

하천구역내 나무심기 및 관리에 관한 기준

[건설교통부 하계 58170-339('98. 5. 27)]

1998. 5.

건 설 교 통 부

머 리 말

우리 나라는 그 동안 치수와 이수관리에 초점을 맞추어 하천을 관리하여 왔기 때문에 하천을 정비할 때 하천의 공간적 특성, 동·식물과 같은 생태계에 미치는 영향, 자정능력 등을 충분히 고려하지 않았으며 더욱이 급격한 산업화와 도시화로 하천의 황폐화가 가속되어 왔습니다. 그러다가 '80년대 중반부터 국민소득 향상과 여가의 증대로 생활환경의 질적 향상을 추구하게 되었고, 산업화 초기부터 시작된 일부 환경단체의 자연보호운동이 생태계 보전 및 복원으로 확산되면서 하천환경에 대한 주민들의 관심도 고조되었으며, 이에 부응하여 일부 지방자치단체와 환경단체에서 하천환경을 개선하기 위한 노력을 기울이면서 하천구역내 나무심기 문제가 대두되기 시작하였습니다.

이에 따라 건설교통부에서는 시대적 요구에 부응하여 생태적 서식처로서의 역할, 경관조성, 휴식처로서의 역할 등 하천환경을 구성하는 요소로서 이·치수계획에 지장을 주지 않는 범위 내에서 하천구역에 나무를 심을 수 있도록 하천법시행령을 개정('97. 10. 30)하였으며, 이러한 취지에 맞추어 그 동안의 연구조사 결과와 외국의 문헌을 참고하여 ‘하천구역내 나무심기 및 관리에 관한 기준’을 제시하게 되었습니다.

본 기준에는 우리 나라 하천에 서식하는 나무의 종류와 그 특성을 제시하고, 하천구역내 나무가 홍수 흐름에 미치는 영향을 계산하는 수리계산방법, 그리고 자생하거나 심은 나무의 관리시 유의사항 등을 수록하였으며, 제시된 수리계산방법의 계산 예제를 첨부하여 이용에 편리를 도모할 수 있도록 구성하였습니다. 그러나 이 기준에서 이용되는 수리계산방법과 변수는 아직까지 우리 나라의 실제 하천에 적용하여 일반화된 것이 아니기 때문에 이러한 한계를 감안하여 이 기준을 이용할 때에는 하천에 대한 현장조사를 철저히 수행하고 그 결과를 면밀히 검토한 후 사용하여야 합니다.

앞으로 수리계산 및 나무의 특성 등을 계속 연구·조사해 보다 구체적이고 일반화된 기술기준을 만들어 나갈 것이며, 자연과 조화된 아름다운 하천을 만드는 데 적극적으로 활용해주기 바랍니다.

1998년 5월 27일

건설교통부 수자원심의관 임 충 수

목 차

제1장 총 설	1
1.1 목 적	1
1.2 적용 범위	1
1.3 기준의 내용	1
1.4 용어 정의	1
1.5 운용방침	3
1.5.1 하천구역내 나무의 관리 원칙	3
1.5.2 나무심기의 제한	3
1.6 나무심기의 절차	4
1.7 시행일	4
제2장 하천구역내 나무의 성장 특성과 치수상의 영향	5
제1절 하천구역내 나무의 성장 특성	5
1.1 수종의 선정	5
1.2 나무뿌리가 뺏는 범위에 대한 특성파악	6
1.3 나무의 전도	6
1.3.1 나무의 전도한계모멘트	6
1.3.2 나무에 작용하는 외력모멘트	8
1.3.3 전도의 판정	10
제2절 나무 군락에 의한 수리학적 영향의 조사방법	10
2.1 기초조사	10
2.1.1 나무 군락의 번성 형태 조사	11
2.1.2 홍수흔적 조사	12
2.2 나무 군락이 있는 하천구역의 수리계산 [방법-1]	21
2.2.1 나무 군락을 고려한 수리 계산	13
2.2.2 Manning 조도계수	6
2.2.3 단면형상에 의한 흐름저항	17
2.2.4 나무 군락과 흐름 사이의 전단력	18

2.2.5 유속 분포 조사	18
2.3 나무가 있는 하도의 수리계산 [방법-II]	91
2.3.1 조도계수	19
2.3.2 나무가 없는 하천의 수리계산	21
2.3.3 나무가 있는 하천의 수리계산	22
제3장 하천구역내 나무심기시 검토할 사항	26
제1절 나무심기 방법 및 식수밀도	26
1.1 나무심기 방법	26
1.2 나무를 심을 수 있는 구역 내에서의 허용식수밀도	29
제2절 나무심기 요청에 대한 대처방안	30
2.1 심을 나무의 선정 및 배치 등에 대한 검토	30
2.2 심은 나무의 전도 및 유실된 나무의 유출에 대한 방지대책	31
제4장 하천구역내 나무 관리	33
제1절 하천구역내 나무의 관리	33
제2절 자생하는 나무의 관리	33
2.1 벌채한 구역의 점검	33
2.2 자생하는 나무 군락의 점검	34
제3절 심은 나무의 관리	34
부록A 우리나라 하천수계에 서식하는 나무	36
부록B 우리나라 하천에 서식하는 대표적인 나무의 형태적 특성	40
부록C 하천구역내 수목의 내력시험	46
부록D 나무 군락을 고려한 수리계산 예제	48

제1장 총 설

1.1 목 적

이 기준은 하천법 제25조제1항제8호 및 하천법 시행령 제19조의 2의 규정에 의하여 하천구역내 나무 심기 및 관리에 관한 기준(이하 “기준”이라 한다)을 정함을 목적으로 한다.

1.2 적용 범위

이 기준은 하천구역내 나무를 심거나 심은 나무의 관리 또는 하천을 정비하는 경우 하천구역안에서 자생하는 나무의 관리에 필요한 사항을 정한다.

1.3 기준의 내용

이 기준은 총설, 나무의 성장특성과 치수상의 영향, 나무심기 검토사항 및 나무 관리의 4장으로 구성되고, 각 장에서는 나무를 심거나 관리하는데 필요한 내용을 기술한다. 또한 참고자료와 참고사항을 두어 이해를 돕도록 한다.

1.4 용어 정의

이 기준에서 사용하는 용어는 뒷턱, 측단, 고수부지, 사수역, 기타 나무에 관한 것으로써 교목, 관목, 수관, 수고, 수관폭, 지하고, 수령, 흉고직경, 근원직경 등이다. 다만, 이 기준에서 정하지 않은 용어에 대해서는 하천법령, 하천공사표준시방서, 조경공사표준시방서 및 하천시설기준 등에서 사용하는 용어의 정의에 따른다.

[해설]

- (1) “뒷턱”이라 함은 제방의 뒷비탈(제방의 제내측 비탈, 이하 같다)면에 제방의 안정 등을 위하여 설치한 턱(소단)을 말한다.
- (2) “측단(側壇)”이라 함은 제방의 뒷비탈 기슭에 제방의 안정, 수해방지 및 조경 등을 위해 설치한 단을 말한다.
- (3) “고수부지”라 함은 하천구역내 제방과 저수로 사이의 토지를 말한다.
- (4) “사수역”이라 함은 하도의 일부분에 정지된 흐름이나 와류가 형성되어 유수의 소통에 영향을 주지 않는 부분을 말한다.

(5) 나무에 관한 명칭은 그림1과 같으며 이는 산림학이나 원예학 등에서 다음과 같이 사용한다.

- 교목(喬木, tree) : 나무가 다 자란 후의 높이가 보통 3 m 이상 되며, 대부분 하나의 곧은 줄기가 있음.
- 관목(灌木, shrub) : 나무가 다 자란 후의 높이가 3 m 미만으로, 대부분 여러 개의 줄기가 밑에서 갈라져 나옴.
- 수관(樹冠, crown) : 주 줄기와 옆가지, 일년생 가지와 여기에 부착된 잎 전체.
- 수고(樹高, tree height) : 지면에서 수관의 맨 윗부분까지의 수직 높이.
- 수관폭(樹冠幅, crown width) : 수관의 너비.
- 지하고(枝下高, clearlength) : 수관을 구성하는 가지중에서 맨 아래 가지로부터 지면까지의 수직거리.
- 수령(樹齡, tree age) : 나무의 나이(대개 성장추라는 장비를 이용하여 측정함)
- 흉고직경(胸高直徑, diameter at breast height) : 지상에서 성인의 가슴높이(대개 1.2 ~ 1.3 m 정도)에 있는 나무 줄기 지름.
- 근원직경(根元直徑, root diameter) : 지표면 부근의 나무줄기 지름.

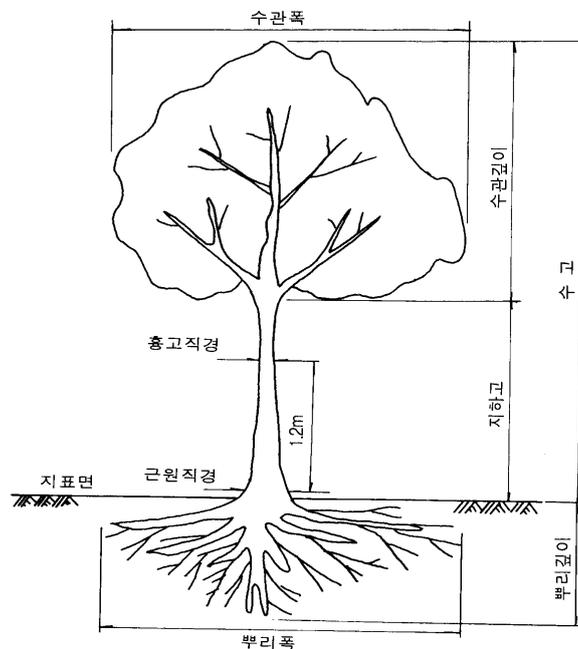


그림1. 수목의 각 부위별 명칭

1.5 운용방침

1.5.1 하천구역내 나무의 관리 원칙

하천구역내 나무의 관리는 나무가 치수기능에 미치는 영향이나 나무의 생태적 특성을 충분히 평가하여 대책을 강구하여야 한다.

