

자연형 하천 제방의 수목류와 관리방안에 대한 고찰



김혜주 |

김혜주자연환경계획연구소 소장
hjkim@lapla.co.kr

1. 서론

하천에서 나무심기 및 관리에 관한 기준(안)(건교부, 2007)에 따르면 하천의 제방에는 직접 나무를 심을 수 없으나, 제방의 앞비탈면이나, 뒷비탈면 또는 제방의 측단이나 제방의 뒷턱에 성토를 한 후에 나무를 심도록 하고 있다. 그리고 하천내 자생수목의 관리방법은 관리자가 정기적으로 자생수목을 조사하여 홍수시 유량소통에 지장을 초래하지 않는 경우에는 생태식치로서 적극 유지할 수 있도록 하고 있지만, 그 반대의 경우에는 벌채를 하도록 하고 있다. 그러나 제방에 식재할 수 있는 식재수목의 종류를 제시하고 있지 않으며, 또한 벌채방법이나, 벌채대상에 대한 진단방법 등도 언급하고 있지 않다. 그런데 여러 자연형 하천의 제외지 제방사면에 현재 저절로(자연적인 천이) 이입된 다양한 수목류를 자주 관찰할 수 있다. 저절로 이입된 이러한 수목류는 제방의 시멘트블록을 덮어주는 것은 물론 획일적인 제방선과 제방의 면을 비정형적으로 만들

어서 하천의 경관성 증대에 크게 기여하고 있다. 뿐만 아니라 하천의 수목은 생태적으로도 조류를 비롯한 여러 생물의 은닉처와 서식처로서의 중요한 역할을 하게 된다(Friedrich & Lacombe, 1992), 그러나 이처럼 제방에 저절로 이입된 수목류가 성장하는 동안 제방의 안전성에 어떤 영향을 미칠 수 있는지에 대한 연구는 국외와 비교하여 국내에서 아직까지 보고된 사례가 거의 없는 것 같다. 이에 국내에서 조성한지 약 10년 정도 경과한 6개 자연형 하천의 제방에 자연적으로 이입된 수목류의 종류와 크기를 조사하고 앞으로의 관리 방안을 고찰해 보고자 하였다.

2. 제방수목의 단점과 장점

제외지 제방의 경우 제체안전을 위하여 국내는 물론 유럽에서도 직접 수목을 식재하지 못하도록 하고 있으나, 제방에 주로 자연적으로 이입된 수목들이 일정 기간이 경과한 후에 여러 가지 요인에 의하여 제체에 균열을 발생시키는 사례들이 발생하면서 때때로 제방붕괴로 이어지는 경우가 있다.

제체에 위협을 주는 제방수목의 요인은 다음과 같다(DVWK 210, 1986; Haselsteiner & Strobl, 2004; Haselsteiner, 2010):

- 제외지 및 제내지 제방 가까이에 있는 수목의



그림 1. 수목뿌리에 의한 블록 들림

가지와 뿌리는 바람의 영향을 받는 경우 뿌리가 움직이게 되어 제체의 지면을 헐겁게 한다.

- 일반적인 밀다짐만 실시한 제방의 수목은 뿌리내림이 매우 수월하기 때문에 제체침투수의 수위가 수목이 없는 경우 보다 훨씬 높다.
- 제외지 제방수목은 마치 펌프와 같은 작용을 하기 때문에, 제체 침투수의 수위가 수목이 없

는 경우보다 더 높아지게 된다.

