

해안매립지 하천의 수위 및 침수기간이 저수하안 식생공법의 식생피도에 미치는 영향^{1a}

- 인천광역시 심곡천 실험구의 사례를 중심으로 -

신범균^{2*} · 김혜주² · 최계운³ · 한만신⁴

A Study on the Effect of Water Level and Inundation Period on the Plant Coverage of Revegetation Methods of Stream Bank in the Coastal Reclaimed Land^{1a}

- Focus on a Case of the Test-bed of the Simgok Stream in Incheon -

Beom-Kyun Shin^{2*}, Hyea-Ju Kim², Gye-Woon Choi³, Man-Shin Han⁴

요약

수위 및 침수기간이 저수하안 식생공법의 식생피도에 미치는 영향을 규명하기 위하여 심곡천 실험구에 적용된 식생공법에 대한 시공모니터링을 수행하였다. 시공모니터링의 항목은 각 공법의 출현식물종과 피복도, 토양의 이화학적 특성, 수위 및 수질 등이다. 모니터링 결과, 2010년도 5월 1차 조사에서는 모든 저수하안 식생공법의 식물생육은 양호하였으나, 2011년 약 1주일 이하의 침수가 있었던 6월 2차 조사에서는 적용된 식생공법의 식물 생육상태 및 피도가 부분적으로 불량하였다. 그리고 조사 기간 중 침수기간이 약 8주로 가장 길었던 8월 3차 조사에서는 갈대를 제외한 대부분의 식생이 고사하였다. 하지만 침수기간이 2주 이내로 3차 조사 때 보다 수위가 하강한 10월 4차 조사에서는 식물의 출현종수와 피복도가 점차 회복되는 것으로 관찰되었다. 이에 정량적 분석을 위하여 식생공의 식물출현종수 및 피도와 수위, 침수기간에 대한 상관성 분석을 실시하였다. 그 결과 출현종수 및 피도는 수위 및 침수기간과는 음(-)의 상관성을 나타내었는데, 침수기간이 수위보다 다소 더 높은 상관성이 있는 것으로 분석되었다.

주요어: 시공모니터링, 토양의 이화학적 특성, 상관성 분석

ABSTRACT

The study performed the implementation monitoring of the revegetation methods applied to the test-bed of Simgok Stream in Incheon to identify the effect of water level and inundation period on the vegetation coverage of the stream bank revegetation methods. The categories of monitoring included the plant species and plant coverage for each method, physicochemical property of soil, water level and water quality. The result of

1 접수 2012년 3월 13일, 수정(1차: 2012년 5월 31일, 2차: 2012년 6월 8일), 게재확정 2012년 6월 9일

Received 13 March 2012; Revised(1st: 31 May 2012, 2nd: 8 June 2012); Accepted 9 June 2012

2 김혜주자연환경계획연구소 Institute of Landscape Planning Hyea-Ju Kim, SK HUB Blue 17010 ho, 2139 Seobu-ro, Jangan-gu, Suwon, Gyeonggi-do(440-825), Korea

3 인천대학교 공과대학 토목환경공학과 Dept. of Civil and Environmental System Engineering., Univ. of Incheon, 12-1, Songdo-dong, Yeonsu-gu, Incheon(406-772), Korea

4 (재)국제도시물정보과학연구원 International Center for Urban Water Hydroinformatics Research and Innovation, Room 104, 7-46, Songdo-dong, Yeonsu-gu, Incheon(406-840), Korea

a 이 논문은 환경부 Eco-STAR Project(수생태복원사업단)의 지원에 의해 수행되었음.

* 교신저자 Corresponding author(peewee97@hanmail.net)

monitoring revealed that plant growth conditions of all revegetation methods of each stream bank were good in the first survey as of May 2010. However, in the second survey of June 2011 when inundation period was less than a week, plant growth conditions and coverage of revegetation methods were partially bad. In the third survey as of August 2011 when inundation period was longest as 8 weeks during survey period, most vegetations did not survive except for *Phragmites communis*. But plant species number and plant coverage were increased gradually in the forth survey as of October 2011 when inundation period was less than 2 weeks so water level decreased more than that of third survey. Accordingly, the correlation analysis among number of plant species and plant coverage on stream bank, which applied revegetation method, water level and inundation period was performed for quantitative analysis. The result revealed that number of plant species and plant coverage has a negative correlation with water level and inundation period, but inundation period had higher correlation with plant occurrence than water level.

