

콘크리트 폐도의 생태복원 방안 모색에 관한 연구*

- 경부선 영동군 황간지역 시험시공지를 중심으로(경부고속도로 227.24~229.04km 지점) -

김남춘¹⁾ · 안필균²⁾ · 노수대²⁾ · 김도희²⁾

¹⁾ 단국대학교 생명자원과학대학 녹지조경학과

²⁾ 단국대학교 대학원 생명자원과학과 녹지조경전공

A Study on the Method for Ecological Restoration on Abandoned Concrete-paved Road*

- Focused on the Experimental Construction Site in Young Dong Province of GyungBu Express Highway(227.24~229.04km) -

Kim, Nam Choon¹⁾ · Ann, Phil Gun²⁾ · No, Su Dae²⁾ and Kim, Do Hee²⁾

¹⁾ Department of Landscape Architecture, Dankook University,

²⁾ Department of Bio Resources Science, Graduate School of Dankook University.

ABSTRACT

The unmanaged abandoned concrete roads are vulnerable toward the issues on soil and water pollution, which requires flexible managing method such as eco-corridor after the process of ecological restoration. Among various alternations of abandoned concrete-paved roads, ecological restoration technique may be the most suitable method in sites including high quality of natural environment. Therefore, as in Young dong province, GyungBu express highway (227.24~229.04km), which is near to Hwang-gan IC, the survey to measure its effect of soil under the paving and water pollution by abandoned concrete roads was discussed. Then, the restoration method of plantings of landscape trees and hydro-seeding methods of artificial soil media was appraised through consecutive monitoring.

The soil adequacy analysis shows lower percentage of heavy metal substance in each depth level

* 이 연구는 2010년도 단국대학교 대학연구비 지원으로 연구되었음.

First author : Kim, Nam Choon, Department of Landscape Architecture, Dankook University,

Tel : +82-41-550-3643, E-mail : namchoon@dankook.ac.kr

Corresponding author : Kim, Nam Choon, Department of Landscape Architecture, Dankook University,

Tel : +82-41-550-3643, E-mail : namchoon@dankook.ac.kr

Received : 25 July, 2012. **Revised** : 14 August, 2012. **Accepted** : 20 August, 2012.

compared to standard limit stated by the Ministry of Environment, along with low concerns raised after the analysis on heavy metal content of the spilled water on the concrete roads. Meanwhile, Korean Weigela (*Weigela subsessilis* L.H. Baily) was found to be withered in small-scale landscape trees planting sites. Among the seeding plants, the family of leguminosae, *Silene armeria*, *Dendranthema boreale*, *Caryopteris incana* and *Aster yomena* show good establishment results.

Overall studies on planting of small and large landscape trees, planting method of container plants, planting method of ground cover plants, and germination and development trend of seeding plants of the experimental restoration site on abandoned concrete roads are revealing specific trends in the way landscape woody plants establishment and growth. Finally, this study suggests further studies and survey on varied plant restoration methods on abandoned concrete-roads for developed design guidelines of their methods.

Key Words : *Abandoned concrete roads, Ecological restoration, Hydro-seeding soil media, Landscape tree planting, Container planting.*

I. 서 론

최근에는 도로개량과 신설노선 건설로 인해 폐도로의 발생이 급격하게 증가하고 있다(전기성 등, 2011). 폐도로는 아스팔트와 콘크리트 폐도의 형태로 존재하며, 최근에는 한국도로공사에서 시공한 콘크리트의 폐도로도 증가하고 있는 추세이다. 이러한 방치된 폐도 및 폐고속도로는 생태축을 단절하기도 하고, 계속 방치하면 안전을 위협하기 때문에 생태적으로 복원하여야 한다는 여론이 공개적으로 제기되었고(녹색연합, 2006; 2008), 국민들의 도로 등 국토사업에 대한 환경복원에 대한 관심이 높아지면서(한국건설기술연구원, 2007; 국토해양부, 2008) 폐고속도로 및 폐도로가 자연환경에 미칠 수 있는 악영향에 대해 생각하게 되었다(한국도로공사, 2009). 이러한 폐도로는 전국에 산재되어 있으나 관리체계가 명확하지 않고, 유지관리비가 없어 효과적인 관리가 되지 못하고 있다(박현곤, 2009; 전기성 등, 2010). 폐도로는 주변환경과 유형에 큰 영향을 받으므로 활용방안도 주변 특성을 고려하여 특성에 적합하게 이루어져야 하며, 산림이나 공원, 습지로의 활용에 대한 호응도가 높았다고 하였다(박현곤,

2009)

방치된 폐도로는 토사유출, 수질오염의 위험이 있어 환경단체, 학계를 중심으로 폐도로의 복원과 활용이 필요하다고 하였다(녹색연합, 2008; 한국건설기술연구원, 2002; 한국도로공사, 2009). 건설교통부(2002)에서 고속도로 관리 주체인 한국도로공사를 통해 기존 고속도로의 친환경화 사업, 신설 고속도로의 친환경적 건설, 폐도로의 생태복원 등 그린고속도로, 생태도로화를 위한 정책적 노력과 다양한 사업들을 전개하고 있는 것은 다행한 일이다. 또한, 도로의 기능이 상실된 폐도로는 생태계 연결성을 회복시켜주어야 한다고 하였다(한규정, 1999; 건설교통부, 2007). 특히, 아스팔트 폐도의 복구공법 시험시공에서 일부 중금속이 분석되어 아스팔트 포장 구간이외에도 복구공법의 시험시공의 필요성이 제기되었고(한국도로공사, 2009), 환경친화적인 도로건설을 위한 기타 환경 인자들에 대한 분석도 폐도로관리를 위해 필요하게 되었다(변병설, 2001). 특히, 폐도로는 노면이 포장된 상태로 방치할 경우 풍화작용 등에 의한 2차 환경훼손의 우려가 발생할 수 있고, 자연의 치유 능력에 의하여 복원되려면 오랜 시간이 소요된다고 하였다(변병설, 2001).

또한 복원의 방향도 식생 생육기반이 적합하지 않기 때문에 원래의 자연 상태로 복원시키기는 근본적으로 어렵다는 한계를 가지고 있다(건설교통부, 2002).