- 제내지 또는 제외지의 수목이 고사한 경우 고사목의 뿌리가 썩게 되면 그 중심에 빈 공간이 형성되어 제방침식에 취약하게 된다(그림 4).
- 제외지 제방에 수목이 있는 곳은 지엽적으로 수위상승을 초래하여 부분적인 정체가 발생하면서 제체를 불안전하게 하는 요인으로 작용

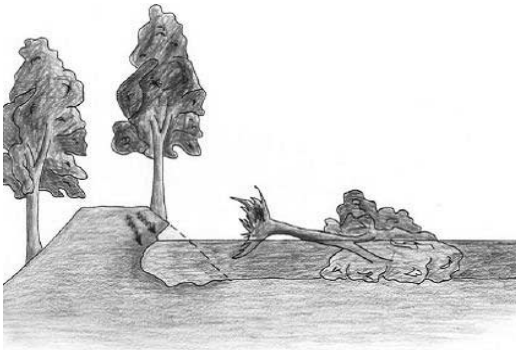


그림 2. 좌: 붕괴 위험성에 대한 모식도, 우: 균열로 붕괴위험이 있는 이자강(Isar)의 제방 (Schaufuss, 2003)

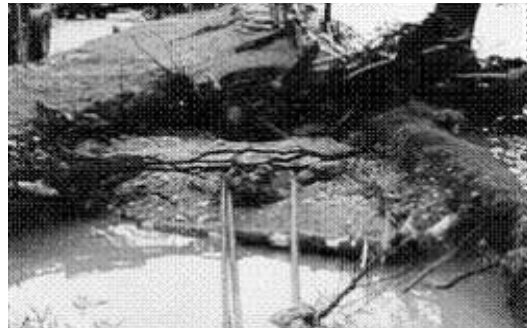


그림 3. 수목이 있는 제방에서의 제방붕괴(사진: Haselsteiner, 2010)

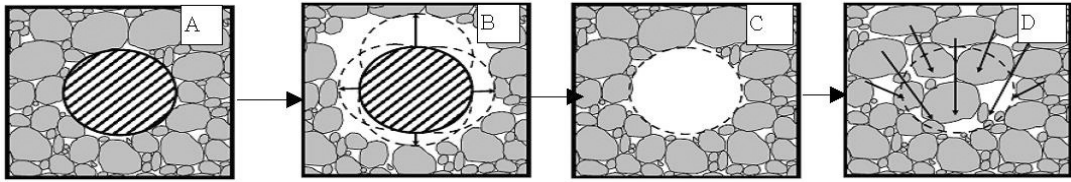


그림 4. A: 뿌리가 온전한 경우, B: 뿌리 흔들림으로 공간발생, C: 뿌리가 썩어 없어지거나, 또는 들짐승에 의한 공간발생, D: 빈공간의 함몰(Strobl, 2005)

한다. 뿐만 아니라 젖은 뿌리는 인장력 저하로 제체 불안전을 가속화한다.

- 제방에 수목이 있는 경우 제방감시를 철저히 이행할 수 없어서 제방의 위험을 감지하기 어렵다.
- 나무의 그림자로 인하여 초본성 잔디류가 잘 자라지 못하여 지표면을 빈틈없이 연결시키는 뗏장형성을 기대할 수 없다.

한편 생물공학(Bio Engineering)적 공법의 측면에서 제방수목의 장점은 아래와 같다:

- 제방제체의 안전은 기존의 잔디나 초본류로 피복된 토양층의 제방보다 수목으로 이루어진 제방에서 더 효과적이다. 그 이유는 제외지에서 수목류의 주관과 잔가지가 초본류와 비교하여 홍수시 유속과 파랑을 더 작아지게 하여 제방에 미치는 악영향을 축소시키기 때문이다 (Florineth, 2004; Rauch, 2005).
- 초본류의 제방은 연중 주기적인 예초가 필요하여 유지관리비가 상승하나, 수목의 경우 6~10년 마다 한 번씩 짧게 전정하면서 나무의 수명을 연장시키기 때문에 경제적이다 (Schiechtel, 1985).
- 수목의 뾰뾰한 근계조직은 들짐승의 침입을 오히려 어렵게 한다(Pflug & Hacker, 1999).
- 수목의 뿌리는 지엽적 또는 포괄적 면적의 토양 안전성을 높여 침식방지에 기여할 수 있으나, 초본류는 포괄적 면의 안전성을 주는 것에 한계가 있다(Schiechtel, 1985).
- 제내지 또는 제외지의 수목의 그룹은 파랑을

낮춰주고, 결빙으로부터 보호한다(Florineth, 2004).