KEY WORDS: IMPLEMENTATION MONITORING, PHYSICOCHEMICAL PROPERTY OF SOIL, CORRELATION ANALYSIS

서론

자연하천에서의 저수하안식생은 유속저하 및 하안침식 방지는 물론 다양한 생물의 서식처를 제공하며 하천의 경관성을 향상시킨다. 하천의 하안 식생은 하안의 침수일수에 따라서 서로 다른 생육구역을 가진다. 예를 들어 침수빈도가 연중 150일 이상인 하안구역은 정수역 또는 추수역으로서 정수식물이 생육하기에 적절한 곳이며, 연중 30일 이상 150일 이내로 침수되는 구역은 연수목 구역으로 버드나무류의 생육구역이다. 그리고 연중 30일 이내로 침수되는 구역은 경수목 구역으로 무겁고 딱딱한 참나무류 등이 생육하기에 적합한 곳이다(Bittmann, 1965). 따라서 자연형 하천 조성에서 저수하안공법에 식생을 도입하고자 할 경우에 하안대의 침수기간을 고려한 식물종의 선택은 매우 중요하다고 볼 수 있다. 이에 Kercher and Zedler(2004), US Fish and Wildlife Service(2008), Späth(1988) 등은 하천의 화본과 식물류 또는 버드나무나 포플러 등과 같은 수목류들에 대한 내침수성 실험을 하였으며, 국내의 경우도 Park and Choi(2001)는 갯버들, 족제비싸리, 싸리, 등나무에 대하여, Park(2002)은 노랑꽃창포, 달뿌리풀, 갈대에 대하여, Park et al.(2008)은 Iris 속에 대한 내침수성 실험을 하였다. 한편 하천 식생공의 모니터링에서는 주로 호안의 식생변화에 대한 연구로 Lee et al.(2010), Kim et al.(2011) 등이 있으며, 하천토목 분야에서는 하안 공법의 수리적 안정성 및 식물의 활착성에 대한 연구가 있다(Kim et al., 2008; Kim, 2006), 하지만 시공모니터링(Implementation Monitoring)에서 식생공의 피복정도와 침수의 영향성에 대한 연구는 보고된 사례가 없었다. 이에 본 연구는 시공모니터링에서 나타날

수 있는 식생공의 식물 피복정도와 수위 및 침수관계를 조사분석하여, 특히 해안매립지 도시하천의 공법적용상의 문제점을 찾아내고, 그 개선안을 모색해 보고자 하였다. 그리고 본 연구는 앞서 언급한 바와 같이, 지금까지는 학계 또는 업계에서 주로 식생공의 식생의 변화 또는 수리적, 물리적 안정성에 대한 관심이 많았지만, 최근 이상기후에 따른 장기 침수에 대비한 식생공의 식물종 선택에 대한 중요성을 고취시키는 것에도 본 연구의 의의를 두고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험구 선정 및 개황

연구 대상지인 심곡천은 인천광역시 서구 철마산(EL. 226.5m)에서 발원하여 유하하다가 매립지를 통과하여 청라도 부근의 서해로 유입되는 지방하천으로서, 유로연장은 9.78km, 유역면적은 18.13km², 유역평균고도 EL. 18.5m, 유역평균경사는 4.74°, 사행도는 1.42이다. 심곡천은 본래 유로연장 2.2km, 유역면적 1.5km²의 매우 작은 규모의 하천이었으나, 1980년부터 11년 동안 서구 경서동의 광범위한 공유수면을 매립하는 과정에서 유로연장과 유역면적이 증가하였다. 심곡천의 하구부에는 염수 유입을 방지하는 배수갑문이 설치되어 일반하천과는 다르게 관리수위가 설정되어 있다. 심곡천의 관리수위는 EL. -1.735m이며, 하구부의 하상고는 해발 EL. -3m이다. 심곡천의 유출량은 0.08~1.45m³/s, 중하류의 최대 유속은 0.82m/s이며, 저질의 염분농도는 0.07%(700mg/L)이다. 한편 아래의 Figure 1에서 보이는 바와 같이 실험구가 위치한 중하류의 경우 2000년대 후반 인

천광역시 서구 청라동 청라경제자유구역 조성에 따른 공사로 인하여 유로의 위치가 변경된 구간이다. 아울러 심곡천의 주요 출현식물은 상류에서는 갈대군락과 비자루국화군락, 중류와 하류에서는 갈대군락, 비자루국화군락, 칠면초군락이 우점하고 있다.

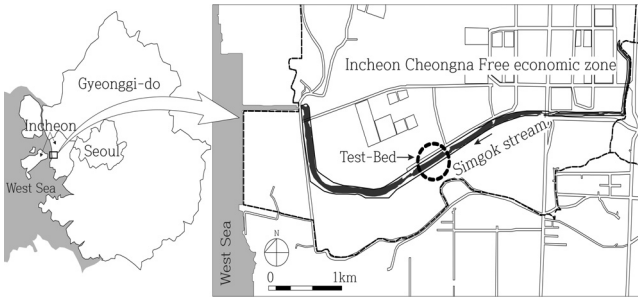


Figure 1. Location of Simgok stream and the test-bed

실험용 4개 하안 공법의(A~D) 적용은 심곡천의 토양염분 농도 (Table 2)를 고려하여 외부로부터 양토를 반입하여 식생기반을 조성한 후, 아래에서처럼 심곡천의 우안에 나란히 적용하였다.