[해 설]

나무는 성장에 따라 수형이 변화하고, 수중에 따라서는 계절적으로 번성형태가 크게 변화한다. 수형의 변화는 홍수에 영향을 미치기도 하고 뿌리의 성장에 따라 하천부속물 등에 지장을 줄 수도 있다. 따라서 하천 구역내의 나무는 번성 범위나 형태, 홍수 상황을 계속적으로 관측·조사해 파악하여야 한다. 또한 나무는 수중이나 수령에 따라 생육 특성이 다르기 때문에 나무심기 효과가 충분히 발휘될 수 있도록 해당 하천에 적합한 수종을 선정하고, 나무의 성장에 따라 하천관리상 지장이 발생하지 않도록 나무를 관리해야 한다.

1.5.2 나무심기의 제한

하천구역내 나무심기는 공익목적에 한하되 치수상 지장이 없어야 한다.

[해 설]

하천구역내 나무심기는 하천경관 향상, 고수부지 이용 증진 및 생태계 보전 등 지역사회의 공익을 목적으로 하는 경우에 한하여 가능하다, 그러나 어떠한 경우에도 치수상 지장이 없어야 한다. 나무심기 대상 구역 중 치수 안전성에 영향을 미친다고 생각되는 다음과 같은 구역에서는 나무심기를 허용할 수 없다.

- ① 제방에 위험을 미칠 우려가 있는 구역 : 나무를 심음으로써 수위가 상승하거나 유속이 변하여 제방의 안전성을 해칠 우려가 있는 구역
- ② 하천부속물 등에 영향을 줄 우려가 있는 구역 : 나무 뿌리가 제체에 침입해 호안 등의 시설을 손상할 우려가 있는 구역
- ③ 전도 및 세굴 등의 우려가 있는 구역 : 뿌리가 활착한 나무라도 홍수에 의해 쓰러지거나 세굴될 우려가 있는 구역
- ④ 나무가 부러지거나 쓰러져 떠내려 가 하류의 하도가 폐색(閉塞)될 우려가 있는 구역

1.6 나무심기의 절차

(1) 하천구역내에 나무를 심고자 하는 하천관리청은 계획을 수립하여 설계도서를 다음과 같이 작성하여야 한다.

① 위치지형도(하천정비기본계획이 수립된 하천의 경우 부도를 이용)

② 나무심기 계획도

(수목의 배치도가 포함된 평면도, 횡단면도, 나무관리 목표년도의 나무형상도)

③ 성목시를 감안한 수리계산서

(2) 설계도서를 작성한 하천관리청은 이의 적정여부를 공학적으로 입증하기 위하여 공신력이 있는 연구기관의 검토를 받아야 한다.

(3) 위 (1), (2)항은 하천구역내 심은 나무와 자생하고 있는 나무의 벌채 등 관리에도 적용된다.

[해 설]

나무를 심고자 할 때에는 당해 하천의 계획홍수량 소통에 지장이 없도록 하여야 하고, 특히, 뒤탈·측단 등 제방부지에 나무를 심을 때에는 제방의 붕괴위험을 배제하여야 한다.

이 제도를 이미 도입한 외국에서도 하천에 나무를 심을 때에는 식재계획 설계도서를 국가기관에 제출하여 승인이나 허가를 받아 실시하고 있으며, 우리나라는 1997. 10. 30 부터 하천법시행령을 개정하여 이를 허용하게 됨을 감안하여 이에 대한 설계 등이 보편화 될 때까지 이에 관한 연구를 수년동안 수행한 한국건설기술연구원의 검정을 받도록 한다. 이 경우 검토에 필요한 비용(인건비 및 출장여비)은 서로 협의하여 결정한다.

1.7 시행일

이 기준은 1998년 6월 1일부터 시행한다.

제2장 하천구역내 나무의 성장 특성과 치수상의 영향

제1절 하천구역내 나무의 성장 특성

1.1 수종의 선정

나무의 선정은 기후, 토양 등의 환경조건을 고려하여 자생 가능한 수종을 선정한다.

[해 설]

하천구역내에서 자생하고 있는 나무는 지역의 기후(강수량, 기온, 일조 등)와 하천이라고 하는 특수한 성장환경(지하수위, 사질양토, 홍수에 의한 외력 등)에 적합한 수종으로 볼 수 있다. 우리나라 하천 수계에 서식하고 있는 나무는 부록A의 표에 보인바와 같다.

우리나라 하천구역안에서 서식하는 대표적인 나무와 그 성장특성은 부록B의 표에 보인바와 같다. 하천구역내 자생 가능한 나무는 다음 항목을 고려하여 선정해야 한다.

- ① 기후 : 식물의 일반적 특성으로 어떤 한정된 기후조건(온도, 일조량, 강우량)에서 성장한다. 여기서는 수종별 분포지역을 하천 수계별로 표시하였다.
- ② 지하수 : 고수부지는 지하수위가 높은 곳이 많기 때문에 뿌리가 연직으로 잘 성장하지 못한다. 그러나 하천에 광범위하게 분포하는 대부분의 나무는 지하수위 상황에 적응하여 뿌리 형태가 바뀌며 성장한다. 단 극히 일부 수종은 지하수에 대한 적응력이 적어 지하수위가 높은 경우에는 쓰러지기 쉬운 뿌리 형태로 발달한다.
- ③ 토양 : 하천구역내의 나무는 비교적 제한된 토양조건에서 성장가능한 수종과 토양조건에 지배받지 않는 수종이 있다. 나무의 조사결과와 문헌에 기록되어 있는 토양의 적합성을 종합해서 수종별로 적당하다고 생각되는 토양조건을 부록B에 제시했다.
- ④ 음양성 : 나무중에는 일조량이 많은 장소를 좋아하는 양수(陽樹)와 응달을 좋아하는 음수(陰樹)가 있다. 따로 떨어져 있는 것과 같이 직사광선을 많이 받는 경우에는 양수가 적합하고, 음수는 양수와 조합하여 균락으로 심을 경우에 적합하다.
- ⑤ 재생력 : 벌채해도 다시 발아하여 재생하는 정도를 말한다. 재생력이 강한 수종은 벌채후 재생 방지를 위하여 뿌리를 충분히 처리해야 한다.
- ⑥ 성장력 : 나무균락을 간벌하여 독립된 형태로 남겨 놓으면 일사조건이 변하여 활력이 약해지거나 고사하는 나무도 있다. 또한 유지관리를 위해 가지치기를 하면 가지치기 정도나 계절적 기상조건에 따라서 성장력이 약한 수종은 고사하기도 한다.

- ⑦ 성장속도 : 묘목에서 성목으로 성장하는 속도가 빠른 나무를 심을 때에는 조기에 활착되고 내력이 생기기 때문에 적당하다.

1.2 나무뿌리가 뻗는 범위에 대한 특성과악

나무뿌리가 하천부속물에 미치는 영향을 확인하기 위해 수목근계의 특성을 파악한다.

[해 설]

나무 뿌리가 조밀하게 발달한 범위를 근계권(根系圈)이라 부른다. 이 근계권은 일반적으로 수관폭의 약 2배 정도다. 뿌리가 성기게 분포하는 버드나무 종류의 수종에서는 근계권을 엄밀히 정하기가 어렵지만 수평방향으로 뻗은 뿌리의 평균적인 범위는 수관폭의 약 2배 정도라고 알려져 있다. 제방 등의 시설에 영향을 미치는 비교적 굵은 뿌리는 대부분 이 범위안에 있다.

제방을 따라 서식하는 나무 중에는 뿌리가 제방의 경사면을 따라 성장하기도 한다. 버드나무 종류가 대표적이며 지하수위가 높은 곳이나 햇볕이 잘 드는 제방 경사면 등에 많다. 뿌리의 성장방향과 굵기에 따라서는 호안을 손상시킬 수 있으므로 주의해야 한다. 나무의 뿌리가 성장함에 따라 저수호안이 밀려나 변형될 수 있다. 돌붙임 호안이나 블록 등의 틈에서 성장하는 경우 뿌리의 비대성장에 의해서 호안재료가 떨어져 나가는 사례도 있다.

1.3 나무의 전도

나무가 쓰러지는 것은 외력(전도모멘트)과 수목의 내력(전도한계모멘트)을 비교하여 판단한다.

[해 설]

홍수시 나무가 뽑혀서 하류로 떠 내려가게 되면 하류 시설물에 악영향을 줄 수 있고, 나무뿌리가 뽑힌 웅덩이가 세굴되어 근처의 시설물에 좋지 않은 영향이 미칠수 있다. 따라서 하천구역내에 나무를 심을 경우 나무가 쓰러지고 떠내려가지 않도록 외력이 작은 장소에 한정하든가 또는 내력이 큰 나무를 선정하여야 한다.

1.3.1 나무의 전도한계모멘트

나무의 전도한계모멘트는 다음식을 이용하여 계산한다.

$$M_c = \alpha D^{2.0}$$

여기서 M_c 는 전도한계모멘트(kg·m), D 는 지반에서 1.2 m 높이 줄기의 직경 (cm)으로 정의되는 나무의 흉고직경, α 는 상수로 다음에 나타나 있는 방법중에서 하나를 따른다.

① M_c 를 계산하려는 나무와 같은 수종이고, 해당 나무와 비슷한 환경에서 성장하고 서로 다른 흉고직경 D 를 가지고 있는 나무 3그루 이상을 선정하여 인장전도시험을 실시한다. 이때 얻은 값 M_c 와 D 를 최소 자승법으로 α 를 계산하여 이용한다.

② 인장전도시험을 하지 않을 경우로 하천구역내 나무의 시험결과인 $\alpha = 2.5$ 를 이용한다.