- 수목은 생태적, 자연 경관적, 친수적 효과와 자연보호에 기여할 수 있다.

그러나 이와 같은 제방수목의 필요성은 아직까지 이 분야에 대한 과학적인 연구결과가 미비하여 크게 설득력을 얻지 못하고 있는 실정이다.

3. 자연형 하천 제외지 제방에 이입된 수목류

3.1 조사하천의 위치 및 개요

조사하천은 아래의 도면에서와 같이 서울 및 수도권 지역의 자연형 하천 중에서 공사 완료 후 약 10년 내외의 시간이 흐른 일부구간을 조사구간으로 선정 하였으며, 조사하천의 간략한 개황은 다음의 표에서와 같다.

표 1. 조사하천의 개황

하천	장수천	양재천	안양천	학의천	서호천	경안천
하천유형(km)	지방하천	지방하천	지방(27.4) 국가(5.1)	지방하천	지방하천	지방(25.2) 국가(22.5)
총 유역 면적(km ²)	19.64	60.24	286	42.6	30.50	561.12
총 유로 연장(km)	10.16	16.6	32.5	11.6	13.2	47.87
평균홍수량 (m ³ /s)	0.129	1.163	5.85	0.99	0.890	6.27
평균표고(m)	61.5	85.5	84.99	115.8	70.94	180.81
조성시기 (년도)	1999~ 2000	1996~ 2001	2004~ 2006	2001~ 2002	2000~ 2001	2001~ 2005
조사구간(km)	3.2	1.6	2.0	2.0	1.0	1.2

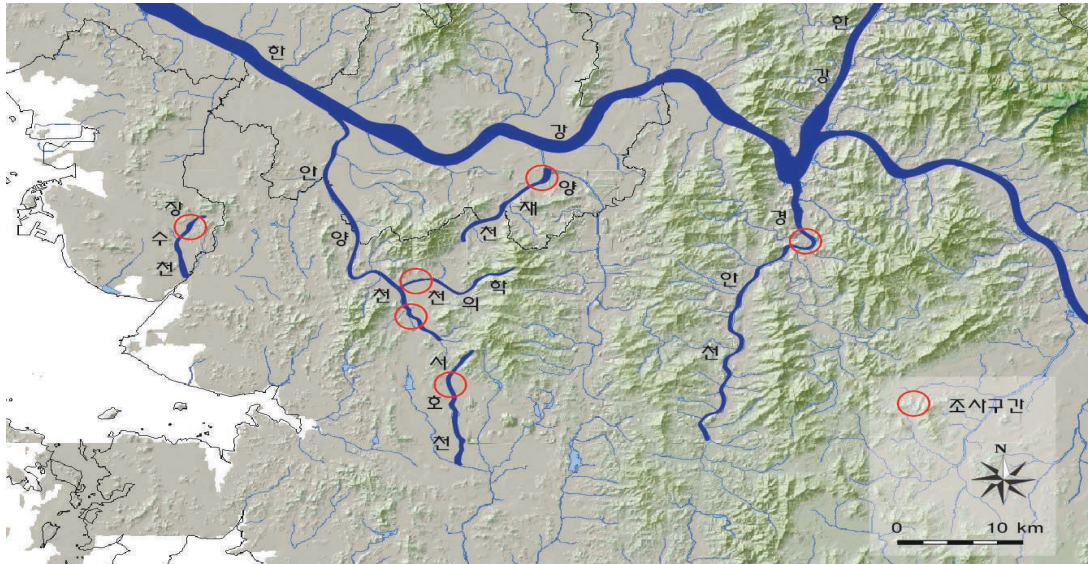


그림 5. 조사하천과 조사구간

3.2 조사방법 및 결과

조사는 2011년 9월초에 실시하였으며, 수목조사는 제외지 제방에 자연적으로 이입된 교목 및 소교

목을 대상으로 하였다. 조사방법은 출현종과 개체수, 수고, 흉고직경 및 수목의 위치(물로부터의 거리)를 기입하고 실내에서 표와 도면으로 정리하여 분석하였다.