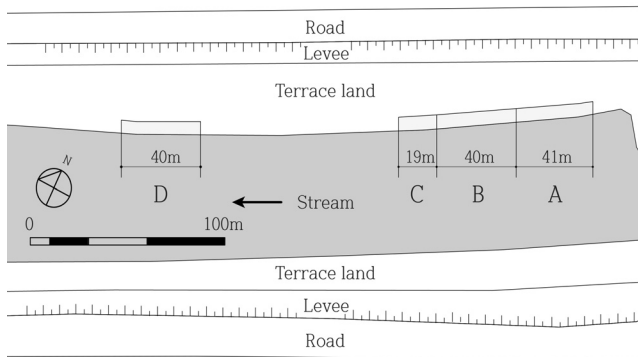


Figure 2. Location of application area of each revegetation method

2. 조사 및 분석방법

각 공법적용지의 식물모니터링은 1차 2010년 5월 23일, 2차 2011년 06월 02일, 3차 2011년 08월 18일, 4차는 2011년 10월 20일에 각 1회씩 총4회 실시하였으나, 공법 D의 경우는 1차 조사 시에 공법이 시공되지 않아서 2차 조사부터 실시하여 총3회만 실시하였다. 식물 모니터링 방법은 먼저 하안 공법적용 장소를 0.1m × 0.1m 크기의 격자들로 분할한 후에, 각 격자 내에서 우점하는 식물들을 각각의 심볼로 도면에 표시하여 공법별 식생도면을 작성하고, 출현종

별로 출현 면적을 산출하였다.

수위측정은 수위 기록계인 In-Situ Rugged TROLL® 100을 설치하여 2011년 4월 26일 오후 03시부터 2012년 1월 10일까지 1시간 간격으로 지속적으로 측정하였다. 그러나 2010년 5월 공법 적용후인 1차 식물 모니터링에서는 침수기가 없었기 때문에 수위측정은 실시하지 않았다. 침수가 발생한 시기의 측정된 수위계측치는 식물조사일의 평균 수위를 산출하여 수위 변화표를 작성하였다.

실험구의 수질 측정은 공정시험법에 준하여 실시하였으며, 2010년 6월, 8월, 11월, 12월, 2011년 2월, 4월, 6월, 7월, 8월, 9월 2회, 10월 총12회 실시하였다. 그리고 토양 염분 농도는 농촌진흥청(국립원에 특장 과학원)에 의뢰하여 실시하였다.

아울러 통계분석에는 SPSS Statistics 17.0(SPSS Inc., 2008) 소프트웨어를 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 수질

실험구의 수질은(Table 1) 환경부의 하천 생활환경기준과 호소 생활환경기준에 따르면, pH(산도)는 평균 7.42로서 Ia~III등급(매우 좋음~보통)이었고, DO(용존산소량)농도는 평균 7.98mg/L로 Ia등급(매우 좋음)을 나타내었다. 반면에 BOD(생물학적 산소요구량)농도는 5.18mg/L로서 IV등급(약간 나쁨), COD(화학적 산소요구량)농도는 평균 9.47 mg/L로 V등급(나쁨)으로 판정되었다. 그리고 SS(부유물질) 농도는 평균 41.8mg/L로 IV등급(약간 나쁨)에 해당하였으며, T-N(총질소)농도는 평균 3.17mg/L로 VI등급(매우 나쁨), T-P(총인)농도는 평균 0.14mg/L로 III등급(보통)을 나타내어 심곡천의 수환경은 불량한 편이었다. 한편 심곡천 하천수의 염분농도는 200~4,200mg/L의 범위에 평균 1761.1mg/L이었다.

