바랍니다. 평가기준은 확정된 것이 아니므로 참고만하여 주시기 바라며 추가지표나 수정사항이 있을 경우, 표 아래 공란에 기입해 주시면 감사하겠습니다.

< 작 성 요 령>

▣ 각 항목에 대한 응답척도에 대한 설명입니다.

부적합 ← 약간 중요 ← 중요 → 매우 중요 → 극히 중요										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

예를 들어, 하천의 사행 정도가 도시하천의 기후변화 적응능력을 판단하기 적합한 지표인가를 고민하시고, 중요도를 응답자의 경험과 판단에 의하여 위의 응답척도에 따라 “0~10”사이에서 작성하시면 됩니다.

구분	중분류	적응능력 지표	평가기준	중요도
식생	생태자연상태	생태자연의 상태	양호한 정도	6
	식생피복	식생피복율	20%이하 ~ 80%이상	5
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

구분	중분류	적응능력 지표	평가기준	중요도
식생	생태자연상태	생태자연의 상태	양호한 정도	
	식생피복	식생피복율	20%이하 ~ 80%이상	
	임령	식생활착률	1~6 등급	
	소밀도	수목의 밀도	1~3등급	
지형	경사	경사정도	1/100 ~ 1/3000	
	표고	표면으로부터의 높이 정도	pyogo‘20단계’(1~20)	
	지형지세	지표면의 형태	평탄지/완구릉지/산록/산복/산정	
토양	토성	수분을 보유할 수 있는 특성	토성a층(1~10)	
	토심	식물 생장이 가능한 유효토심	cm	
	건습도	식물 생육에 필요한 수분 정도	1~5단계	
	투과성	강우가 토양을 투과하는 속도	1~5	
기타	도로와의 거리	도로와의 거리	1~5단계	
	토지이용	인공화 정도	1~5단계	
	하천과의 거리	수원으로부터의 직접적 거리	1~5단계	

▌Abstract

A study on the method establishing Protected areas for Hydrological Ecosystem Services

- Focused on Jangheung Dam watershed -

Advised by Prof. Dong-kun Lee
Dept. of Landscape Architecture and Rural System Engineering,
Graduate School, Seoul National University
Mi-rim Kim

The Korean peninsula is covered with mountainous terrain. Protecting and managing forest is of vital importance for supply of good-quality fresh water. And the growing imbalance between water supply and demand in Korea, there is an increasing need for ensuring adequate water quality and quantity.

Forests provide hydrological services, such as supplying water, water purification, flood protection, and recreation. Forest water storage is determined by several parameters, such as tree and forest characteristics, different size and age classes of tree, and the geographic and soil character. Many studies noted that the hydrological ecosystem services of forests varied across forest soil types and layers.

This paper use a simple method to estimate hydrological ecosystem service using index assessment and carry out an overview of some of the main factors influencing hydrological ecosystem services by forest ecosystem. This research have developed a method to empirically assess the link among geographical features, vegetation, management.

In order to point out areas suitable designation of hydrological ecosystem services protected area, several steps assessment was conducted.

As a result, 132ha was allocated for hydrological ecosystem services protected area. Some of area has capacities of being improvement. The study estimated the amoun of the hydrological ecosystem services of Jangheung dam watershed at 23ton per year.

This study evaluated the degree to forest hydrological ecosystem services. The results found out forest management highlighted current policies and practices. Decision maker must balance the desire to conserve national forests to use these resources for economic and other purposes.

□ Keywords: Protected area, Hydrological Ecosystem Services, Index assessment

□ Student ID: 2010-23429