일반적으로 복원은 훼손되기 이전의 상태로 되돌리는 과정을 말하며(Howell 등, 2012; 조동길, 2012), 생태기반환경의 복원을 토대로 식물상 및 야생동물 서식처 복원을 유도하여야 한다(김남춘 등, 2010; 조동길, 2012). 이에 따라 폐도로를 복원하는 경우 생태기반환경에 대한 복원과 식물상 및 서식처 유도를 위한 복원의 노력이 요구된다. 복원하는 식생은 가급적 다층구조를 가지도록 하는 것이 생태적으로 바람직하고(Mitch 등, 2004), 에코톤이 복원에서 매우 중요하므로(Perrow 등, 2002; Mitch 등, 2004) 에코톤 형성에 유리한 식물로 파종할 필요가 있다. 일반적으로 파종은 식재보다 뿌리가 강건하게 형성되고 다층구조의 식생을 조성하기가 용이하여 식재와 파종을 겸하는 것이 나지를 복원하는데 유리하다(김남춘 등, 2010). 아울러 가급적 다양한 식물을 도입하고 천이에 의한 안정된 식생구조를 갖도록 하는 것이 복원에 적합하다.

지금까지 폐고속도로의 생태복원기준설정에 대한 연구(전기성, 2009)와 폐도로 활용방안에 대한 연구발표(전기성 등, 2010; 2011)가 있었으나 생태복원을 위해 적용된 복구방안에 대한 식물생육 모니터링 연구는 아직 미진한 수준이다. 아울러, 폐도 복원 연구는 경제적 부담이 많은 연구이므로 공공기관의 협력 없이는 실행이 불가능한 실정이다. 본 연구의 대상이 되는 폐도 생태복원 방안 모색을 위한 시험시공은 경부고속도로 황간 IC 인근의 콘크리트 폐도지역으로 한정하게 되었으며, 콘크리트 폐도를 걷어낸 폐도 하부 토양의 오염성과 콘크리트폐도에서 유출되는 물이 수계에 미칠 수 있는 비점오염원으로써의 영향에 대해서 검토하였다. 아울러 폐콘크리트를 철거한 후의 복구방안을 모색하기 위해 조경수 식재 공법과 식생기반재취부공법을 적용하여 폐도로 생

태복원방안의 적합성을 모색해보고자 하였다.

본 연구는 영동선 속사IC 인근지역에서 이루어진 아스팔트 폐도에 대한 복원사례(전기성 등, 2010; 조동길, 2011; 한국도로공사, 2009)를 참조하여, 경부선 황간 지역의 방치된 콘크리트 폐도를 대상으로, 이곳의 토양오염 및 수질오염의 위험성을 파악하고, 조경수 식재 및 식생기반재 뽑어붙이기의 방법으로 생태복원을 유도하는 방안의 적합성을 검토하고, 생태복원을 위한 식재기준을 제공할 목적으로 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 대상지 설정

연구대상지로는 경부선 영동군 고속도로 노선 변경으로 인해 발생한 콘크리트 폐도로를 복원 대상으로 하였고, 대상지는 충청북도 영동군 황간면에 위치한 영동 IC와 황산 IC에서 5km 정도 떨어진 중간지점으로(그림 1) 경부고속도로 이정 227.24~229.04K 지점에 해당된다. 신규 고속도

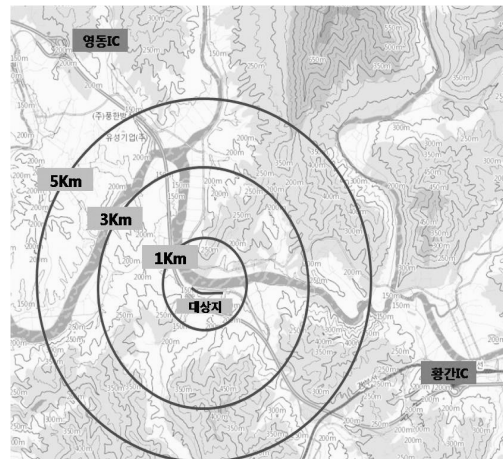


그림 1. 대상지 위치도.

표 1. 금산 기상관측소의 평년 자료(1971~2000년).

분류	평균 기온	최고 기온	최저 기온	강수량	평균 습도
금산	11.4℃	17.4℃	5.8℃	1258.82mm	73.8%

로와는 작은 숲으로 완충되고 있으며, 대상지의 옆엔 초강천이 흐르고 있고, 황간휴게소가 가깝다. 대상지 주변에 청정한 하천과 완충숲이 있어 방치된 폐도로의 환경적 영향에 대한 검토가 요구되는 지역이다. 연구대상지 주변의 완충숲에는 아까시나무와 양버즘나무, 참싸리의 목본류와 닭의장풀, 오리새, 김의털, 명아주, 쑥부쟁이, 망초, 개망초, 낭아초, 들콩, 달맞이꽃, 소리쟁이 등이 분포하고 있다. 현장조사시 포유류가 관찰되지는 않았으나, 고라니 등의 흔적이 발견된다. 완충숲과 주변산지는 조류 서식지로 양호하며, 양서류와 충류의 서식지로도 적합한 곳이다. 본 시험시공 대상 폐도로 부지는 선형으로 생물이동통로를 단절하는 형태를 보여주고 있어 이 지역의 생태복원은 생물다양성 증진에 기여할 것으로 기대된다.

시험시공 대상지의 기상자료 분석(표 1)을 위하여 황간 IC에서 가장 근접한 ‘금산’ 기상관측소의 평년 자료를 활용하여 30년 평균 기온과 강우량 등을 산정하였다.

2. 시험구 조성 및 배치

시험시공은 2009년 9월에 실시하였다. 폐고속도로의 콘크리트를 제거하고, 식재에 양호한 토양을 외부에서 반입하여 복토한 후 식생을 조성하는 방법으로 진행하였고, 시험시공의 효율성과 향후 관리 상태를 고려하여 폐콘크리트를 제거하고 시험구를 5개(각각 면적 200m^2) 조성하였다.