[해 설]

나무의 뿌리는 표1과 같이 분류할 수 있으며, 굵기 0.5~2 cm 정도의 중간뿌리가 지지근에 해당된다. 일반적으로 나무는 지지근 이상의 뿌리에 의하여 지탱한다. 이 지지근에 의한 지지력이 외력보다 작을 때에는 나무가 쓰러지게 되는데 그 때 뿌리에 붙은 땅덩어리를 뿌리받침이라고 말한다. 나무의 내력(耐力)은 이 뿌리받침의 전단저항과 지지근의 인장에 대한 마찰저항에 의한 것이다. 즉 뿌리받침의 표면적이 클수록 지지력도 크다.

표1. 뿌리의 굵기에 의한 분류

명 칭	가 는 뿌 리		굵 은 뿌 리			근 주
	실뿌리 (세근)	가는뿌리 (소경근)	중간뿌리 (중경근)	큰뿌리 (대경근)	매우큰뿌리 (특대근)	
직경구분	0.2 cm이하	0.2-0.5 cm	0.5-2.0 cm	2.0-5.0 cm	5.0 cm이상	뿌리로 나누기 곤란한 부분

성장환경과 토양조건이 좋은 경우에는 뿌리의 형태별로 뿌리받침의 크기를 흉고직경으로 어느 정도 추정할 수 있다. 그러나 하천구역내에서는 제내지와 토양조건이 다르고, 지하수위 등의 조건도 다르기 때문에 뿌리의 발달 형태를 수종별로 특화시키기 어렵고, 수종별로 내력을 파악하기도 어렵다. 따라서 하천구역내의 나무는 그곳에 성장하는 수목들 대상으로 인장전도시험을 하여 내력을 추정하는 것이 바람직하다.

(1) 우리나라 하천구역내 나무의 인장전도시험 결과

고수부지는 지하수위가 비교적 높고, 토양이 종적으로 자갈성분에서 실트·점토 등으로 변화하고, 연직방향으로 일정하지 않기 때문에 뿌리의 성장에 적합하지 않다. 지하수위가 높으면 뿌리가 아래쪽으로 성장하는데 방해가 되고, 토양이 균일하지 못한 경우에는 뿌리의 성장이 어느 한 방향으로 편재하기 쉽다.

우리나라 하천에서 실시한 인장전도시험 결과 ① 흉고직경 D 에 대한 전도한계모멘트 M_c 는 수종에 따라 큰 차이가 없고, ② 토양에 따른 M_c 는 사력질이 실트질, 사질토양보다 조금 큰 경향을 나타냈다. 우리나라에서 실시한 인장전도시험 방법과 결과는 부록 C에 수록하였다.

(2) 일본의 임학분야에서 인장전도시험 결과

일본의 임학분야에서 인장전도시험에 의하면 장력 P 의 작용점까지 거리 l 을 곱한 모멘트의 전도한계치 $M_c(\text{kg}\cdot\text{m})$ 는 수종에 따라 다르고 흉고직경 $D(\text{cm})$ 의 함수로서 다음과 같이 표시하고 있다.

$$\text{소 나 무 } M_c = 5.792 D^{2.074}$$

$$\text{줄 참 나 무 } M_c = 3.280 D^{2.489}$$

$$\text{너도밤나무 } M_c = 6.554 D^{2.179}$$

(3) 일본의 하천구역내 나무의 인장전도시험 결과

- ① 흉고직경 D 에 대한 전도한계모멘트 M_c 는 수종에 따라 큰 차이는 없다.
- ② 토양에 따른 M_c 는 사력질이 실트질, 사질토양보다 조금 큰 경향을 보였다. 그러나 사력질 토양에서는 흉고직경이 같아도 뿌리의 발달이 좋지 않아 뿌리반침이 작기 때문에 결과적으로 다른 토양과 큰 차는 없다.
- ③ 하천의 평수위와 나무 위치의 표고차가 2 m 이하에서는 M_c 가 작다. 이것은 지하수위가 뿌리의 성장을 방해하기 때문이라고 추측된다.

이와 같이 하천구역 나무의 전도한계모멘트 M_c 는 수목의 성장조건에 따라 다르기 때문에 벌채지에서 인장전도시험을 실시하여 흉고직경 D 의 2.0승에 비례하는 것으로 정수 α 를 설정해 $M_c = \alpha D^{2.0}$ 을 이용하여 전도한계모멘트를 산정하는 것이 바람직하다.

1.3.2 나무에 작용하는 외력모멘트

외력모멘트는 흐름과 바람에 의해 생기며, 각각 다음식으로 계산한다.

① 흐름에 의한 외력모멘트

$$M_1 = \frac{1}{2} \rho_1 C_{D1} S_1 u_1^2 L_1$$

여기서 M_1 은 흐름에 의한 외력모멘트(kg·m), ρ_1 은 물의 밀도(1,000 kg/m³), C_{D1} 은 나무의 항력계수, S_1 은 흐름중의 나무의 투영면적(m²), u_1 은 유속(m/s), L_1 은 흐름 작용중심의 지표면에서의 높이(m)이다.

② 바람에 의한 외력모멘트

$$M_2 = \frac{1}{2} \rho_2 C_{D2} S_2 u_2^2 L_2$$

여기서 M_2 은 흐름에 의한 외력모멘트(kg·m), ρ_2 는 공기의 밀도(1.22 kg/m³), C_{D2} 는 나무의 항력계수, S_2 는 수관의 투영면적(m²), u_2 는 풍속(m/s), L_2 는 바람 작용중심의 지표면에서의 높이(m)이다.

[해 설]

흐름에 의한 나무의 전도는 흐름에 의해 발생하는 외력모멘트가 나무의 전도한계모멘트보다 크게 되면 발생한다. 이 외력모멘트 M 은 다음과 같이 표시된다.

$$M = \int_0^h F(z+e) dz = \int_0^h \frac{1}{2} \rho C_D(z) u(z)^2 b(z)(z+e) dz$$

여기서 M 은 외력모멘트, F 는 항력, ρ 는 물의 밀도, $C_D(z)$ 는 나무의 항력계수, $u(z)$ 는 유속, $b(z)$ 는 항력의 작용폭, e 는 파괴중심에서 $z = 0$ 까지의 높이(≒ 0), z 는 지표면을 0으로 하고 연직상방향을 +로 하는 좌표축, h 는 수심을 나타낸다.

평균유속 u , 항력의 작용면적 S , 파괴의 중심에서 항력중심까지의 길이 L 을 이용하여 외력모멘트 M 을 다음 식과 같이 표시할 수 있다.

$$M = \frac{1}{2} \rho C_D S u^2 L$$

여기서 항력의 작용폭은 계획홍수위 등 기준수위 이하의 가지를 잘라낸 경우에는 줄기 폭만을 고려해도 좋지만 수심이 깊어서 수관부까지 침수되는 경우에는 수관부까지 고려한다. 또한 하천에 따라서는 검불이나 쓰레기가 많아 나무에 부착되는 경우가 있는데, 이럴 때는 검불과 쓰레기 부착에 의한 작용면적의 증대도 고려해야 한다.

1.3.3 전도의 판정

흐름과 바람의 작용 중 큰 쪽을 외력모멘트로 하고, 나무의 전도한계모멘트와 비교하여 쓰러짐을 판정한다.

[해 설]

나무가 쓰러질 가능성이 있는 지를 판정하는데 외력은 흐름과 바람에 의한 외력모멘트 중에서 큰 쪽을 선택한다. 이는 흐름과 바람이 동시에 같은 방향으로 작용하는 경우는 거의 없기 때문이다.

제2절 나무 군락에 의한 수리학적 영향의 조사방법

2.1 기초조사

나무를 심고자 하는 하천구간내에서 나무 군락의 번성형태 및 홍수흔적 등을 조사한다.

[해 설]

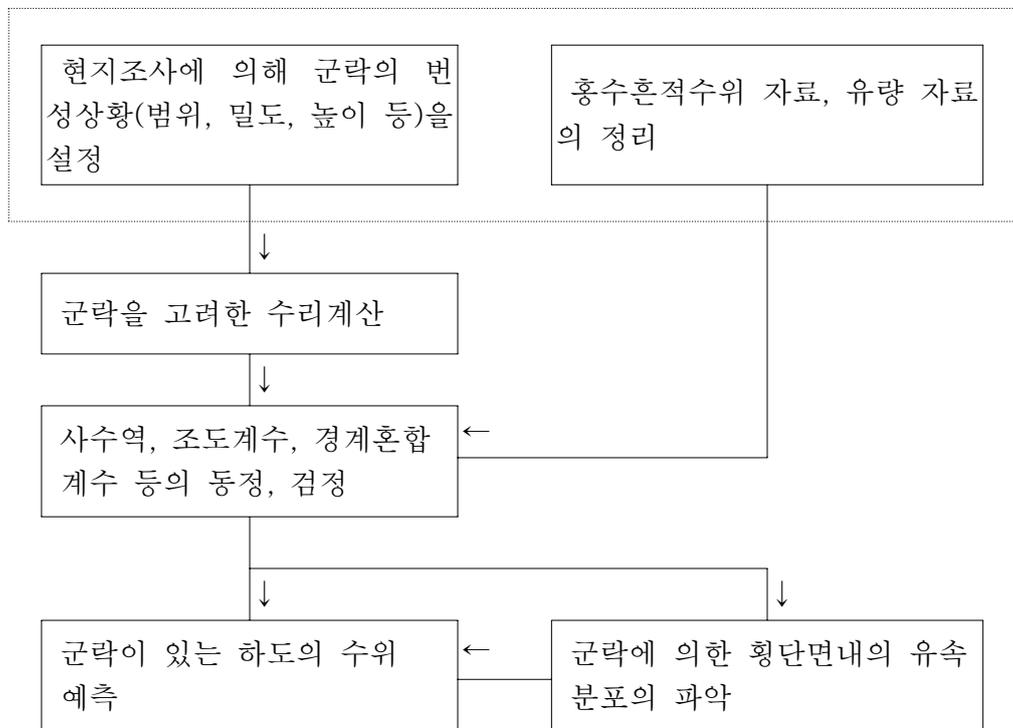


그림2. 나무 군락이 있는 횡단면에서의 유속분포 조사 과정

나무 군락이 번성한 하도에서는 ① 군락내의 흐름이 다른 하도부분과 비교해서 현저하게 유속이 적고, ② 군락 내부의 느린 흐름이 주변부의 빠른 흐름과 활발하게 혼합하여 주변부의 흐름을 감속시킨다. 나무 군락을 고려하여 부등류를 계산할 때 ①의 경우에 대해서는 나무 군락의 범위를 사수역으로 간주하여 하천 단면적에서 제외하며, ②의 경우에는 군락 경계에 작용하는 전단력을 고려하여 나무 군락의 수리적인 영향을 어느 정도 높게 평가할 수 있으나 나무 군락의 범위, 높이 및 밀생상황 조사와 함께 검증을 위한 홍수흔적수위 및 유량 자료가 반드시 필요하다. 그림2는 나무 군락이 있는 횡단면에서의 유속분포 조사 과정을 나타낸 것이다.