그림 6. 조사하천 제외지 제방수목 중에서

표 2. 조사하천 제외지의 제방에 출현한 수목류 및 개체수

하천	장수천		양재천		안양천		학의천		서호천		경안천	
	출현 수목명	출현 개체수	출현 개체수	출현 개체수	출현 개체수	출현 개체수	출현 개체수	출현 개체수	출현 개체수	출현 개체수	출현 개체수	
아까시아	●	513	●	344	●	214	●	201	●	69	●	618
가중나무	●	10	●	35	●	6	●	3	●	1	●	19
참느릅나무	●	162	●	308	●	2	●	35	-	-	●	2
자귀나무	●	3	●	5	●	1	●	3	●	3	-	-
능수버들	●	1	●	92	●	19	●	8	-	-	●	1
왕벚나무	●	58	●	37	●	1	●	90	-	-	●	1
붉나무	●	14	●	1	-	-	●	39	●	2	●	213
산뽕나무	●	10	●	65	●	1	●	3	-	-	●	24
버드나무	●	8	●	29	-	-	●	6	●	8	●	44
복사나무	●	5	●	19	-	-	●	1	●	1	●	4
느티나무	●	4	●	21	●	72	●	91	-	-	-	-
신나무	●	3	●	1	●	1	-	-	-	-	●	8
팽나무	●	65	●	1	●	1	●	4	-	-	-	-
고욤나무	●	2	●	21	-	-	-	-	●	1	-	-
단풍나무	●	1	●	8	-	-	●	2	-	-	-	-
상수리나무	●	1	-	-	-	-	●	1	-	-	-	-
양버즘나무	●	1	●	50	-	-	●	1	-	-	-	-
왕버들	●	1	●	1	-	-	-	-	-	-	-	-
뽕나무	-	-	●	30	-	-	-	-	●	6	●	21
산수유	-	-	●	27	-	-	●	1	-	-	-	-
중국단풍	-	-	●	23	-	-	●	5	-	-	-	-
은사시나무	-	-	●	16	-	-	-	-	-	-	-	-
오동나무	-	-	●	10	-	-	-	-	-	-	●	3
회화나무	-	-	●	6	-	-	-	-	-	-	-	-
살구나무	-	-	●	5	●	1	●	1	-	-	-	-
느릅나무	-	-	●	4	-	-	●	11	-	-	-	-
꽃사과	-	-	●	3	-	-	-	-	-	-	-	-
떡총나무	-	-	●	3	-	-	-	-	-	-	-	-
감나무	-	-	●	2	-	-	●	2	-	-	-	-
갈참나무	-	-	●	1	-	-	●	1	-	-	-	-
물푸레나무	-	-	●	1	-	-	-	-	-	-	-	-
용버들	-	-	●	1	-	-	-	-	-	-	-	-
은행나무	-	-	●	1	-	-	-	-	-	-	-	-
향나무	-	-	●	1	-	-	-	-	-	-	-	-
일본목련	-	-	-	-	-	-	●	1	-	-	-	-
수양뽕나무	-	-	-	-	-	-	-	-	●	1	-	-
층층나무	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	4
중국굴피나무	-	-	-	-	-	-	●	1	-	-	●	2
총계	18	862	34	1173	11	319	24	512	9	92	14	964

6개 조사하천 모두에서 출현한 공통종은 표 2에서와 같이 외래종인 아까시나무와 귀화종인 가중나무

무이었는데, 출현 개체수는 아까시나무가 가장 많았다. 그 다음으로 5개 조사구 하천에서 출현한 공통수종은 산뽕나무, 자귀나무, 참느릅나무, 능수버들, 왕벚나무, 붉나무와 버드나무이었다.