김석규 등(2010)은 도시림 복원을 위한 식생모델은 천이계열에 따른 자연식생의 유도, 자생수종을 이용한 생태적인 종조성, 다층구조 식생 등이 바람직하다고 하였다. 본 연구에서는 천이계열에 따른 자연식생 유도 보다는 적극적인 방법으로 자연식생을 이용한 생태적인 종조성으로 다층구조 식생의 조기형성하는데 목적을 두고 시험하였다. 김남춘등(2008)은 백두대간과 같은 생태적으로 중요한 지역에서는 식생기반재 뽑어붙이기공법에다 묘목식재를 겸하는 것이 자연식생복원목표를 달성하는데 유리하다고 하였다. 본 실

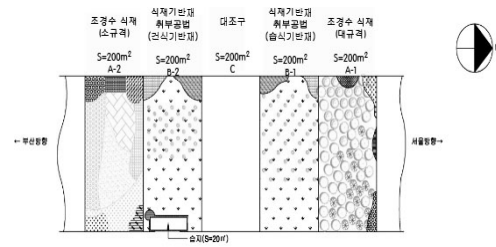


그림 2. 시험구 조성 배치도.

험에서는 소나무와 수크령, 조팝나무 등 파종으로 성립시키기 곤란한 종을 묘심기로 식생기반재 뽑어붙이기 실험에 추가하였다.

시험구는 소규모 조경수 식재지역, 건식기반재 뽑어붙이기, 대조구, 습식기반재뽑어붙이기, 대규모 조경수 식재지역으로 구성하였다(그림 2). 조경수 식재는 소규모와 대규모 규격으로 구분하였으며, 본 지역에 적합하면서 건조에 강한 자생수종 위주로 선정하였다. 영동선 속사 폐도복원지에서는 대상지역에 적합한 목표종의 설정을 위해서 식물상은 참나무류를 대상으로 하였으며, 동물상은 양서류를 대상으로 한 바 있다(조동길 등, 2010). 아울러 대면적 기계 시공이 용이한 파종에 의한 식생회복 효과를 검증하고자 건식 식생기반재뽑어붙이기공법(두께 5cm)과 습식 식생기반재뽑어붙이기공법(두께 3cm)을 적용하여 파종 실험을 실시하였다. 식생기반재의 두께는 틀리지만 종자배합 및 파종량은 표 2에서와 같이 동일하게 하였고, 식생기반재의 두께만 다르게 하였다. 종자배합 및 파종량은 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침(2009)에서 정하는 기준을 따랐으며, 종자층은 습식으로 1m^2 당 20g의 양으로 파종하였다.

또한 시험시공 조성시 무처리의 대조구를 조성하여 주변식물의 침입 및 매토종자에 의한 회복 변화를 모니터링 하였다. 시험시공은 삼오녹화의 녹화기술과 장비로 실시되었으며, 장소 선정 및 전반적인 연구 진행은 도로교통연구원의 협조로 수행되었다.

표 2. 식생 기반재 뿔어붙이기 공법에 사용된 종자와 식재료의 종류.

구분	습식·건식기반재 뿔어붙이기 (면적 200m ²)	
	수종	수량
목본류 종자 과종	자귀나무 <i>Albizia julibrissin</i>	400g
	붉나무 <i>Rhus javanica</i>	400g
	참싸리 <i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	1,000g
	낭아초 <i>Indigofera pseudotinctoria</i>	400g
초본류 종자 과종	비수리 <i>Lespedeza cuneata</i>	300g
	쑥 <i>Artemisia princeps</i>	100g
	안고초(새) <i>Arundinella hirta</i>	300g
	패랭이 <i>Dianthus chinensis</i>	300g
	끈끈이대나물 <i>Silene armeria</i>	200g
	산국 <i>Dendranthema boreale</i>	200g
	쑥부쟁이 <i>Aster yomena</i>	200g
	별노랑이 <i>Lotus corniculatus</i>	200g
	소계	2,000g
	유니트 묘	소나무(H0.4) <i>Pinus densiflora</i>
포트묘	수크령(3치포트) <i>Pennisetum alopecurioides</i>	50본
	조팝나무(H0.8) <i>Spiraea prunifolia</i>	50본

3. 사용 재료

복구에 사용되는 재료는 물리성이 양호한 일 반토양을 사용하였고, 폐도로 부지에서 이루어지 는 실험이므로 콘크리트 포장 잔재물, 쇠석 골재 등의 포함으로 인해 식물 생장에 위해가 되지 않 게 위해 이들 요소를 제외한 기반토양을 조성하 였다.

표 3. 수목식재에 사용된 식물별 식재수량.

구분	대규모 조경수 수목식재 (면적 200m ²)		소규모 조경수 수목식재 (면적 200m ²)	
	수종	수량	수종	수량
목본류	잣나무 <i>Pinus koraiensis</i>	20주	개쉬땅나무 <i>Sorbaria sorbifolia</i>	320주
	벗나무 <i>Prunus serrulata</i>	18주	병꽃나무 <i>Weigela subsessilis</i>	100주
	단풍나무 <i>Acer palmatum</i>	18주	좀작살나무 <i>Callicarpa dichotoma</i>	100주
	상수리나무 <i>Quercus acutissima</i>	20주	질레 <i>Rosa multiflora</i>	80주
			산철쭉 <i>Rhododendron yedoense</i>	320주
			붉나무 <i>Rhus javanica</i>	20주
			족제비싸리 <i>Amorpha fruticosa</i>	20주
	소계	76주	소계	960주
지피 식물	구절초 <i>Chrysanthemum zawadskii</i>		300본	
	맥문동 <i>Liriope platyphylla</i>		150본	
	호장근 <i>Polygonum cuspidata</i>		20본	
	층꽃 <i>Caryopterisincana</i>		250본	
소계		720본		

식생기반재 뿔어붙이기에 사용된 종자와 식재 묘에 대한 수종별 과종량은 표 2와 같다. 이들 과 종식물들은 지역 기후에 적합하면서 건조에 강한 자생식물 위주로 선정하였고, 조기에 예코톱을 조성할 수 있도록 외래도입식물과 복원에 효과적 인 식물(소나무, 수크령, 조팝나무)를 포트묘 및 유니트묘의 형태로 식재하였다.

대경목 및 소경목 조경수 식재효과 실험에서

표 4. 조경수 식재 규격.