2.1.1 나무 군락의 번성 형태 조사

하천구역내에 서식하고 있는 나무 군락의 번성 범위, 높이, 밀생상황 및 수종에 대해서 조사한다.

[해 설]

조사항목은 다음과 같다.

- ① 번성 범위 : 현장조사를 실시하여 1/2,500 ~ 1/5,000의 평면도에 번성범위를 기입한다. 항공사진을 이용할 수 있다면 나무 군락의 번성 영역을 판독하여 평면도에 기입하고 현지에서 확인하여야 한다.
- ② 수목군의 수몰 : 수위가 어느 정도 상승하면 수목군이 수몰되어 사수역이 형성된다. 사수역을 결정하기 위해서는 각 수목군의 높이를 측정해서 정리해야 한다. 이 때 수관부의 상부 등에 표정물을 붙여서 촬영한 항공사진을 이용하면 수목군의 높이를 정확하게 측정할 수 있다. 항공사진을 이용할 수 없는 경우에는 홍수시 현장에서 직접 조사한 자료를 이용한다.
- ③ 밀생상황 : 일반적으로 밀생한 수목군내는 유속이 작아 사수상태로 간주될 수 있기 때문에 통수단면에서 제외한다. 단 수관끼리 접하지 않는 나무 군락에서는 군락내 흐름을 무시할 수 없기 때문에 나무의 군락을 사수역으로 취급하면 홍수소통 능력을 과소 평가할 우려가 있다. 이런 경우에는 밀생도를 고려하여 사수역의 범위를 조정한다. 이를 위하여 홍수기 전에 현지답사를 실시하고 사수역으로 간주되는 범위(밀생한 나무 군락)와 사수역으로 간주되지 않는 범위(듬성한 나무 군락)를 구분해 놓는다. 이 때 나무의 밀생도와 함께 나무 아래에 있는 풀의 상황, 기왕의 홍수시 쓰레기나 떠내려 온 나무에 의해 패쇄된 상황도 고려하여 사수역 형성 여부를 판단한다. 또한 사수역으로 간주되지 않는 범위에 대해서는 조도환산 등으로 필요한 밀생도를 구해 놓는다.

④ 수종 : 나무 관리를 위한 기초자료로 각 수목군을 구성하는 수종을 현지조사한다.

2.1.2 홍수흔적 조사

홍수흔적 조사로 부터 구한 기왕의 홍수 중 나무 군락이 침수된 홍수를 대상으로 홍수흔적과 홍수량 등을 조사한다.

[해 설]

나무 군락이 침수된 홍수를 대상으로 홍수 흔적을 조사한다. 이 때 홍수로 인한 수면형의 변화를 파악할 수 있도록 하천정비기본계획상 횡단측량 단면 이외에도 흔적수위를 얻을 수 있는 단면이 있으면 조사하는 것이 좋다. 또한 조사대상에서 홍수시 나무의 번성 상황과 현재의 상황이 크게 다른 경우에는 당시의 나무 상황을 과거의 항공사진이나 탐문조사, 과거의 벌채기록 등을 기초로 파악한다.

2.2 나무 군락이 있는 하천구역의 수리계산 [방법-I]

이 방법은 군락내에 사수상태와 사수에 가까운 상태, 군락 주변의 빠른 흐름과 군락내의 느린 흐름이 혼합되어 빠른 흐름이 감소되는 2가지 점을 고려해서 유속 분포와 수위를 계산하는 방법이다. 여기서는 계산절차에 대하여 간단히 제시하고, 계산예는 부록 D에 수록하였다.

[해 설]

밀생한 나무 군락이 광범위하게 분포하면 군락내는 사수역이 형성되어 통수단면적이 감소되고 주변의 흐름과 급격한 혼합현상을 발생시켜 저항이 증대된다. 이 방법에 의한 부등류 계산은 나무 군락의 영향을 1차원 및 2차원 흐름해석에 의한 경우보다 비교적 간단히 계산할 수 있고, 재현성도 좋다고 알려져 있다.

이 수리계산에서 검정(檢定)된 매개변수의 최적 조합을 이용하여 규모가 다른 홍수에 대해 재현할 수 있으며, 표2는 계산수위가 흔적수위를 재현하지 못하는 경우의 검토 방법을 나타낸 것이다.

2.2.1 나무 군락을 고려한 수리 계산

하천구역내에 나무 군락이 있는 경우의 홍수위 및 횡단 유속분포의 파악은 연속 방정식과 운동량 방정식에 의한 수리계산을 기본으로 한다. 수리계산시에는 사수역으로 간주할 수 있는 나무 군락의 범위를 통수 단면적에서 제외하고, 나무 군락 내부와 주변의 유속차로 생기는 경계면에서의 전단력을 고려한다.

표2. 계산수위가 혼적수위를 재현하지 못하는 경우의 검토 방법

작성점 계산경향	나무 군락의 취급		기타 상수 등	비 고
	사 수 역	유 효 역		
계 산 수 위 가 상 대 적 으 로 높다. (F > 0)	① 사수역을 과대하게 설정했다. ② 나무 군락 사이의 경계혼합계수가 너무 크다. ③ 군락내의 흐름을 사수역으로 취급했다.	① 나무의 조도가 크지 않은지 검토한다.	① 단면간의 경계혼합계수를 적절하게 조정한다.	나무 군락의 영향을 과대 평가하거나 유속을 과소 평가했다.
계 산 수 위 가 상 대 적 으 로 낮다. (F < 0)	① 사수역을 너무 좁게 설정했다. ② 나무 군락 사이의 경계혼합계수가 너무 작다.	① 나무의 조도가 작지 않은지 검토한다. ② 나무 군락 내부에 흐름을 검토한다.	① 단면간의 경계혼합계수를 적절하게 조정한다.	나무 군락의 영향을 과소 평가했다.
계 산 수 위 가 전 반 적 으 로 높다. { F = 0 } Δ > 0	-	-	① 저수로 조도가 크지 않은지 검토한다. ② 고수부지 조도가 크지 않은지 검토한다.	
계 산 수 위 가 전 반 적 으 로 낮다. { F = 0 } Δ < 0	-	-	① 저수로 조도가 작지 않은지 검토한다. ② 고수부지 조도가 작지 않은지 검토한다.	

Δ = 계산수위 - 혼적수위,

F = ∂Δ/∂Q (홍수규모의 변화에 따른 Δ의 변화경향)

[해 설]

나무 군락이 번성한 하도의 수리계산에서는 먼저 밀생한 수목군의 범위를 사수역으로 간주하여 통수단면에서 제외하고, 유속이 다르다고 생각되는 저수로, 고수부지를 분할하여 각 분할단면의 평균유속을 연속방정식과 운동량 방정식을 이용하여 구한다. 다음에 각 단면의 유속차로 생기는 경계면의 저항을 구하고 운동량 보존의 법칙을 이용하여 수위의 종단변화를 계산한다.

(1) 사수역의 설정

하도의 선형에 따라 사수역을 먼저 설정하고, 다음에 기술되는 방법에 의해 나무 군락 및 그 배후에 형성되는 사수역을 설정한다. 나무가 밀생하는 경우 군락 내부의 유속은 주위에 비해 대단히 작으므로 수리 계산시 군락을 사수역이라고 간주한다. 또한 군락 직 하류쪽에는 5°범위로 사수역이 형성되기 때문에 이 영역도 통수 단면에서 제외한다. 단 나무의 밀생상황이나 높이에 따라서는 군락 전체가 사수역이 되지 않고 상당한 양이 흐르는 경우에는 사수역의 범위를 작게 조정한다. 사수역 규모의 적합성은 홍수흔적 수위를 재현하는 계산을 통하여 검증한다.

(2) 계산단면의 설정

수리계산은 측량성과가 좋은 지점을 대상으로 실시한다. 단, 상하류의 단면 변화가 큰 곳이나 군락이 있어 통수 단면적의 종적 변화가 큰 곳에서는 내삽 단면을 설정한다.

(3) 횡단면 분할과 조도계수의 설정

설정된 계산단면에서 하도 횡단형상이나 군락의 번성상황, 조도 등의 영향으로 현저한 유속차가 생기는 구역은 횡단면을 몇 개의 단면으로 추가 분할한다. 군락의 높이와 수위의 차에 의해서 군락위로 흐름이 생기는 경우에는 군락과 흐름면을 분할한다.

(4) 횡단면내 유속분포의 계산

각각의 분할단면에서 등류가 형성된다고 가정하고 유량의 연속조건과 운동량 보존법칙으로부터 각 분할단면에서 평균유속을 구한다.