아울러 조사하천에서 관찰된 수목의 총 개체수는 3,922개체 이었는데, 이 중에서 수고가 10 m 이상이며, 흉고직경이 약 0.1 m 이상인 수목의 개체수는 242개체로 전체의 6.2 % 이었다. 한편 수고가 10 m 미만이며, 흉고 직경이 약 0.1 m 미만인 수목은 3,680개체로 93.8 % 를 차지하였는데, 그 중에서 특히 수고 1.5~2.5 m, 미만 흉고직경 0.01 m 내외인 수목이 645개체로 16.4 % 로 가장 많은 분포를 나타내었다. 수고(H)와 흉고직경(R)의 비율이 50이상인 수목은 총 3,851종(98.2%)이었고, 50이하의 71개체로 1.8%로 분석되었다.

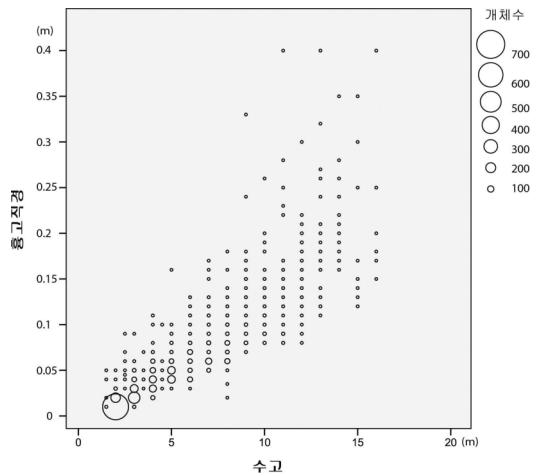


그림 7. 출현수목의 개체수 및 수목규모의 분포도(수고가 1.5 m 미만 644개체(전체의 16.4 %)는 그래프에 포함되지 않았음)

그리고 주요 출현수목과 물과의 거리는 아래의 그림에서 보이는 것처럼 그룹 A는 저수로의 물로부터 비교적 가까운 위치에서 관찰된 종들이었으며, B 그룹은 물과의 거리가 먼 곳에서 출현한 종이다. 그 외의 많은 종들은 평균적으로 제방의 중앙부에서 출현하는 양상을 나타내었다.

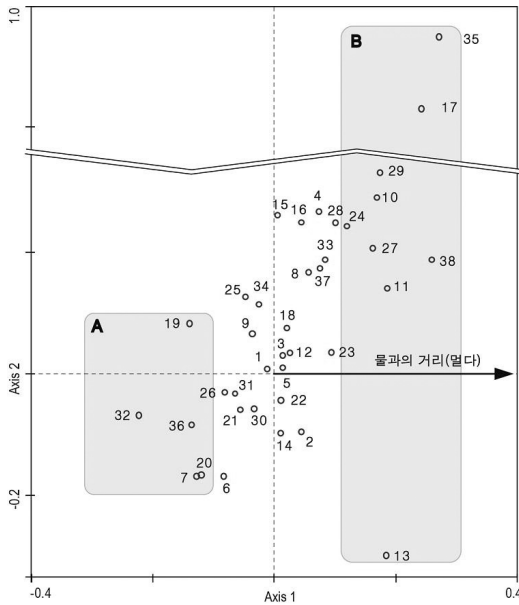


그림 A(32:중국굴피나무, 19:상수리나무, 36:팽나무, 7:느티나무, 20:수양뽕나무), 6:느릅나무, 26:왕벚나무, 31:자귀나무, 21:신나무, 25:왕버들, 9:단풍나무, 30:일본목련, 34:참느릅나무, 1:가중나무, 15:뽕나무, 14:붉나무, 22:아까시나무, 3:감나무, 5:꽃사과, 18:살구나무, 12:버드나무, 16:산뽕나무, 2:갈참나무, 8:능수버들, 4:고욤나무, 37:향나무, 33:중국단풍, 23:양버즘나무, 28:은사시나무, 그룹 B(24:오동나무, 27:왕버들, 10:떡충나무, 29:은행나무, 13:복사나무, 11:물푸레나무, 17:산수유, 38:회화나무, 35:층층나무)