구분	대규격 수목식재 (면적 200m ²)		소규격 수목식재 (면적 200m ²)	
	수종명	규격	수종명	규격
목본류	잣나무	H2.5	개쉬땅나무	H1.0×W0.3
	벗나무	H2.5	병꽃나무	H1.0×W0.4
	단풍나무	H2.5	좁작살나무	H1.0×W0.4
	상수리나무	H2.5	찔레	H1.0×W0.5
			산철쭉	H1.0×W0.3
			붉나무	현지채취
			죽제비싸리	현지채취
지피 식물	구절초	3치포트	구절초	3치포트
	맥문동	3치포트	맥문동	3치포트
	호장근	H0.4	호장근	H0.4
	층꽃	3치포트	층꽃	3치포트

는 주변 환경에 적합한 수종을 선정하였고, 토양 침식을 방지하기 위해 지피식물을 포트묘 위주로 식재하였다. 이들 지피식물도 주변 환경과의 조화를 위해 주변식생을 고려하여 선정하였다(표 3, 표 4). 참고로 영동선 폐도로 복원지에서는 목표수종인 참나무류 수종의 군락식재모델로써 교목층에 신갈나무, 졸참나무, 피나무, 고로쇠나무, 아교목층에 당단풍, 물푸레나무, 철쭉꽃, 팔배나무, 생강나무 등이 복원식생으로 제시된 바 있다(조동길 등, 2010).

4. 조사 및 분석 방법

최초 시험 시공은 2009년 9월에 실시되었고, 1차 식물생육조사는 2010년 7월에 실시하였다. 2차 식물생육조사는 2011년 10월에 실시하였다. 토양분석과 수질분석은 2009년도 9월의 시험시공 전에 이루어졌다.

1) 토양분석

토양분석은 토양 상부의 표토층과 하부의 마사토, 자갈층에서 샘플을 채취하여 페콘트리트로

표 5. 토양오염 우려기준 및 대책기준.

단위 : mg/kg

오염물질	토양오염 우려기준		토양오염 대책기준	
	가 지역	나 지역	가 지역	나 지역
Cd	1.5	12	4	30
Cu	50	200	125	500
Cs	6	20	15	50
Hg	4	16	10	30
Pb	100	400	300	1,000
Cr ⁶⁺	4	12	10	30
Organic P compound	40	160	-	-

인한 오염 여부를 확인하기 위하여 중금속 함유량을 서울대학교 토양분석기관에 의뢰하여 분석하였고, 토성과 유기물 함량 분석을 통하여 식물이 생육하기에 적합한 토양인지를 판단하여 재활용 가능성을 검토하였다. 아울러 페콘트리트 깊이별로 유해 중금속에 대한 분석 결과를 환경부(2007)에서 정하고 있는 토양오염 우려기준과 대책기준과 비교하였다.

2) 수질분석

도로는 불투수성 포장비율이 높아 강수시 피

표 6. 도시 강우 유출수에 대한 U.S EPA의 미량금속 기준.

미량금속	경도 (mg/L as CaCO ₃)	음용수기준 (ug/L)
Cu	50	-
	100	-
	200	-
Cd	50	10
	100	10
	100	10
Pd	50	50
	100	50
	100	50
Zn	50	1
	100	1
	100	1
Ni		13.4

크유출량도 커지고, 이에 따라 비점오염 물질의 이동력도 증가하여 수질적인 측면에서 관리가 필요하다. 특히, 콘크리트 도로는 노면이 콘크리트와 시멘트 등의 물질로 피복되어 있기 때문에 주변 수질에 악영향을 미칠 수 있는 물질들이 발생할 수 있다. 폐쇄된 콘크리트 폐도의 경우, 관리되지 않아 주변 환경에 미치는 위해정도가 높을 수 있는데 이를 평가하기 위해 강우가 시작된 직후와 향후 1시간 간격으로 2회 더하여 유출수를 채취하고, 유기물질, 영양염류, 중금속, 입자상물질 등에 대한 강우유출수의 특성을 수도사업소 수질분석기관에 의뢰하여 분석하였다. 우리나라에서는 수역별, 항목별로 수질환경기준이 설정되어 있으며, 수질오염 규제가 주로 점오염원을 중심으로 관리되어 왔으나 도로는 불투수성 포장 비율이 높아 강우시 피크유출량이 커지고 이에 따라 비점오염 물질의 이동력도 증가하여 수질적인 측면에서 관리가 필요한데, 도시 강우유출수에 대한 미국 EPA의 미량금속 기준(표 6)과 비교하였다.

3) 출현종 분석

출현종은 전수조사를 원칙으로 수행하였고, 육안으로 관찰하면서 출현종을 구분하였다. 구분이 어려운 식물종은 사진자료를 활용하여 동정한 후, 표본을 채집하여 정밀동정을 통해 종을 식별하였다.

4) 식물의 생육변화 분석

조사지역 내의 식물종의 생육변화를 측정하기 위해 현장조사를 통해 수목은 근원직경과 흉고직경, 수고의 변화를 측정하였고, 초본식물은 초장과 초폭 및 개체수를 측정하여 식물의 생육변화를 관찰하였다

III. 결과 및 고찰

1. 토양분석 결과

토양분석 결과 콘크리트를 제거한 원지반은

표 7. 토양분석 결과.

분류	표토층	마사토 1	마사토 2	자갈층 1	자갈층 2	
Organic mater(%)	0.98	1.27	1.20	1.05	0.78	
Cd(mg/kg)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
Cu(mg/kg)	0.5	0.3	0.4	0.92	0.67	
Pb(mg/kg)	1.11	1.17	1.33	0.93	0.99	
As(mg/kg)	0.3	0.52	0.5	0.27	0.28	
Hg(mg/kg)	Na	Na	Na	Na	Na	
Cr6+(mg/kg)	0.5	0.3	0.54	0.21	0.20	
Zn(mg/kg)	49.0	71.19	65.64	61.40	51.72	
NI	7.5	11.83	10.91	13.60	10.73	
Soil texture (%)	Sand	85.2	80.0	72.5	89.0	88.4
	Silt	6.8	9.1	16.4	1.8	3.4
	Clay	7.9	10.9	11.0	9.0	8.5
	result	loamy sand	loamy sand	loamy sand	sandy loam	sandy loam

사양토, 양질사토의 상태로서 도입한 식물이 뿌리를 내리기는 매우 양호할 것이라고 판단되며, 모래 함량이 많기 때문에 배수가 우수할 것으로 판단된다. 반면 토양 내에 함유되어 있는 유기물 함량은 0.78~1.27%로 일반적인 산림토양과 비교해 볼 때 매우 낮은 수준인 것으로 나타났다. 콘크리트 폐도 하부의 깊이별 토양분석결과 농도 차이가 나는 오염물질 등이 존재하지만 그 차이가 미비하여 깊이와 오염도의 연관성은 없어 보인다. 따라서 폐콘크리트 폐도 하부 보조기반층의 유류오염과 중금속 오염은 우려한 수준은 아니라고 판단된다.