분할단면 i 에 대해서 운동량방정식은 다음 식과 같이 표시된다.

$$\frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} + \frac{\sum_j (\tau_j' S_{wj}')}{\rho g} + \frac{\sum_j (\tau_j S_{wj})}{\rho g} = A_i I_b$$

여기서 첨자 i 는 각 분할단면을 표시하며, u_i 는 평균유속, n_i 는 Manning 조도계수, R_i 는 동수반경, A_i 는 사수역을 제외한 통수단면, S_{b_i} 는 저면전단력이 작용하는 윗변의 길이, S_{w_j}' S_{w_j} 는 각각 나무와 흐름의 접촉길이와 분할단면 길이, τ_j' 와 τ_j 는 나무 및 분할단면에 의한 전단저항력, ρ 는 물의 밀도, g 는 중력가속도, a_j 는 분할단면적, I_b 는 하상경사, ($\sum : j=1, 2, \dots$)는 모든 양의 합을 표시한다.

앞의 식 좌변 1항은 i 단면에서 흐름 바닥에 작용하는 전단력, 2항과 3항은 운동량교환에 의한 전단력, 좌변은 분할단면 전체의 흐름저항, 우변은 중력의 흐름방향 성분을 나타낸다.

전단력 τ 와 τ_j 는 서로 이웃하는 분할단면의 유속차의 제곱으로 표시된다.

$$\tau = \rho f u_i^2$$

$$\tau_j = \rho f (\Delta u)^2 \text{sign}(\Delta u)$$

여기서 τ 는 균락내를 사수역($u = 0$)으로 생각하기 때문에 유속 그 자체의 제곱에 비례하는 형태로 된다. Δu 는 τ_j 가 작용하는 경계에 접하는 인접단면과의 유속차이다. f 는 경계혼합계수라 부르고 경계면에서 유체혼합의 크기를 표시하는 매개변수이다.

또한 $\text{sign}(\Delta u)$ 는 Δu 가 음수일 때 -1 , 양수일 때 $+1$ 을 취한다. 즉 유속이 빠른 쪽의 흐름에 대해서는 τ_j 가 저항이 되어 유속을 감소시키는 쪽으로 작용하며, 유속이 느린 쪽의 흐름에는 τ_j 가 가속하는 방향으로 작용한다.

또한 연속방정식은 다음 식으로 표시된다.

$$Q = \sum_i (a_i u_i)$$

이상의 운동방정식과 연속방정식으로부터 u_i 에 관한 2차 연립방정식이 얻어진다. 이것을 수치적으로 풀면 각 분할단면의 평균유속을 구할 수 있다.

(5) 종단수위의 계산

앞의 (4)에서 구한 횡단 유속분포 u_i 를 이용해서 하상, 하안 및 각각의 수목군이 홍수류에 미치는 저항을 계산한 다음 흐름방향의 운동량 방정식을 적용해서 종단수위를 계산한다. 운동량 방정식은 다음 식과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} & \left[H + \frac{1}{A} \sum \frac{u_i^2 A_i}{2g} \right]_2 - \left[H + \frac{1}{A} \sum \frac{u_i^2 A_i}{2g} \right]_1 \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \left[\frac{1}{A} \sum \frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} \right]_1 + \left[\frac{1}{A} \sum \frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} \right]_2 + \left[\frac{\sum \tau_j S_{wj}}{\rho g A} \right]_1 + \left[\frac{\sum \tau_j S_{wj}}{\rho g A} \right]_2 \right\} \Delta X \end{aligned}$$

여기에 첨자 1과 2는 각각 하류측 단면과 상류측 단면, H 는 수위를 나타내고, $A = \sum A_i$ 이다.

2.2.2 Manning 조도계수

저수로 및 고수부지의 Manning 조도계수는 흐름 경계면의 물리적인 특성을 고려해서 설정한다.

[해 설]

저수로, 고수부지, 수목군의 사수역 간의 경계에서 발생하는 저항을 Manning 조도계수에 포함시키게 되면 조도계수 값이 수위나 나무 군락의 생육상황에 따라 변화하게 된다. 그러나 흐름의 간섭에 의해 생기는 저항을 미리 파악해 놓으면 저수로와 고수부지에서의 조도계수 값을 홍수위나 나무 군락의 성장과 무관하게 설정할 수 있다. 저수로와 고수부지에서의 조도계수는 다음과 같은 방법을 이용하여 설정한다.

(1) 저수로의 조도계수

저수로 조도계수에는 하상 재료, 하상형태, 하안식생의 영향이 모두 포함되어 있다. 하상의 영향이 지배적인 경우에는 하상재료, 하상구배, 하상형상을 조합하여 조도계수 값을 정한다. 그러나 하안식생의 영향을 무시할 수 없는 경우에는 저수로 단면이 가득 채워지는 경우에서의 유량과 수위의 관계를 이용하여 조도계수를 정확히 역산한다. 하상이 모래인 경우에는 유량 규모에 따라 하상의 형태와 저항이 달라져 조도계수가 변할 수 있다.

(2) 고수부지 조도계수

고수부지의 조도계수는 주로 번성한 풀의 높이에 지배되므로 그림 3을 이용하여 수심과 풀 높이에 따라 조도계수를 조정한다.

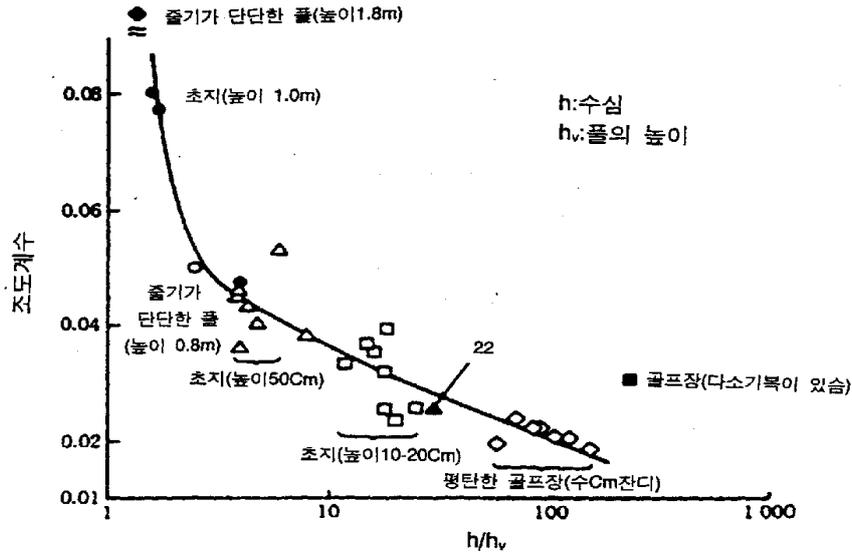


그림3. 고수부지 조도계수와 수심 h 및 풀 높이 h_v 와의 관계

2.2.3 단면형상에 의한 흐름저항

복합단면 하도에서는 저수로와 고수부지 흐름간의 간섭에 의해 발생하는 흐름저항을 고려한다.

[해 설]

복합단면에 의한 흐름저항은 복합단면 하도의 분할 단면별 흐름을 등류로 가정하여 작성한 다음 식으로부터 구한다.

$$\text{저수로} : \tau_{mc} S_{mc} + \tau_{as1} (H - Z_1) + \tau_{as2} (H - Z_2) = \rho g A_{mc} I_b$$

$$\text{좌안 고수부지} : \tau_{fp1} S_{fp1} - \tau_{as1} (H - Z_1) = \rho g A_{fp1} I_b$$

$$\text{우안 고수부지} : \tau_{fp2} S_{fp2} - \tau_{as2} (H - Z_2) = \rho g A_{fp2} I_b$$

여기서 τ 는 전단력, S 는 τ 가 작용하는 윤변장, H 는 수위, A 는 분할단면의 단면적, I_b 는 하상구배, ρ 는 물의 밀도, g 는 중력가속도이다. 또한 첨자 mc 는 저수로, $fp1$ 은 좌안 고수부지, $fp2$ 는 우안 고수부지, $as1$ 은 좌안 고수부지와 저수로, $as2$ 는 우안 고수부지와 저수로의 경계를 표시한다.

하상에 작용하는 전단력 τ_{mc} 와 τ_{fp} 는 다음 식과 같이 표시된다.

$$\tau_{mc} = \frac{\rho g n_{mc}^2 u_{mc}^2}{R_{mc}^{1/3}}$$

$$\tau_{fpi} = \frac{\rho g n_{fpi}^2 u_{fpi}^2}{R_{fpi}^{1/3}} \quad (i = 1 \text{ 또는 } 2)$$

여기서 n 은 Manning 조도계수, u 는 유속, R 은 동수반경이다. 또한 저수로와 고수부지의 흐름간의 운동량 교환으로 인하여 발생하는 전단력 τ_{as} 는 다음 식과 같이 표시된다.

$$\tau_{asi} = \rho f (u_{mc} - u_{fpi})^2 \quad (i = 1 \text{ 또는 } 2)$$

여기서 f 는 혼합의 정도를 나타내는 경계혼합계수로 저수로 폭과 하폭의 비(b/B)가 0.2~0.6 범위에서는 평균 $f = 0.17$ 의 값을 갖는다. 나무 군락이 수몰되는 경우, 나무 군락내의 사수역과 군락위 흐름 사이의 흐름저항도 복합단면 하도의 경우와 동일한 방법으로 적용한다.

2.2.4 나무 군락과 흐름 사이의 전단력

나무 군락 내부의 흐름과 흐름의 상호간섭에 의한 전단력을 고려한다.

[해 설]

나무 군락 내부의 유속은 군락 주변의 유속에 비해서 매우 느리기 때문에 두 흐름 사이의 운동량 교환으로 인한 전단력이 발생한다. 흐름 사이의 간섭에 의한 전단력은 다음 식과 같이 표시된다.

$$\tau = \rho f (u_i - u_j) |u_i - u_j|$$

나무 군락 내부의 유속이 하천 유속에 비해 매우 작기 때문에 군락 내부의 유속은 0으로 간주한다. 경계혼합계수 f 값은 나무 군락이 제방에 접하고 있는 경우에는 0.03, 나무 군락 양쪽에 하천 흐름이 형성되어 있는 경우에는 0.10을 적용한다.