그림 8. 물로부터의 거리에 따른 출현수목의 분포도 (Focus scaling on inter-species distance, Biplot scaling)

4. 결론 및 고찰

수도권 자연형 하천 제외지에서 가장 많이 출현한 수목은 아까시나무(*Robinia pseudoacacia*)이

다. 아까시나무는 북아메리카가 원산인 외래종으로 국내 도입연도는 불분명한데, 국내의 경우 사방용, 댐감용, 양봉용 및 사료용으로서 중요한 산림수목의 한 종류이지만, 거의 모든 산림으로 퍼져서 자생종의 성장을 방해하여 산림생태계의 종다양성 감소 등의 불균형을 초래한다(Kowarik, 2003). 이렇게 아까시나무가 널리 퍼지는 이유는 바람에 의한 종자번식이 용이하고, 땅에 떨어진 종자의 발아력이 무려 30년이나 지속되는 특징을 가지고 있기 때문이다. 또 다른 이유는 아까시나무 뿌리의 런너에서 무성번식도 가능(Hecker, 1995)하기 때문에 아까시나무의 그룹화가 쉽게 발생한다. 따라서 이러한 번식특성 때문에 조사하천의 제방에서도 개체수가 가장 많은 우점종으로 나타났을 것으로 추측한다. 또한 조사하천 제방의 수목류에서 수고가 10m 이상인 수목들의 대부분은 아까시아나무이었는데, 앞으로 그 수고가 최대 25~30m 까지 더 성장할 수 있다. 독일의 경우는 수고가 30 m 이상으로 자라는 제방 수목류는 위험등급 1등급, 수고 10~30 m의 수목류는 위험등급 2등급, 수고가 10~5 m는 3등급, 수고 5m 이하는 4등급으로 분류하고 있다. 그리고 홍수의 위험이 없는, 또는 홍수의 위험성이 낮은 구역의 제방에 대하여는 3, 4등급의 이입된 수목은 허용하고 있지만, 위험등급 1, 2의 제방수목은 굴취하거나 또는 제방제체의 안전성을 위한 장치를 아래 그림에서처럼 실시하도록 하고 있다 (BAW, 2005).

1987~2003년도의 국내 하천제방 붕괴(총 758

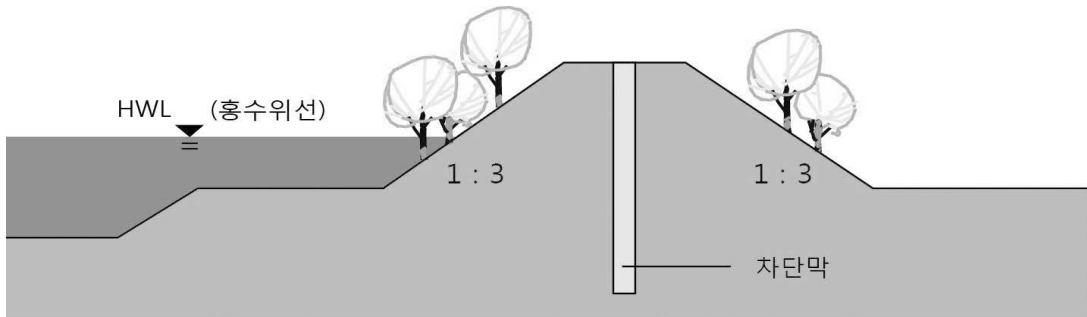


그림 9. 제방수목의 뿌리를 차단하는 차단막의 설치 모식도

건의 원인이 월류(39.6 %) > 침식(38.9 %) > 제체 불안정(11.5 %) > 구조물 붕괴(10.0 %)의 순(윤광석, 2004)으로 다행스럽게도 수목에 의한 직접적인 붕괴사고에 대한 언급은 없었지만, 본 조사하천 사례에서 보면, 수목성장이 아직 완료되지 않았다고 하더라도, 전체 수목의 98.2 %가 H(수고):R(흉고직경)의 비율이 50 이상으로 나타났다. 일반적으로 H:R의 비율이 50 이상인 경우 안전성이 낮다고 하