2. 수질분석

강우가 시작된 직후 첫 번째 수질 샘플을 채취하여 분석을 실시하였고 향후 1시간 간격으로 2회 더 채취하였다. 채취한 시료는 오염물질을 파악하기 위하여 유기물질, 영양염류, 중금속, 입자상 물질로 분석이 이루어졌으며, 자세한 분석항목별 검사결과는 다음 표 8과 같다.

표 8. 수질분석 결과.

분류	A(초기강수)	B(1시간 후)	C(2시간 후)
DOC(Mg/L)	13.840	2.306	1.159
COD(Mg/L)	27.90	7.19	4.88
TP(ppm)	0.134	0.084	0.33
TN(ppm)	5.924	5.370	0.119
TKN(Mg/L)	Na	Na	Na
NH4(ppm)	2.305	0.035	0.010
NO2(ppm)	0.545	0.012	0.004
Cr(ppb)	4.938	1.148	1.138
Cr6+(Mg/L)	Na	Na	Na
Cu(ppb)	6.523	1.063	1.773
Zn(ppb)	4.283	3.323	4.393
Cd(ppb)	Na	Na	Na
Pb(ppb)	Na	0.114	Na
Hg(ug/kg)	Na	Na	Na
Cl-(Mg/L)	38.36	1.04	1.37
SS(Mg/L)	1136.2	26.2	33.5
VSS(Mg/L)	123.2	1.38	3.66
경도(Mg/L)	93.0	19.0	17.0
탁도(NUT)	541.0	17.2	23.8

도로유출수를 분석한 결과 유기탄소나 영양염류는 대체로 환경부의 수질환경기준에 비하여 수질오염이 되지 않거나 양호한 상태로 나타난다. 중금속에 대한 분석결과도 우려한 수준이 아닌 것으로 나타난다.

3. 식물생육 조사

1) 시험시공 1년 후(1차 조사)

(1) 소규모 조경수 식재지

소규모 식재지 조경수 및 지피식물 포트묘 식재의 효과에 대한 조사결과 구절초, 달맞이꽃, 호장근, 개망초, 산철쭉, 망초, 개쉬땅, 쯤작살, 층꽃, 짚래, 맥문동 등이 출현하였으며, 개체수는 호장근이 24본으로 많았고, 침입종인 개망초와 달맞이꽃이 3본으로 가장 적었다. 초장은 침입종인 망초가 160cm로 가장 높았고, 층꽃이 15cm로 가장 낮아 주변식생 침입에 의한 피압 우려가 있

었다.

식재한 소교목중에서 병꽃나무는 고사가 이루어졌으며, 개쉬땅나무의 수관폭은 신장되는 경향을 보인다. 쯤작살나무, 산철쭉도 생육이 유지되고 있었으며, 현지 채취한 붉나무와 족제비싸리는 식재수량이 적어 식재효과가 부적합한 것으로 나타난다.

(2) 건식기반재 뺨어붙이기

건식기반재 뺨어붙이기의 식생조사결과 망초,

표 9. 소규모 식재지의 출현종 현황.

식물명	초장 · 수고 (cm)	초폭 · 수관폭 (cm)	개체수 (본/m ²)
<i>Sorbaria sorbifolia</i>	50	50	5
<i>Weigela subsessilis</i>	-	-	-
<i>Callicarpa dichotoma</i>	40	30	4
<i>Rosa multiflora</i>	80	60	4
<i>Rhododendron yedoense</i>	30	30	5
<i>Chrysanthemum zawadskii</i>	25	25	13
<i>Liriope platyphylla</i>	25	20	10
<i>Polygonum cuspidata</i>	30	30	24
<i>Caryopterisincana</i>	15	20	12
<i>Erigeron annuus</i>	50	10	3
<i>Erigeron canadensis</i>	160	20	8
<i>Oenothera odorata</i>	30	15	3

표 10. 건식기반 뺨어붙이기의 출현종 현황.

식물명	초장 · 수고 (cm)	초폭 · 수관폭 (cm)	개체수 (본/m ²)
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	15	10	7
<i>Indigofera pseudotinctoria</i>	60	30	2
<i>Lespedeza cuneata</i>	15	15	2
<i>Erigeron canadensis</i>	80	10	12
<i>Silene armeria</i>	70	30	23
<i>Dendranthema boreale</i>	10	10	7
<i>Aster yomena</i>	50	30	3
<i>Pennisetum alopecuroides</i>	30	30	1
<i>Spiraea prunifolia for. simpliciflora</i>	80	50	1

참싸리, 쑥부쟁이, 낭아초, 비수리, 조팝나무, 끈끈이대나물, 수크령, 산국 등이 출현하였으며, 개체수는 끈끈이대나물이 23본으로 가장 많았고 낭아초와 비수리가 2본으로 가장 적었다. 초장 및 수고는 망초와 조팝나무가 80cm로 가장 높았고, 초폭은 쑥부쟁이, 낭아초, 끈끈이대나물, 수크령이 30cm로 높았다. 묘로 식재한 수크령과 조팝나무는 생존하는 것을 확인할 수 있었다.

(3) 습식기반재 뽕어붙이기

습식기반재 뽕어붙이기 식생조사결과 붉은토끼풀, 망초, 쑥부쟁이, 낭아초, 싸리, 조팝나무, 벌노랑이, 토끼풀, 끈끈이대나물, 참싸리, 수크령, 소나무, 기생초, 개망초, 달맞이꽃이 출현하였으며, 개체수는 망초가 41본으로 가장 많았고, 낭아초와 소나무가 1본으로 가장 적었다. 수고 및 수관폭은 묘로 식재한 소나무가 자라 각각 81cm, 62cm로 가장 높았다.

표 11. 습식기반재 뽕어붙이기의 출현종 현황.