2.2.5 유속 분포 조사

나무 군락 주변의 유속을 정확히 파악한다.

[해 설]

나무 군락이 제방을 따라 번성해 있는 경우에는 주위의 유속을 감소시키기 때문에 제방보호 효과가 있으나 군락의 번성위치에 따라서는 제방 근방의 흐름 유속을 증대시켜 제방에 악영향을 미치기도 한다. 따라서 제방 부근의 유속이 어느 정도인가 또는 제방에 어떻게 영향을 미치고 있는 가를 판단할 필요가 있다. 유속분포는 나무 군락을 고려한 수리계산에서 얻을 수 있는 횡단 유속 분포로 제방 부근의 유속을 개략 추정할 수 있다.

2.3 나무가 있는 하도의 수리계산 [방법-II]

이 방법은 나무군락에서의 나무 밀도와 하도의 하상재료 특성을 고려하여 수리계산을 하는 방법이다. 나무와 흐름간의 저항을 고려하고, 복합단면의 경우에는 단면형상에 의한 흐름저항을 고려하여 계산한다. 여기서는 계산절차에 대해 간단히 살펴보고, 계산예는 부록D에 수록하였다.

[해설]

하천 계획 및 설계시 하천구역안의 나무 또는 나무 군락에 의한 통수단면의 감소와 나무에 의한 흐름저항의 영향을 고려하여 수위와 유속을 계산하는 방법이다.

2.3.1 조도계수

이 방법에서는 주로 하상재료의 입경에 의한 조도와 하천상황을 감안하여 결정하는 Manning/Strickler 조도계수를 이용한다.

[해설]

하천의 조도계수는 주로 하상재료의 입경에 의하여 결정된다. 표3은 재료와 형태 등에 따른 Manning/Strickler 근사치 k_{st} 의 값을 나타낸 것이다. 하천조건에 따른 보정계수 α 와 함께 사용하며, 하천조건을 고려한 보정계수 α 는 표4에 수록되어 있다.

표3. Manning/Strickler 근사치 k_{st}

제 작 재 료	종류, 형태, 상태	$k_{st}(m^{1/3}/s)$
금 속	관, 매우 매끄러움, 새것	100
	관, 딱지가 있고 녹슴, 낡음	60-78
	함석, 용접됨	80-90
	함석, 리벳이음, 들출된 대가리	65-70
주 철	관, 새것	90
목 재	평탄하고 매끄러운 널판지	85-90
	매끄럽지 못한 널판지	75-85
	조금 낡은 목재수로	65-70
	새것, 매끄러운 수로	90-95
아 스 팔 트	아스팔트로 만든 동력수로	70-75
	콘크리트와 아스팔트가 석인 수로	72-77

표3의 계속

제 작 재 료	종류, 형태, 상태	k_{st} (m ^{1/3} /s)
아스팔트-시멘트	내장	100
석면-시멘트	오래된 정도에 따른 관	85-100
벽	벽돌 및 석재를 잇대어 완성한 벽돌벽	75-80
	정상적인 벽돌벽	60-70
콘 크 리 트	세멘트로 매끄럽게 만듦	100
	강철관을 댄 콘크리트	90-100
	목재관을 댄 콘크리트	65-70
	콘크리트, 광택을 냄	90
	도로포장용 다진 콘크리트	60-70
	강한 콘크리트내장, 오래된 콘크리트	50-55
	철근콘크리트	85-95
	세심하게 시행한 기둥	85-95
세심하게 시행하지 않은 기둥	70-80	
자 연 석	다듬은 네모진 돌	70-80
	세심한 사석벽	70
	정상적인 사석벽	60
	강한 사석벽	50
	사석제방, 모래 또는 자갈바닥	45-50
암석(바위)	폭파된 암석의 세심한 가공	60
	폭파된 암석의 가공 또는 천공	45-50
	중간강도의 폭파석	25-30
	강한강도의 폭파석	15-20
	자연상태의 암석폭발/콘크리트 바닥	40-50
토 양	견고하고 정교한 재료	50
	작은 자갈부터 중간정도의 자갈	45
	단단한 자갈	35
	단단하고 덩어리를 이룬 재료	30
	단단한 돌이 깔려 있음	25-30
	토양수로와 배수구, 식물로 덮여있음	20-25
	견고한 바닥의 자연하상	40
	자연하상	33-35
	자연하상, 강가에 딱지가 있음	30-35
	조약돌로 된 자연하상	30
	강한 자연하상	28
	식물로 뒤덮이고 요철이 있는 연안지	15-25
	강한 조약돌로 된 정지상태의 계류	25-28
	" " 활동상태의 계류	19-22

표4. 하상의 조건을 고려해 주는 계수 a 값

하 천 조 건	a 값
콘크리트 표면	0.960
규칙적인 단면과 흙, 모래, 자갈	0.920
울퉁불퉁하며 삽으로 손질된 하상	0.880
심한 요철면과 손질 안된 하상	0.800
단면이 불규칙한 하천	0.720
손질되지 않은 나쁜상태의 운하	0.640
경사면이 무너졌거나 퇴적된 운하	0.600
완전히 불규칙적인 단면과 유로	0.560
충적층위의 강, 하천, 개울(MQ:평균유량)	
1) 개발되지 않은 상태	
$Q \leq 0.5MQ$	0.675
$0.5MQ < Q \leq 0.9MQ$	0.650
$0.9MQ < Q \leq 1.2MQ$	0.625
$1.2MQ < Q \leq 1.6MQ$	0.600
$1.6MQ < Q \leq 2.0MQ$	0.575
$Q > 2.0MQ$	0.550
2) 개발된 상태	
$Q \leq 1.6MQ$	0.830
$1.6MQ < Q \leq 2.0MQ$	0.800
$Q > 2.0MQ$	0.770

2.3.2 나무가 없는 하천의 수리계산

단순 수로의 유속은 다음과 같은 간단한 식에 의하여 유속을 구할 수 있다.

$$V = a k_{st} r_{hy}^{2/3} I_E^{1/2}$$

여기서 r_{hy} 는 동수반경, I_E 는 에너지경사이다.

[해 설]

흐름단면이 단순한 경우 위와 같은 간단한 식에 의하여 유속을 구할 수 있다. 그러나 복합단면 수로인 경우는 하상 형태에 의한 흐름저항을 고려하기 위해서 저수로와 고수부지를 분할하여 각각의 유속을 계산하고 유량을 구한다. 이 때 분할단면은 가상의 벽으로 간주하고, 저수로의 유속을 계산할 때는 이 가상의 벽을 윤변에 포함시켜서 동수반경을 계산하며, 고수부지의 유속을 계산할 때에는 이 가상의 벽은 윤변에 포함시키지 않는다.

2.3.3 나무가 있는 하천의 수리계산

하천구역에 나무가 있는 경우는 크게 ① 저수로를 포함한 통수단면 전체에 나무가 있는 경우, ② 고수부지중 좌·우측 어느 한 쪽에만 나무가 분포하는 경우, ③ 저수로를 제외한 고수부지 양측 모두에 나무가 있는 경우로 나눌 수 있다. 수리계산은 Chezy공식을 이용하며, Chezy계수를 Darcy-Weisbach의 마찰손실계수를 이용하여 변환하여 나무로 인한 흐름저항을 고려한다.

[해설]

수리계산을 위하여 ②와 ③의 경우는 나무가 있는 부분과 없는 부분으로 분할한다. ①의 경우와 ②와 ③의 경우 중 나무가 있는 부분의 유속 V 는 다음의 평균 유속공식을 이용하고, 나무가 없는 부분은 Manning 공식으로 계산한다.

$$V = \sqrt{\frac{8g}{f}} \sqrt{RS_0} = \sqrt{\frac{8gRS_0}{f}}$$

여기서 R 은 동수경사, S_0 는 하상경사, f 는 마찰손실계수이다.

그리고 Chezy의 조도계수 $\sqrt{\frac{8g}{f}}$ 에서 마찰손실계수 f 는 하천구역내의 하상재료나 하천형태, 나무 등 모든 영향을 포함하고 있는데 특히 나무에 의한 영향을 고려해 주기 위하여 다음 식과 같이 변형하여 이용한다.

$$f = \lambda_w + 4C_{WR}\omega_p r_{hy}$$

여기서 λ_w 는 하상이나 경사면의 저항계수, C_{WR} 은 나무에 의한 계산상의 저항계수(1.0 ~ 1.5), r_{hy} 는 동수반경, ω_p 는 나무군락의 면적과 유량의 비(m^{-1})로 성긴 덩불인 경우 0.1 ~ 1.5, 밀생한 덩불인 경우 1.5 ~ 3.0, 나무일 경우에는 $d_{p,m} \cdot D_p = d_{p,m}/(a_x \cdot a_y)$ 로 주어진다. 여기서 $d_{p,m}$ 는 나무의 직경이고 a_x 와 a_y 는 각각 종·횡방향의 나무간격이다.

따라서 Chezy의 평균유속공식은 다음과 같이 변형된다.

$$V = \sqrt{\frac{8gr_{hy}I_E}{\lambda_w + (4C_{WR}\omega_p r_{hy})}}$$

여기서 나무가 밀생하여 유속이 거의 없거나 하상이 비교적 평탄한 경우 마찰계수 λ_w 는 무시할 수 있을 정도로 작기 때문에 다음 식과 같이 간략화시킬 수 있다.

$$V = \sqrt{\frac{2gI_E}{C_{WR}\omega_p}}$$

이 식을 살펴보면 유속은 수심과 상관없이 중력가속도와 에너지경사에 대한 저항치의 비 형태로 구할 수 있음을 알 수 있다.