Table 1. Water characteristics in the test-bed of Simgok stream(2010. 6 ~ 2011. 10)

Item	Maximum	Minimum	Average
pH	8.60	6.83	7.42
DO(mg/L)	9.30	6.68	7.98
BOD(mg/L)	10.10	1.24	5.18
COD(mg/L)	17.27	3.67	9.47
SS(mg/L)	66.70	15.00	41.80
T-N(mg/L)	5.01	0.71	3.17
T-P(mg/L)	0.32	0.04	0.14
Salinity(mg/L)	4,200.00	200.00	1,761.10

2. 수위

2011년 4월말부터 2012년 1월초까지 심곡천의 수위를 측정한 결과 Figure 3에서와 같이 2011년 5월초에 한차례 수위가 상승하였다가 하강하였으며 6월말과 8월말사이의 기간에는 장마철의 영향으로 높은 수위를 나타내었다. 그리고 8월말부터 수위가 낮아진 이후에는 11월말과 12월초에 한차례씩 오르내렸으나 수위변화 폭은 크지 않았다. 실험구의 월평균 수위의 경우, 7월의 평균 수위가 EL. 0.003m로 가장 높았고, 다음은 8월의 EL. -0.359m이었으며 수위가 가장 낮았던 시기는 2012년 1월의 EL. -1.266m이었다.

아울러 심곡천의 관리 수위는 EL. -1.735m이나 측정기간 동안에는 수위가 EL. -1.5m 아래로는 내려가지 않았다. 이는 청라경제자유구역 조성공사에 따른 가물막이의 영향인 것으로 판단된다.

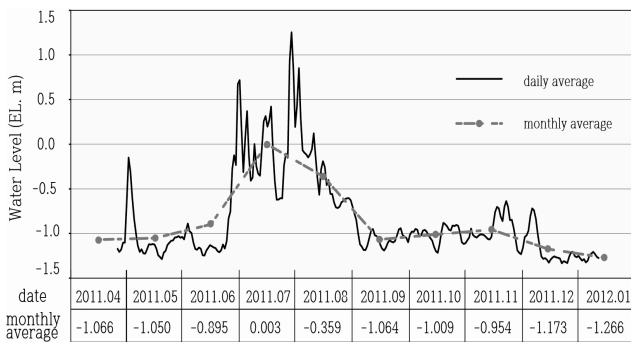


Figure 3. Changes of water level in test-bed section

3. 토양의 이화학적 특성

실험구 토양의 이화학적 특성을 분석한 결과 Table 2와 같이 pH는 평균 7.46으로 약알칼리성이었으며, 전기전도도(EC)는 평균 13.77dS/m, 유기물(OM)이 0.52%, 유효인산(Av.P₂O₅)이 14.39mg/kg, 칼륨(K) 1.59cmol/kg, 칼슘(Ca) 4.83cmol/kg, 마그네슘(mg) 5.29cmol/kg, 암모니아성질소(NH₄-N) 17.38mg/kg, 질산성질소(NO₃-N) 13.18mg/kg으로 영양염이 적은 토양이었다. 그리고 전기전도도를 염분농도로 환산한 결과 실험구의 토양 평균 염분농도는 0.88%(8,800mg/L)로서 Karlheinz(1974)가 제시한 일반적인 식물들(mesophytes)이 생육하는 염분농도 0.05~0.5%(500~5000mg/L)보다 크게 높았으며, 염생식물의 서식 범위인 0.5~3.0%(5,000~30,000mg/L)에 속하는 것으로 나타났다.

Table 2. The results of soil analysis in the test-bed of Simgok stream

Item	No.			
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Average
pH	7.45	7.48	7.45	7.46
EC(dS/m)	13.66	13.70	13.94	13.77
OM(%)	0.54	0.54	0.48	0.52
Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	12.20	13.24	17.72	14.39
K(cmol/kg)	1.60	1.59	1.58	1.59
Ca(cmol/kg)	4.84	4.83	4.82	4.83
Mg(cmol/kg)	5.31	5.31	5.25	5.29
NH ₄ -N(mg/kg)	16.10	20.30	15.80	17.38
NO ₃ -N(mg/kg)	12.60	16.80	10.20	13.18
Salinity(%)	0.87	0.88	0.89	0.88

4. 공법별 수위 및 침수기간과 식생변화

1) 공법 A

공법 A의 시공은 2009년 10월 실시하였다. 시공법은 하안에 일정 간격으로 나무말뚝을 설치한 후, 사질토와 폴리에스테르섬유를 함께 하안에 분사시켜 취부한 다음에 천연 면네트를 깔고 복토하였다. 그리고 Appendix 1과 같이 갈대, 억새, 수레국화, 벌노랑이, 패랭이, 큰김의털을 파종하였다. 공법적용 면적은 205m²이다.