식물명	초장·수고 (cm)	초폭·수관폭 (cm)	개체수 (본/m ²)
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	12	6	34
<i>Indigofera pseudotinctoria</i>	31	12	12
<i>Lespedeza cuneata</i>	28	6	1
<i>Silene armeria</i>	68	6	25
<i>Aster yomena</i>	32	10	27
<i>Lotus corniculatus</i>	16	7	33
<i>Pinus densiflora</i>	81	62	1
<i>Pennisetum alopecuroides</i>	31	11	10
<i>Spiraea prunifolia for. simpliciflora</i>	60	21	1
<i>Trifolium pratense</i>	40	3	32
<i>Erigeron canadensis</i>	45	3	41
<i>Trifolium repens</i>	5	4	25
<i>Triantails europaea</i>	19	7	3
<i>Erigeron annuus</i>	34	5	16
<i>Oenothera odorata</i>	42	13	8

(4) 대규모식재지

대규모식재의 식생조사결과 단풍나무, 벗나무, 잣나무, 상수리나무 등이 생육하였으며, 근원직경은 상수리나무가 16cm로 가장 높았고 벗나무가 10cm로 가장 낮았다. 수고는 상수리나무가 4.2m로 가장 높았고, 잣나무가 2.6m로 가장 낮았다.

표 12. 대규모 조경수 식재지의 출현종 현황. (단위 : cm)

식물명	근원직경	흉고직경	수고
<i>Acer palmatum</i>	12	8	400
<i>Prunus serrulata</i>	10	5	360
<i>Pinus koraiensis</i>	5	3	260
<i>Quercus acutissima</i>	16	11	425

(5) 대조구

대조구의 식생조사결과 달맞이꽃, 망초, 쑥, 낭아초 등이 출현하였으며, 개체수는 망초가 40본으로 가장 많았고, 우점하는 현상을 보였다. 초장은 달맞이꽃과 망초가 100cm로 가장 높았고, 쑥이 12cm로 가장 낮았다. 초폭은 달맞이꽃이 30cm로 가장 높았고, 쑥이 12cm로 가장 낮았다.

표 13. 대조구의 출현종 현황.

식물명	초장·수고 (cm)	초폭·수관폭 (cm)	개체수 (본/m ²)
<i>Oenothera odorata</i>	100	30	7
<i>Erigeron canadensis</i>	100	15	40
<i>Artemisia princeps</i>	12	12	2
<i>Indigofera pseudotinctoria</i>	30	15	1

2) 시험시공 2년 후(2차 조사)

(1) 소규모 조경수 식재지

소규모 식재의 식생조사결과 구절초, 달맞이꽃, 개망초, 산철쭉, 쑥, 망초, 개쉬땅나무, 좁작살나무, 층꽃나무, 쫄레, 토끼풀 등이 출현하였으며, 개체수는 토끼풀이 46개로 가장 많았고, 좁작살나무가 12본으로 가장 적었다. 초장은 망초가

표 14. 소규모 조경수 식재지의 출현종 현황.

식물명	초장 · 수고 (cm)	초폭 · 수관폭 (cm)	개체수 (본/m ²)
<i>Sorbaria sorbifolia</i>	112	53	11
<i>Callicarpa dichotoma</i>	84	43	7
<i>Rosa multiflora</i>	80	60	4
<i>Rhododendron yedoense</i>	83	55	14
<i>Chrysanthemum zawadskii</i>	42	33	30
<i>Caryopterisincana</i>	15	20	12
<i>Erigeron annuus</i>	55	32	32
<i>Erigeron canadensis</i>	132	22	15
<i>Oenothera odorata</i>	61	27	15
<i>Artemisia princeps</i>	12	11	25
<i>Trifolium repens</i>	14	6	46

132cm로 가장 높았고 토끼풀이 14cm로 가장 낮았다. 수관폭은 짙레가 60cm로 가장 높았고, 토끼풀의 초폭은 6cm로 가장 낮았다.

(2) 건식기반재 뽕어붙이기

건식기반재 뽕어붙이기의 식생조사결과 망초, 낭아초, 비수리, 끈끈이대나물, 산국, 쭉, 토끼풀, 달맞이꽃 등이 출현하였으며 개체수는 끈끈이대나물이 20본으로 가장 많았고 낭아초가 6본으로 가장 적었다. 초장은 망초가 65cm로 가장 높았고

표 15. 건식기반재 뽕어붙이기의 출현종 현황.

식물명	초장 · 수고 (cm)	초폭 · 수관폭 (cm)	개체수 (본/m ²)
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	23	14	12
<i>Indigofera pseudotinctoria</i>	51	32	6
<i>Artemisia princeps</i>	8	6	16
<i>Silene armeria</i>	53	25	20
<i>Dendranthema boreale</i>	15	11	14
<i>Erigeron canadensis</i>	65	23	17
<i>Trifolium repens</i>	4	6	19
<i>Oenothera odorata</i>	73	21	13

토끼풀이 4cm로 가장 낮았다. 수관폭은 낭아초가 31cm로 가장 높았고, 쭉과 토끼풀의 초폭은 6cm로 가장 낮았다.

(3) 습식기반재 뽕어붙이기

습식기반재의 식생조사결과 붉은토끼풀, 쭉부쟁이, 낭아초, 참싸리, 벌노랑이, 토끼풀, 코스모스, 참싸리, 수크령, 소나무, 망초, 조팝나무 등이 출현하였으며, 개체수는 36본으로 벌노랑이가 가장 많았으며, 소나무가 1본으로 가장 적었다. 초장은 소나무가 84cm로 가장 높았으며 토끼풀이 11cm로 가장 낮았다. 수고는 소나무가 62cm로 가장 높았으며, 붉은토끼풀의 초장은 6cm로 가장 낮았다.

(4) 대규모 조경수 식재지

대규모식재의 식생조사결과 단풍나무, 뽕나무, 잣나무, 상수리나무 등이 생육하였으며, 근원직경은 상수리나무가 32cm로 가장 높았고, 뽕나무가 22cm로 가장 낮았다. 수고는 상수리나무가

표 16. 습식기반재 뽕어붙이기의 출현종 현황.

식물명	초장 · 수고 (cm)	초폭 · 수관폭 (cm)	개체수 (본/m ²)
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	38	17	16
<i>Indigofera pseudotinctoria</i>	47	21	14
<i>Lespedeza cuneata</i>	25	14	16
<i>Silene armeria</i>	58	14	22
<i>Aster yomena</i>	36	10	27
<i>Lotus corniculatus</i>	22	15	36
<i>Pinus densiflora</i>	84	62	1
<i>Pennisetum alopecuroides</i>	64	14	14
<i>Spiraea prunifolia for. simpliciflora</i>	68	33	1
<i>Trifolium pratense</i>	25	6	26
<i>Trifolium repens</i>	11	10	32
<i>Cosmos bipinnatus</i>	54	21	27
<i>Erigeron canadensis</i>	43	14	31

표 17. 대규모 조경수 식재지의 출현종 현황.
(단위 : cm)

식물명	근원 직경	흉고 직경	수고
<i>Acer palmatum</i>	23	16	417
<i>Prunus serrulata</i>	22	11	411
<i>Pinus koraiensis</i>	28	13	327
<i>Quercus acutissima</i>	32	19	441

4.4m로 가장 높았고, 잣나무가 3.2m로 가장 낮았다. 식재한 조경수들은 원만하게 생육하는 것으로 확인되었다.