다음으로 하도의 한 측면에 나무가 분포하고 있는 경우 수목이 없는 분할단면의 유속을 구하기 위해서는 나무가 흐름에 미치는 영향을 고려해야 한다. 이 때 나무에 의한 마찰계수 λ_T 는 다음 식으로 구한다.

$$\lambda_T = 4 \left(\log \frac{V_{0,F}}{V_{0,V}} \right)^2 \frac{r_{hy,V} b_m}{h_T b_F}$$

여기서 $b_F = A_F/h_T$, $r_{hy,V} = A_V/I_{u,V}$, h_T 는 나무가 물에 잠긴 깊이, A_F 는 나무가 없는 부분의 넓이, A_V 는 나무가 있는 부분의 단면적, $I_{u,V}$ 는 나무가 있는 부분의 하상길이(윤변), $r_{hy,V}$ 는 나무가 있는 부분의 동수반경, $V_{0,F}$ 는 가상분리면을 고려하지 않을 때의 나무가 없는 단면의 유속, $V_{0,V}$ 는 가상분리면을 고려하지 않을 때의 나무가 있는 단면의 유속이다.

따라서 b_F 는 나무가 없는 부분의 평균 넓이가 되고, b_m 은 유체의 흐름에 영향을 미치는 수목부분의 넓이로 나무의 직경과 나무사이의 간격에 의하여 계산된 와류폭(b_N)에 따라 결정한다.

$$b_N = 3.2 \sqrt{a_y \cdot d_{pm}}$$

$$b_N \geq a_y \Rightarrow b_m = a_y \quad \text{상한선} \quad b_m \leq b_V = A_V/h_T$$

$$b_N < a_y \Rightarrow b_m = b_N \quad \text{하한선} \quad b_m \geq 0.15 h_T$$

여기서 A_V 는 유통면적, $V_V \approx V_{0,F}$ 이다.

그리고 수목이 밀생하면 홍수 때 검불이나 쓰레기 등이 걸리기 쉽기 때문에 V_V 는 아주 작은 값을 택하거나 무시한다.

λ_T 를 구한후 $r_{hy,w} = \frac{A_F}{I_{u,w} + h_T}$ 를 $r_{hy,w}$ 로 가정하여 초기치를 설정한 후 다음의 두 식을 반복 계산하여 λ_w 가 변화하지 않을 때의 값을 선정한다.

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda_w}} = 2 \log \left(\frac{14.84 r_{hy,w}}{K_w} \right)$$

$$r_{hy,w} = \frac{\lambda_w A_F}{\lambda_w I_{u,w} + \lambda_T h_T}$$

여기서 K_w 는 하상구조와 하상조건에 따른 저항체 직경을 나타내는 것으로 다음 표5와 같다.

표 5 하상구조와 하상조건에 따른 저항체 직경

하 상 구 조 와 하 상 조 건		저항체 직경(K_w)
아 스 팔 트		1.5 ~ 2.2
콘크리트	매끈함	1 ~ 6
	거칠음	6 ~ 20
	철근콘크리트 관	0.1 ~ 0.15
돌	굽힌 인조석	2 ~ 8
	벽돌 및 깬 자연석	15 ~ 40
	암벽 및 손질된 바위터널	7.5 ~ 75
	기계로 뚫은 바위터널	7 ~ 30
	거치른 자연석 벽면	80 ~ 100
	투석된 면	200 ~ 300
	매끈한 벽돌을 깬 면	30 ~ 50
	격자형 잔디면	15 ~ 30
흙	모래와 자갈	d_{90}
	호박돌	60 ~ 200
	농작지	20 ~ 250
	농작물이 있는 경우	250 ~ 800
	숲의 표면	160 ~ 320
	잔디	60 ~ 400
	여울이 있는 하상	여울의 높이
	Dune 하상, 수심(h)	$h/6 \sim h/3$
	불규칙적인 하상	150 ~ 350
	아주 불규칙적인 하상	350 ~ 500

이상과 같이 수목에 의한 저항과 동수반경을 계산하여 수목이 없는 분할단면의 유속을 계산한다. 이 때 분할단면의 한 측에만 수목이 있을 경우 동수반경과 마찰계수, 유속을 구하는 식은 다음과 같다.

$$r_{hy,F} = \frac{A_F}{l_{u,w} + h_T}$$

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda_{ges}}} = \sqrt{\frac{l_{u,w} + h_T}{\lambda_w l_{u,w} + \lambda_T h_T}}$$

$$v_F = \sqrt{\frac{1}{\lambda_{ges}}} \sqrt{8gr_{hy,F}I_E}$$

그리고 분할단면의 양측에 수목이 분포할 경우에는 동수반경과 마찰계수를 다음과 같이 수정하여 이용한다.

$$r_{hy,F} = \frac{A_F}{I_{u,w} + h_{T_1} + h_{T_2}}$$

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda_{ges}}} = \sqrt{\frac{I_{u,w} + h_{T_1} + h_{T_2}}{\lambda_w I_{u,w} + \lambda_{T_1} h_{T_1} + \lambda_{T_2} h_{T_2}}}$$

위의 식을 이용하여 나무가 있는 단면의 평균유속을 계산하고, 단면적을 곱하여 각 단면의 유량을 구한다. 그리고 각 단면 유량을 합하여 주어진 수위를 갖고 흐를수 있는 전체유량을 계산할 수 있다.

이렇게 구한 유량이 계획 홍수량보다 작으면 수위를 증가시켜 계획홍수량을 통과시킬 수 있을 때까지 반복 계산하게 된다. 또한 나무가 없을 때의 수위와 비교하여 하천구역 내에 심은 나무가 홍수에 미치는 수리적 영향을 파악할 수 있다.

제3장 하천구역내 나무심기시 검토할 사항

제1절 나무심기 방법 및 식수밀도

1.1 나무심기 방법

치수상 안전을 확보하기 위하여 다음 사항을 고려하여 나무를 심어야 한다.

- (1) 제방에 미칠 위험요소 배제
- (2) 하천부속물에 미칠 악영향 배제
- (3) 나무의 전도 및 세굴 방지
- (4) 부러지거나 쓰러져 떠내려 간 나무로 인한 하류 하도의 폐색 방지와 하류부 교량의 교각걸침에 따른 교량피해 방지

[해 설]

(1) 제방에 미칠 위험요소 배제

나무를 낮은 밀도로 심을 경우 나무 자체에 의한 수위 상승이나 주변 유속 분포에 대한 변화는 거의 없다. 그러나 만일 쓰레기 및 떠내려 가는 나무 등으로 나무 사이가 폐색되면 수위상승이나 유속분포는 무시할 수 없게 되고, 누수나 월류 등과 같은 부작용이 생길 수도 있다. 따라서 다음 표6과 같은 위험요소가 있는 곳에는 나무를 심어서는 안된다.

표6. 나무를 심을 수 없는 경우

취약부분	치수 안전성을 고려해서 나무를 심을 수 없는 구역	치수 안정성을 고려해서 나무를 심을 수 없는 구역에서는 양안 모두 나무를 심을 수 없다.
제방고	기존 제방의 홍수위에 대한 여유고가 하천시설기준에서 정하는 여유고의 1/5 이하로써 계획홍수량을 소통시키는데 위험이 예상되는 장소	
제방단면	제방의 단면이 부분적으로 협소하거나 제방 마루폭이 좁은 곳(하천시설기준에서 정한 제방 마루폭의 1/2 이하인 구간)	
제체강도	제체 또는 기초지반의 토질이 연약하고, 비탈면 붕괴, 슬라이딩 또는 급격한 침하 등이 발생한 적이 있거나 위험이 예상되는 곳, 수충부의 신설 제방으로서 완성후 3년 이하인 곳	
누수	제체 또는 기초지반에서 누수가 발생한 적이 있거나 개연성이 많은 곳	
수충부	홍수시 수충부로서 제방·저수호안 등이 파손되었거나 파손될 위험이 있는 곳	
세굴	제방 부근의 하안이 세굴되어 있는 곳으로 호안 근고공이 세굴되어 있고, 수제 등이 파손되거나 기타 공작물의 돌출로 세굴이 예상되는 곳	
공사실시	홍수기 중에 통문, 통관 등의 횡단 공작물의 시공을 위하여 제방을 절개한 곳 또는 공사시공에 따른 위험이 예상되는 경우	
공작물	취수보, 통문, 통관 등 제방 횡단 공작물 설치시기가 오래되었고 부등침하, 누수 등으로 불의의 사고가 예상되는 곳	

(2) 하천부속물에 미칠 악영향 배제

심을 나무의 뿌리나 나무 주위의 유속분포 변화가 하천부속물에 악영향을 주지 않도록 제방, 저수로, 그 외의 구조물에서 일정한 거리를 둔다. 현재의 하도에서는 하천시설로부터 필요한 거리를 두고, 개수 계획상 저수로 호안부의 고수부지를 굴착하게 되는 경우나 제방을 앞으로 돌출시키는 경우에는 개수공사에 방해가 되지 않도록 개수 계획상의 선형을 고려하여 나무를 심는 범위를 정한다.

- ① 월류 위험 배제 : 제방에 호안이 되어 있는 경우 호안으로부터 20 m 이상, 또한 제방비탈 경사면과 계획홍수위의 접선으로부터 $(20 + 0.005Q)$ m(여기서 Q는 계획홍수량으로 단위는 m^3/s 으로 30 m 미만의 경우는 30 m, 70 m를 초과하는 경우에는 70 m) 이상의 거리를 띄는 것을 기본으로 한다. 이는 제방과 나무 사이가 쓰레기 등에 의해 폐색되어 제방을 월류할 위험을 예방하기 위한 것이다.