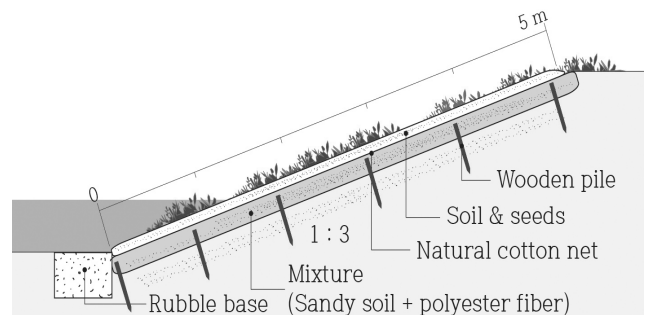


Figure 4. The Cross-section of the method A

공법 A의 1차 모니터링은 2010년에 실시되었고, 큰김의털을 우점종으로 총7종이 관찰되었으며, 피도는 67.2%이었다. 그리고 2차 조사시에는 우점종인 큰김의털을 비롯한 31종이 출현하여 30.9%의 피도를 나타내어 출현종은 증가하였으나, 피도는 1차에 비하여 1/2 이상으로 감소하였다. 이 때 하안의 침수기간은 Table 3에서와 같이 2011년 4월말 최초의 수위측정 후, 식물조사기인 6월 2차 조사기 사이에 하안 1m 이상이 침수된 기간은 5일, 하안 2m 이상이 침수된 기간은 2일이었고, 하안 3m 이상은 1일이었으며, 하안

의 4m 이상이 침수된 기간은 없었다. 3차 조사는 장마 직후 8월에 실시하였는데, 총 출현종은 12종이며, 우점종은 새섬매자기이었고, 전체 출현종의 피도는 1.5%로서 출현종수와 피도가 급감하였다. 이 시기에 하안의 1m 이상이 침수된 일수는 56일이었고, 하안의 2m 이상 침수된 기간이 50일, 3m 이상은 36일, 4m 이상은 18일이었으며, 하안 전체가 침수된 기간은 8일이었다. 아울러 10월의 4차 조사에서의 총 출현종은 24종으로 피도는 12.0%이며, 우점종은 개소시랑개비이었다. 4차 조시기의 침수일수는 하안의 1m 이상이 침수된 일수가 13일이었고, 하안의 2m 이상이 침수된 기간은 없었는데, 3차 조사에 비하여 출현종과 피복도가 서서히 회복되는 것으로 나타났다.

2) 공법 B

공법 B는 2009년 11월 시공되었으며, 적용면적은 200m²이다. 시공은 적용하안에 먼저 부직포를 덮은 후에, 마섬유를 첨가한 쓰일블록을 설치하고, 그 위에 복토를 한 후 Appendix 1에서와 같이 큰김의털, 호밀풀, 부처꽃, 꽃향유, 질경이, 유채, 패랭이 등 총14종을 파종하고 벧짚거적을 덮어주었다.

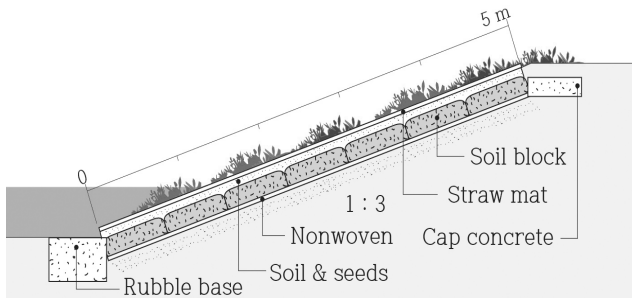


Figure 5. The Cross-section of the method B

공법 B는 2010년 1차 조사에서는 우점종인 큰김의털을 비롯한 5종이 피도 80.0%를 나타내었다. 그리고 2011년 6월 조사에서도 우점종은 큰김의털이었고, 총 출현종이 34종으로 크게 증가하였지만, 피복도는 37.4%으로 1차 조사시와 비교하면 1/2 이상 감소하였다. 이때의 하안 침수기간은 Table 3에서와 같이 하안 1m 이상이 침수된 기간은 4일이었고, 하안의 2m 이상이 침수된 기간은 2일, 3m 이상은 1일, 하안의 4m 이상이 침수된 기간은 없었다. 8월의 3차 조사에서는 우점종인 갈대를 비롯하여 총 13종이 관찰되었고, 피도는 2.0%로서 출현종과 피도가 매우 큰 폭으로 감소하였다. 이때의 침수기간은 하안의 1m 이상이 잠긴 일수는 56일이었고, 하안의 2m 이상은 48일, 3m 이상은 33일, 4m 이상은 17일이며, 적용 하안 전체가 침수된 일수는 7일이었다. 한편 10월의 4차 조사에서는 우점종인 개소시랑개비를

비롯한 22종이 출현하였고, 피도는 14.5%로 출현종과 피도가 다소 회복되었다. 이때 하안의 1m 이상이 침수된 일수는 11일이며 하안의 2m 이상이 침수된 일수는 없었다.