(5) 대조구

대조구의 식생조사결과 2년차에서는 1년차보다 출현종이 6종으로 많아졌고, 망초의 개체수가 36본으로 여전히 높은 비중을 차지하고 있으며, 침입종으로 보이는 낭아초, 코스모스와 벌노랑이, 토끼풀의 개체수가 늘어나는 추세이다. 낭아초는 1년차보다 늘어나 7본이 나타난다. 초장은 망초와 코스모스가 높고, 낭아초와 벌노랑이 순으로 높았다. 대조구에서는 2년차부터 주변식생의 침입이 늘어나는 경향을 보인다.

3) 녹화공법과 식물생육에 대한 고찰

4개의 시험구를 설치하고 2년에 걸쳐 식물생육에 대해 조사해본 결과 소규모 조경수 식재지에서 병꽃나무가 고사하였고, 개쉬땅나무와 좀작

표 18. 대조구의 출현종 현황.

식물명	초장 · 수고 (cm)	초폭 · 수관폭 (cm)	개체수 (본/m ²)
<i>Lotus corniculatus</i>	32	27	13
<i>Erigeron canadensis</i>	86	25	36
<i>Artemisia princeps</i>	23	20	11
<i>Indigofera pseudotinctoria</i>	42	21	7
<i>Cosmos bipinnatus</i>	62	25	16
<i>Trifolium repens</i>	11	8	25

살나무, 짚레, 산철쭉과 구절초, 층꽃나무는 생육이 양호하였다.

식생기반재 뽑어붙이기 공법 적용에서 건식보다는 습식이 출현종과 침입종도 많은 경향을 보인다. 콩과식물과 끈끈이 대나물과 산국은 건식 뽑어붙이기 시공지에서도 생육이 우수한 것으로 나타났으며, 포트묘로 식재한 수크령과 조팝나무의 생육도 확인되어 포트묘 식재의 가능성을 보였다. 일반적으로 포트묘는 잡초와의 경쟁에서 약하여 식재초기에 고사하는 경우가 빈번한데 본 실험에서는 양호한 생육을 보였다.

대규모 조경수 식재지역에서 식재한 교목류는 대부분 생존하였고, 생육도 원만하게 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다. 콘크리트 폐도로의 기반층이 조경수 식재에 적합한, 배수 등의 토양조건을 갖추고 있음을 알 수 있다. 단풍나무, 벚나무, 잣나무, 상수리나무는 1차와 2차 조사 때 양호한 생육을 보였다.

대조구에서는 망초외 5종이 생육하고 있으며, 망초와 달맞이꽃의 생육이 가장 활발하였다. 매토종자에서 발현되는 식물은 특별한 것이 없는 것으로 보인다. 대조구도 2차조사에서 피복물이 향상되는 경향을 보였다.

포트식재 식물중에서 호장근, 맥문동, 기생초 등은 1차조사 때는 생육하였으나 2차 조사 때는 생육이 부진하였다. 파종식물 중에서 자귀나무, 붉나무, 패랭이는 생육이 부진하였고, 묘로 식재한 소나무와 수크령, 조팝나무는 생육이 확인되어 식생기반재뽑어붙이기 공법 적용지역에서 활용가능하다고 판단된다. 2년차에서 쭉, 망초, 끈끈이대나물, 산국 등의 대부분의 초본들의 초장과 초폭, 개체수가 증가하는 경향을 관찰할 수 있었다.

이상의 경향으로 보아 4개의 시험시공에서 도입한 복원식물들은 활착하고 생육하는 경향을 보였다. 시험시공에 사용된 4가지 복원공법들은 도입식물등이 대부분 양호한 생육을 보이고 조성초기 잡초와의 경쟁에서 생존하는 경향을 보임으로

써 앞으로 복원 대상 폐도의 부지특성을 고려하여 4가지 방법을 적절하게 혼합하는 식생복원모델의 설정이 가능할 것으로 판단된다. 하지만 어떠한 공법이 더욱 우수한가에 대해서는 보다 장기적인 모니터링을 통해 규명하여야 하겠다. 시공 후 2년 동안 고사하거나 생육이 쇠퇴하는 식물은 배제하고 폐도의 생태복원계획을 수립하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

IV. 결 론

콘크리트 폐도는 방치할 경우 토양오염과 수질오염에 대한 우려가 있으며, 방치하는 것 보다 생물이동통로로서의 역할을 수행할 수 있도록 생태복원할 필요가 있다. 폐도는 다양한 용도로 활용될 수 있지만 주변 환경이 우수한 곳에서는 식생으로 복원하는 것이 바람직하다고 보며, 주변 환경이 우수한 경부고속도로 황간 IC인근의 콘크리트 폐도를 대상으로 폐도 하부의 토양오염의 정도와 수질오염에 미치는 영향을 검토하고, 조경수 식재 및 식생기반재 뿔어붙이기 방법으로서의 복구방안에 대해 식물생육에 대한 모니터링 조사를 하였다.

토양분석 결과 콘크리트를 제거한 원지반은 사양토, 양질사토의 상태로서 도입한 식물이 뿌리를 내리기는 매우 양호할 것이라고 판단되며, 모래 함량이 많기 때문에 배수가 우수할 것으로 판단된다. 반면 토양 내에 함유되어 있는 유기물 함량은 0.78~1.27%로 일반적인 산림토양과 비교해 볼 때 매우 낮은 수준인 것으로 나타났다. 중금속 함량을 하부기층의 깊이별로 분석해 본 결과, 환경부의 토양오염 기준보다 현저히 낮게 검출되거나 불검출 되었다.

도로유출수를 분석한 결과 유기탄소나 영양염류는 대체로 환경부의 수질환경기준에 비하여 수질오염이 되지 않거나 양호한 상태로 나타났다. 중금속 분석결과 미국 EPA의 기준치 보다 낮은 것으로 조사되어 우려할 수준이 아닌 것으로 판

단할 수 있다.