기 때문에(DIN 19712, 1997) 앞으로 이러한 제방 수목의 성장에 따른 수목 종류별 관리가 반드시 있어야 할 것이다. 뿐만 아니라 병든 수목, 또는 수목과 수목간의 간격이 촘촘한 수목의 그룹 또는 언제 어떻게 어떤 수목을 전정하여 수목을 회춘시키는 지에 대한 관리 방안과 기존 수목류를 별채하는 기술 또는 제방수목의 보존을 위한 처방기술들이 조속히 개발되어야 한다고 사료된다. ☘

참고문헌

1. 건설교통부(2007) 하천에서 나무심기 및 관리기준(안).
2. 윤광석(2004) 하천제방 붕괴 유형분석 및 설계방안. 한국수자원학회지. VOL.37. NO. 5. 50-60.
3. BWK(2005) Mobile Hochwasserschutzsysteme- Grundlagen fuer Planung und Einsatz. Merkblatt, Bund der Ingenieure fuer Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau(BWK) e.V..
4. DIN 19712(1997) Flussdeiche. Deutsches Institut fuer Normung e.V.(DIN).
5. DVWK 210(1986) Flussdeiche. Merkblaetter zur Wasserwirtschaft. H. 210. Hamburg und Berlin. Paul Parey.
6. Friedrich, G. & Lacombe, J. (Hrsg.)(1992) Oekologische Bewertung von Fliessgewaessern. Limnologie Aktuell 3. Stuttgart, New York.
7. Florineth, F.(2004) Pflanzen statt Beton-Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik. Berlin, Hannover. Patzer Verlag.
8. Haselsteiner, R.(2010) Der Bewuchs an und auf Hochwasserschutzdeichen an Fliessgewaessern aus technischer und naturschutzfachlicher Sicht. Dresdner Wasserbaukolloquium 2010 "Wasserbau und Umwelt- Anforderungen, Methoden, Loesungen".
9. Haselsteiner, R. & Strobl, Th.(2004) Zum Einfluss von Bewuchs und Hohlräumen auf die Durchsickerung von Deichbauten. Beitrage zum Symposium vom 16.-19. Juni 2004 in Wallgau. Band 2. 92-100.
10. Hacker, U.(1995) BLV-Handbuch Baeume und Straeucher. Muenchen.
11. Kowarik, I.(2003) Biologische Invasionen. Neophyten und Neozonen in Mitteleuropa. Stuttgart. Ulmer.
12. Pflug, W. & Hacker, E.(1999) Flussdeiche und Flusssdaemme. Bewuchs und Standsicherheit. Jahrbuch 4 der Gesellschaft fuer Ingenieurbiologie e. V. Aachen.
13. Rauch, H.P.(2005) Hydraulischer Einfluss von Gehoelzstrukturen am Beispiel der ingenieurbiologischen Versuchsstrecke am Wienfluss. Diss. an der Uni. Wien.

14. Schaufuss, D.(2003) Neues Leben fuer den Fluss–Renaturierung der Isar in Muenchen. In: Tiefbau 11. 648–654.
15. Schiechl, H.(1985) Pflanzen als Mittel zur Bodenstabilisierung. Wurzelwerk und Standsicherheit von Boeschungen. Jahrbuch 2 der Gesellschafte fuer Ingenieurbiologie e.V. 23–34.
16. Strobl, Th.(2005) “Deichsanierung” Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, Endbericht, Im Auftrag vom Bayerischen Landesamt fuer Wasserwirtschaft(LfW), Lehrstuhl und Versuchsanstalt fuer Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU Muenchen.