3) 공법 C

공법 C는 2009년 10월 시공되었으며 적용면적은 95m²이다. 이 공법은 Figure 6에서 보이는 것처럼 적용 하안에 필터매트를 깔고 전용 포머(former)를 설치한 후 와이어메쉬(wire mesh)를 넣고 투수콘크리트를 타설하였다. 그리고 콘크리트 양생 후 버너(burner)로 포머를 제거하여 식생공간을 확보한 후에 토양을 채우고 왕포아풀의 뗏장을 식재하였다.

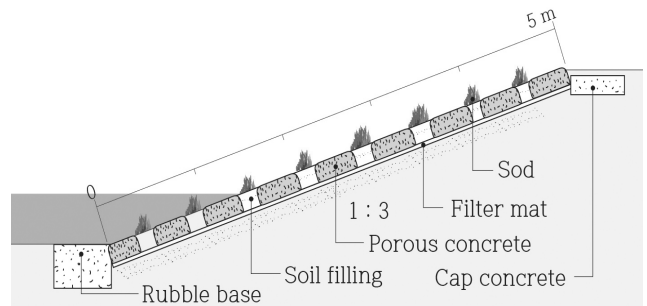


Figure 6. The Cross-section of the method C

공법 C는 2010년 5월 1차 모니터링에서 왕포아풀과 쥐보리가 관찰되었고, 그 피도는 22.8%이었다. 그리고 다음해 6월 2차 조사에서는 총 출현종이 14종으로 12.5%의 피도를 나타내었으며 칠면초가 우점하였다. 이때 하안의 침수기간은 Table 3에서처럼 공법 C의 하안 1m 이상이 침수된 기간은 6일이었고, 하안의 2m 이상이 침수된 일수는 3일, 3m 이상은 1일이며, 하안 전체가 침수된 기간은 없었다. 한편 8월의 3차 조사에서는 우점종인 돌피를 비롯한 10종이 출현하였고, 그 피도는 1.0%를 나타내었다. 이 때의 침수기간은 하안의 1m 이상이 침수된 기간이 56일, 적용 하안의 2m 이상이 침수된 기간이 52일, 3m 이상은 39일, 4m 이상은 18일이었고, 하안이 전부 침수된 기간은 9일이었다. 아울러 10월의 4차 조사에서는 우점종인 갯명아주를 비롯한 12종이 출현하였고, 그 피도는 3.2%이었다. 이때 하안의 1m 이상이 침수된 일수는 14일이고, 하안의 2m 이상이 침수된 일수는 2일, 하안의 3m 이상이 침수된 기간은 없었다.

4) 공법 D

공법 D(Figure 7)는 2011년 4월 200m²의 크기로 시공하였다. 그 방법은 열처리한 목재를 이용하여 격자방틀을 제작하여 설치한 후에, 반입 토양을 방틀에 채우고 방틀내에는 갈대, 털부처, 별개미취를 파종하였다.

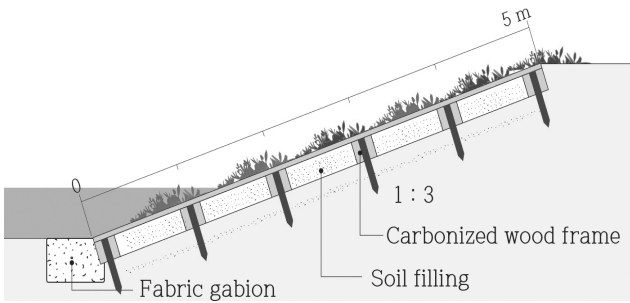


Figure 7. The Cross-section of the method D

공법 D의 경우 2010년 1차 모니터링시기에 공법이 적용되지 않아 다음해인 6월부터 모니터링을 실시하였다. 공법 D는 2차 조사에서 출현종이 총 22종으로 16.6%의 피도를 나타내었고, 갈대가 우점하였다. 이때 침수기간은 Table 3에서와 같이 공법적용 하안의 1m 이상이 침수된 기간은 4일, 2m 이상이 침수된 일수는 2일이었으며, 하안의 3m 이상이 침수된 기간은 없었다. 그리고 8월 3차 조사 시에 출현종수는 우점종인 갈대를 비롯한 18종으로 그 피도는 19.5%이었다. 이때 침수기간은 하안의 1m 이상이 침수된 일수는 54일, 하안 2m 이상이 침수된 기간은 42일, 하안의 3m 이상은 20일, 4m 이상은 12일이고, 전체 하안이 침수된 기간은 6일이었다. 아울러 이 공법을 적용한 하안의 절반을 9월 중순에 다른 식생으로 재시공하였는데, 10월 4차 조사 결과 우점종인 새섬매자기를 비롯하여 총 11종이 출현하였으며, 피도는 96.2%이었다. 재시공을 하지 않은 기존의 하안에서는 총 24개 출현종이 피도 11.2%을 나타내었고, 우점종은 갯명아주로 관찰되었다. 4차 조사시의 침수일수는 공법 적용 하안의 1m 이상이 침수된 기간은 6일이었으며, 2m

이상이 침수된 기간은 없었다.