식생복원을 위한 5개 시험시공지를 조성하고 식물생육에 대해 조사해본 결과 소규모 조경수 식재지에서는 병꽃나무가 고사하였고, 개쉬땅나무와 좁작살나무, 짚레, 산철쭉과 구절초, 층꽃나무가 우수하였다.

건식기반재 뿔어붙이기 공법 시공지에서는 콩과식물과 끈끈이 대나물과 산국의 생육이 우수하였고, 포트묘로 식재한 수크령과 조팝나무의 생육이 확인되었다.

습식기반재 뿔어붙이기 공법 시공지에서는 건식기반재 뿔어붙이기 공법 시공지보다 많은 종이 침입 및 발아하여 생육하였다. 포트묘 식재수종들도 생육이 확인되었으며, 끈끈이대나물과 벌노랑이, 쭉부쟁이 등의 초본류의 생육이 우수하였다.

대규모 조경수 식재지역에서 식재한 조경수들은 대부분 생존하였고 생육이 원만하게 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다.

대조구에서는 5종이 생육하고 있으며, 망초와 달맞이꽃의 생육이 가장 활발하였다. 매토종자에서 발현되는 식물은 특별한 것이 없는 것으로 보인다. 2차조사에서 피복율은 향상되는 경향을 보였다.

포트묘식재 초본중에서 호장근, 맥문동, 기생초 등은 1차조사 때는 생육하였으나 2차 조사 때는 생육이 부진하였다. 파종식물 중에서 자귀나무, 붉나무, 패랭이는 생육이 부진하였고, 묘로 식재한 소나무와 수크령, 조팝나무는 생육이 확인되어 식생기반재뿔어붙이기 공법 적용지역에서 활용가능하다고 판단된다. 쭉, 망초, 끈끈이대나물, 산국 등 대부분의 초본들의 초장과 초폭, 개체수가 증가하였다. 조경수 식재지역에서는 모든 수종이 1차와 2차 조사 때 생육하고 있었고, 단풍나무, 벗나무, 잣나무, 상수리나무의 생육이 양호한 것으로 조사되었다.

콘크리트 폐도의 식생복원을 위한 시험시공을 콘크리트를 걷어내고 복토한 후 대경목과 소경목의 조경수 식재와 건식 및 습식 식생기반재 뿔어

붙이기를 시공하고 우량 양묘를 식재하는 방법, 지피식물의 도입방법의 적용 가능성과 파종식물의 발아와 생육 경향 등을 종합적으로 관찰조사해 본 결과 4개의 시험시공 적용공법들은 콘크리트 폐도 복원지에서 성공하는 양상을 보였다. 이에 따라 앞으로 복원하고자 하는 폐도의 부지특성을 고려하여 4가지 방법을 적절하게 혼합하는 식생복원모델의 설정이 가능할 것으로 판단된다. 하지만 어떠한 공법이 가장 우수인가에 대해서는 보다 장기적인 모니터링을 통해 규명하여야 하겠다. 아울러 콘크리트 폐도의 토양오염 및 수질오염 가능성은 없는 것으로 나타나며, 콘크리트 하부의 기반층은 조경 수목의 생육에 적합한 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구의 대상이 되는 시험시공을 도와주신 삼오녹화 및 한국도로공사 도로교통연구원과 단국대학교 대학연구비 지원에 대하여 감사드립니다.

인 용 문 헌

- 건설교통부. 2002. 환경친화적인 도로설계기법 연구.
- 건설교통부 서울지방국토관리청. 2007. 생태도로 건설을 위한 환경친화적인 도로건설 지침 등의 현장적용평가방법.
- 국토해양부. 2008. 환경친화적인 도로건설기준 개선방안 연구(2차년도).
- 국토해양부. 2009. 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침.
- 김남춘·남언정·신경준. 2008. 백두대간 절토비탈면의 생태복원녹화 모델에 관한 연구. 한국환경복원기술학회지 11(1) : 72-84.
- 김남춘 등. 2010. 자연재생; 생태공학적 접근. 문운당.
- 김석규·주경중·남정철·박승범. 2010. 도시림 식생의 생태적 특성과 복원모델. 한국환경복원기술학회 13(2) : 80-94.
- 녹색연합. 2006. 생태축을 단절하는 폐도로 현황과 폐도로정책의 문제점.
- 녹색연합. 2008. 폐도로 복원 제안 구간.
- 박현곤. 2009. 폐도로 활용방안에 관한 연구. 단국대학교 석사학위논문.
- 변병설. 2001. 환경 친화적 도로건설사업 방안.
- 유인식. 2010. 도로 유휴지 활용, 관리에 관한 연구.
- 전기성·김태수. 2011. 폐도로 활용 개선 방안. 한국환경복원기술학회 임시총회·추계학술대회.
- 전기성·박현곤. 2010. 폐도로 복원지역 모니터링 사례. 한국환경복원기술학회 임시총회·추계학술대회.
- 조동길·최재용·전용철. 2010. 폐고속국도의 생태복원 방안-영동선 192.4K(인천) 지점을 중심으로-. 한국환경복원기술학회지 13(5) : 38-50.
- 조동길. 2011. 생태복원계획·설계론. 넥서스환경디자인연구원 출판부.
- 친환경도로연찬회. 2007. 도로와 환경의 공존. 한국건설기술연구원.
- 환경부. 2007. 토양환경보전법.
- 한국건설기술연구원. 2002. 발생 폐도의 적정 활용.
- 한국건설기술연구원. 2002. 조경설계기준 개정.
- 한국도로공사. 2009. 폐고속도로의 생태복원 기준 설정 연구.
- 한국도로교통협회. 2002. 도로건설사업과 환경 대응.
- 한규정. 1999. 폐도활용 처리지침 연구.
- Howell E.A., J. A. Harring and S.B.Glass. 2012. Restoration Ecology. Island Press.
- Mitch, W.J. and S.E. Jorgenson. 2004. Ecological Engineering and Ecosystem Restoration. Wiley Press.

- U.S. EPA. 1983. Results of the Nationwide Urban Runoff Program. Final Report, Water Plann. Div. Washington, D.C.
- Perrow M.R. and A.J. Davy. 2002. Handbook of Ecological Restoration. Cambridge Press.