공법 A~D의 피복도를 서로 비교해보면 아래 Figure 3과 Appendix 1에서 볼 수 있는 것처럼, 공법 C가 가장 피복율과 출현종수가 낮았으며, 나머지 공법들은 서로 서로 큰 차별성은 없었다. 그 이유는 공법 C(Figure 6)의 경우 공법의 특성상 식물생육면적이 작게 제한되었기 때문이라 판단된다.

5. 공법별 수위 및 침수기간과 식물출현과의 상관성

수위 및 침수기간과 적용공법의 식물출현과의 관계를 정량적으로 규명하고자 상관성분석을 실시하였다. 상관성 분석에는 출현종, 피도, 침수기간, 수위를 이용하여 Pearson의 상관계수를 구하였다. 이때 통계적 유의성 검정은 양측검정(two-tailed test)으로 유의수준(significant level)은 0.1 이하로 하였다.

상관성 분석 결과 Table 4에서와 같이 식물의 출현종수는 하안의 침수 범위에 상관없이 침수기간 및 수위와 상관관계를 나타내었다. 식물 출현종수와 침수기간은 하안 침수 범위에 따라 $r = -0.62 \sim -0.66$ ($p = 0.02 \sim 0.03$), 수위는 $r = -0.58$ ($p = 0.05$)으로 보통정도의 음(-)의 상관성을 나타내었는데, 이것은 침수기간이 길어질수록 또 수위가 높아질수록 식물의 출현종수가 감소하였음을 의미하는 것이다. 한편 식물의 피도는 하안의 침수 범위에 상관없이 침수기간과 보통정도의 음의 상관성을 보였으나, 수위와는 상관관계가 없었다.

따라서 상관성 분석 결과를 종합하여 볼 때 공법별 식물의 출현은 침수기간과 수위의 영향을 받은 것으로 나타났으며, 수위보다는 침수기간의 영향이 더 컸던 것으로 분석되었다.

Table 3. Plant coverage, plant species number, water level and inundation period in each survey

Items	Date	1st(2010. 5)**				2nd(2011. 6)				3rd(2011. 8)				4th(2011. 10)			
	Revegetation method	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Plant	Coverage(%)	67.2	80.0	22.8	-	30.9	37.4	12.5	16.6	1.5	2.0	1.0	19.5	12.0	14.5	3.2	11.2
	Number of species	7	5	2	-	31	34	14	22	12	13	10	18	24	22	12	24
Inundation period	Bank ≥1m (day)	-	-	-	-	5	4	6	4	56	56	56	54	13	11	14	6
	Bank ≥2m (day)	-	-	-	-	2	2	3	2	50	48	52	42	0	0	2	0
	Bank ≥3m (day)	-	-	-	-	1	1	1	0	36	33	39	20	0	0	0	0
	Bank ≥4m (day)	-	-	-	-	0	0	0	0	18	17	18	12	0	0	0	0
	Bank ≥5m (day)	-	-	-	-	0	0	0	0	8	7	9	6	0	0	0	0
Water level(EL. m)*		-				-0.89				-0.56				-0.92			

* Simgok stream is located below the sea level and water level is based on sea level so each revegetation stream bank was equal.

** No water level was recorded in the first survey.

Table 4. Correlations among survey items

Items	Plant			
	Number of species		Coverage	
	Pearson correlation(r)	Sig. lev.(p)	Pearson correlation(r)	Sig. lev.(p)
Bank $\geq 1m(\text{day})$	-0.66 ^(**)	0.02	-0.56 ^(*)	0.06
Inun- Bank $\geq 2m(\text{day})$	-0.63 ^(**)	0.03	-0.51 ^(*)	0.09
dation Bank $\geq 3m(\text{day})$	-0.64 ^(**)	0.03	-0.56 ^(*)	0.06
period Bank $\geq 4m(\text{day})$	-0.64 ^(**)	0.03	-0.55 ^(*)	0.07
Bank $\geq 5m(\text{day})$	-0.64 ^(**)	0.03	-0.53 ^(*)	0.08
Water level(EL. m)	-0.58 ^(**)	0.05	-0.44	0.15

(*) Significant level (p) ≤ 0.1 , (**) Significant level (p) ≤ 0.05

6. 종합

심곡천의 특성은 유량이 풍부하고, 유속이 느린 해안매립지의 전형적인 평지형 하천이다. 수질은 불량한 편이고, 토양의 이화학적 특성은 양분이 적으며, 염분농도가 높다. 이에 따라서 식생공법을 적용하는 각 업체에서는 외부에서 양토를 반입하여 각 공법을 시공하였다. 그 결과 시공 직후부터 침수가 없었던 시기에는 모든 식생공법의 식물 생육 및 피복도는 양호하였다. 즉 심곡천의 비교적 강한 토양염분 농도의 영향은 식물에 나타나지 않았다. 그러나 여름철 8주간의 높은 수위와 장기 침수상태 하에서는 모든 공법의 식물은 갈대를 제외하고 대부분이 고사하였다. 그 원인은 장기침수와 높은 수위가 직접적인 영향인 것으로 분석되었다. 한편으로는 장기침수에 의한 하천수의 염분 농도(200~4,200mg/L)가 많은 유량으로 희석되어진 것이라 하여도 하천수의 염분농도도 어느 정도 식물에 영향을 주었을 것이라 추측된다. 그 이유는 장기 침수 후 대부분의 식물종이 고사하였으나, 유일하게 각 공법에 도입된 내염성이 높은 갈대만이 높은 생존력을 나타내었기 때문이다. 또한 갈대 생육범위가 Bittmann(1965)에서처럼 150일 이상의 침수가 있는 하안구역이라는 것도 한 요인으로 작용하였다고 본다. 결론적으로 해안매립지 하천인 심곡천 실험구에 적용된 식생공법의 문제점은 장기적인 침수와 토양염분을 고려하지 못한 수중선택이었다고 판단된다. 따라서 심곡천과 같은 해안매립지 하천에서는 내염성에 강한 갈대를 중심으로 한 식물종을 각 공법에 선택하는 것이 적합할 것으로 사료된다. 예를 들면 심곡천 종류의 자연상태에서 출현하고 있는 달뿌리풀, 새섬매자기, 새 등을 갈대의 부수종으로 하여기 적용된 공법의 외래종과 귀화종을 대체하는 것이 심곡천과 같은 해안매립지 하천의 자연적 환경특성에 적합할 것으로 사료된다.

인용문헌

Bittmann, E.(1965) Grundlagen und Methoden des biologischen Wasserbaus. In: Bundesanstalt f. Gewaesserkunde(Hrsg.): Der biologische Wasserbau an den Bundesstrassen. Stuttgart. 1-56.

Karlheinz K.(1974) Pflanzen an Salzstandorten. Naturwissenschaften 61, pp. 337-343.

Kim, C., N.H. Park, D.Y. Kim and Y.H. Kim(2008) Stability Analysis of Low Flow Revetments on External Forces. Korea Disaster Prevention Association 8(5): 147-153. (in Korean with English abstract)

Kim, J.H.(2006) Hydraulic Stability and Vegetation Rooting of Revetment Works. Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, May, pp. 1,102-1,106.

Kim, W.S., J.I. Kwak, K.J. Lee and B.H. Han(2011) A Study on Characteristics of Vegetation Distribution according to Revetment Techniques of Riverbank in Han River, Korea. Kor. J. Env. Eco. 25(1): 17-030. (in Korean with English abstract)

Kercher, S.M. and J.B. Zedler(2004) Flood tolerance in wetland angiosperms: a comparison of invasive and noninvasive species, Aquatic Botany 80: 89-102.

Lee, S.D., H.K. Kang and H.S. Jang(2010) Monitoring of Vegetation Changes after Constructing the Vegetation-mat Measures for Greening in Embankment-A Case Study of Tancheon, Seongnam. Kor. J. Env. Eco. 24(3): 302-317. (in Korean with English abstract)

Park, C.M.(2002) Comparing of Tolerance of Herbaceous Plants for Selecting Useful Revegetation Plants in Shoreline Slope of Lake. J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech. 5(2): 25-33. (in Korean with English abstract)

Park, C.M. and G.H. Choi(2001) Study on the Flooding Tolerance of Some Woody Plants for Selecting Useful Revegetation Plants in Lake and Marsh Slopes. J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech. 4(2): 45-51. (in Korean with English abstract)

Park, S.H., C.M. Park and H.K. Oh(2008) Growth Characteristics of 4 *Iris* Species by Flooding Periods for Revegetation Plants Selection in Water Level Changing Slopes. Korea. J. Env. Eco. 22(6): 640-647. (in Korean with English abstract)

Späth, V.(1988) Zur Hochwassertoleranz von Auenwaldbaeumen. Natur und Landschaft 63: 312-315.

SPSS Inc.(2008) SPSS Statistics 17.0 Release 17.0.

US Fish and Wildlife Service(2008) Effects of Long Duration Flooding on Riparian Plant Species in Restoration Plantings, San Joaquin River National Wildlife Refuge, Stanislaus County, California, pp. 1-25.