- ② 저수로에 대한 악영향 방지 : 수중에 따라서는 뿌리의 생장으로 저수로 호안이 변형할 가능성도 있기 때문에 저수로변에 심는 나무의 주근이 분포하는 범위 또는 안전측으로 20m를 띄어야 하며, 저수로 호안이 없는 저수로에서는 거리를 짧게 잡아도 된다.
- ③ 구조물에의 악영향 배제 : 보, 근고공, 통문, 통관, 교량 등에 미치는 영향을 방지하고 하천구조물에 의한 교란으로 나무가 쓰러질 위험을 방지하기 위해 구조물 날개벽 길이의 2배에 해당하는 거리를 두어야 한다.
- ④ 그 외의 하천관리상 지장의 방지 : 지천의 분·합류점에서는 홍수시의 흐름에 교란이 생기기 쉽고, 유속 등 외력이 예상보다 큰 경우가 있으므로 나무를 심을 때는 그 안전성을 확인하여야 한다.

(3) 전도 및 세굴 방지

- ① 심은 나무가 유실되지 않도록 대책을 수립해도 나무의 주변이 세굴되면 위험하기 때문에 나무심기 계획 단계에서 하천관리청으로서 전도에 대한 안전성을 확인할 수 있도록 사전에 유속을 조사해야 한다.

<참고자료>

고수부지의 유속은 다음과 같이 간단한 식에 의해 파악할 수 있지만 만곡부 등에서는 이러한 방법으로 구한 유속보다 클 수 있기 때문에 별도로 상세한 검토가 필요하다.

• 기준유속(u_s)의 산출

하천개수가 예정되어 있는 경우에는 개수 후의 하도를 대상으로 고수부지 위의 유속을 다음 식으로부터 산출한다.

$$u_s = \frac{1}{n_{fp}} h_{fp}^{2/3} I^{1/2}$$

여기서 n_{fp} 는 고수부지의 조도계수, h_{fp} 는 계획홍수위에서 고수부지의 수심, I 는 에너지 경사(해당구간의 고수부지 평균의 종단구배와 근사가능)이다. 고수부지의 조도계수 n_{fp} 는 토지이용을 예상해서 선정한다(예를 들면 정지된 운동장에서 조도계수는 0.02, 잔디는 0.03 등).

• 보정계수(α)의 산출

(a) 고수부지 폭이 h_{fp} 의 10배 이하인 경우

$$\alpha = \frac{1 + \left[\frac{n_{fp}}{n_{mc}}\right]^{1/2} \cdot \left[\frac{h_{mc}}{h_{fp}}\right]^{1/3}}{\left[\frac{n_{mc}}{n_{fp}}\right]^{1/2} \cdot \left[\frac{h_{fp}}{h_{mc}}\right]^{1/3} + 1}$$

여기서 h 는 계획홍수위에서의 수심, n 은 조도계수를 말하되 첨자 mc , fp 는 각각 저수로 하상, 고수부지 바닥에서의 값을 나타낸다.

(b) 고수부지 폭이 h_{fp} 의 10배보다 큰 경우

$$\alpha = 1.0$$

• 고수부지 위의 대표유속(u_0)의 산출

이상의 u_s , α 를 이용해서 고수부지 위의 유속 u_0 를 추정한다.

$$u_0 = \alpha \cdot u_s$$

② 나무는 뿌리 주변의 세굴로 인하여 전도되기 쉽기 때문에 세굴되지 않는 범위 또는 세굴되더라도 나무의 지지력에 영향을 주지 않는 범위내에서만 나무를 심는다. 고수부지가 계속 세굴되는 유속 u_c 가 생기는 구간에서는 뿌리의 보호공을 설치하여도 세굴 및 전도 방지가 어렵기 때문에 나무를 심지 않는다. 이 때 유속 u_c 는 2 m/s 정도가 기준이 되며, 이를 초과하는 구간에서는 별도로 상세히 검토해야 한다.

③ 급확대부나 만곡부 등에서는 쓰레기 및 떠내려 가는 나무가 집중되기 쉽기 때문에 나무를 심으면 이로 인하여 나무가 전도되기도 하고, 홍수 후 유지관리도 어렵다. 따라서 이러한 구역은 나무심기를 금지하거나 나무의 간격을 크게 해야 한다.

(4) 부러지거나 쓰러져 떠내려 간 나무로 인한 하류 하도의 폐색 방지 등

부러지거나 쓰러져 진 나무가 하류로 떠내려 가기 전에 차단할 수 있는 방지공을 설치한다. 특히 하류에 소규모 교량과 같은 구조물이 있는 경우 면밀히 검토한다.

1.2 나무를 심을 수 있는 구역 내에서의 허용식수밀도

나무를 심을 수 있는 구역에서는 식수밀도에 따른 수리계산을 실시하여 치수상 안전성을 확보할 수 있는 식수밀도를 채택하여야 한다.

[해 설]

(1) 홍수시 흐름이 형성 되는 고수부지의 식수밀도

대하천에서 고수부지 위에 단독으로 서식하는 나무가 흐름에 주는 영향은 통상 국소적이고 하도 전체의 수위 상승이나 유속의 변화를 가져오는 것은 드물다. 그러나 식수밀도가 크게 되면 유속이 적은 구역이나 극단적인 경우 사수역이 형성되어 하도 전체의 흐름에 영향을 주게 된다.

(2) 사수역인 고수부지의 식수밀도

사수역에서는 나무가 수위상승의 원인은 되지 않지만 일반적으로 사수역에는 홍수시 쓰레기 등 부유물이 떠내려와 쌓이기 쉽고 이러한 부유물에 의해 쓰러지거나 떠내려갈 위험이 있다. 특히 나무 간격이 좁으면 폐색되기 쉬워 쓰러질 가능성이 증가한다.

제2절 나무심기 요청에 대한 대처방안

2.1 심을 나무의 선정 및 배치 등에 대한 검토

나무를 심을 때에는 수종, 나무 배치, 밀도 등을 확인하고, 하천관리상 지장이 발생하지 않도록 하여야 한다.

[해 설]

(1) 수종

하천에 심을 나무는 하천에서 잘 서식할 수 있어야 하며, 나무를 심은 후의 환경개선 등을 고려하여 수종의 적합성을 판단해야 한다. 우리나라 하천에 많이 분포하고 있는 대표적인 수종은 부록A에 수록되어 있다.

(2) 수형

나무의 형상은 수위 상승과 많은 관계를 가지고 있다. 즉 지하고가 낮고 수관면적이 큰 나무는 흐름의 작용을 받는 면적이 크기 때문에 수위 상승이 크게 된다. 따라서 계획시에 성목의 나무 형태를 다음의 관점에서 검토한다.

필요한 조건	이 유
우리나라 하천에서 발견되는 주요한 수종	그 하천에서 서식하는 것이 확인된 대표적인 수종은 나무심기나 관리에 적합하다.
기상조건, 토양조건 등의 생육환경에서 보아 적절한 수종	하천에서의 성장을 기대할 수 있다.
가지치기에 견디는 힘이 강한 수종	정기적으로 실시되는 가지치기 등 관리에 견딜 수 있다.
묘목에서 성목으로 성장하는 속도가 빠른 수종	조기에 활착되어 나무 자체의 내력을 기대할 수 있다.
건강하고 활력이 큰 수목	나무를 심은 후 양호한 성장을 기대할 수 있다.
흐름중의 투영면적이 극단적으로 크지 않는 수종(가지의 높이가 높은 수종)	지표면 부근에서 가지가 생기는 수종은 적절치 못하다.

① 지하고(枝下高)는 2 m 이상으로 한다.

② 수관폭은 5~6 m 이하로 한다. 성목시의 수형을 예상해서 쓰러질 가능성을 판단하고 뿌리의 활착이후는 쓰러짐 방지공이 없어도 스스로 지탱할 수 있는 것이어야 한다.

(3) 수령

하천에 심는 나무는 흉고직경이 10 cm 이하, 수고 5 m 이하의 묘목을 원칙으로 한다. 이 때 토양 등의 조건이 좋으면 2~3년, 늦어도 5~10년 이내에는 뿌리가 활착한다.

(4) 심을 수 있는 나무 수

심을 수 있는 나무 수는 하도 구간별로 구하고, 수리계산에 의하여 홍수시 치수 안정성을 확보할 수 있도록 해야 한다.

(5) 배치

나무를 조밀하게 심으면 나무 사이가 쓰레기 등으로 폐색되어 저항이 커지고, 나무에 작용하는 외력이 크게 되어 전도될 위험이 증가한다. 따라서 나무 사이의 간격은 횡방향, 종방향 모두 하도 직선 구간에서는 40 m 이상, 만곡부 외안측 등 쓰레기가 집중되기 쉬운 곳에서는 80 m 이상 거리를 두는 것을 원칙으로 하되 직선구간의 종단방향 거리는 2차원 해석결과 등을 기초로 주위의 유속분포에 악영향을 미치지 않는다고 판단되는 경우에는 10 m 이내로 2그룹을 근접해서 심을 수 있다.

2.2 심은 나무의 전도 및 유실된 나무의 유출에 대한 방지대책

심은 나무가 쓰러지거나 유실된 나무가 유출되지 않도록 하는 대책이 강구되어 있는지를 검토한다.

[해 설]

심은 나무의 뿌리가 활착해서 지지력을 발휘하게 되기까지는 수년에서 10년 정도를 필요로 한다. 따라서 그 때까지 전도 방지공 등을 설치하여 대비해야 한다.

(1) 심은 나무의 뿌리가 활착되기 전까지의 전도 방지 대책

심은 나무의 활착은 토양조건이나 기후 그리고 침수빈도 등 환경조건에 따라 다르지만 대개 수년에서 경우에 따라서는 10년 정도를 요한다. 따라서 이 기간에 전도를 방지하기 위해서 전도 방지공을 설치해야 한다.

(2) 심은 나무 자체의 내력에 의한 전도 방지

성목시의 크기를 설정해 나무의 전도를 판정하며, 쉽게 전도되지 않는 수종 및 수형을 선정한다.

(3) 나무 주위의 세굴방지 대책

고수부지 위의 수리조건에 따라 주근(主根) 주위에 세굴 위험이 있다고 판단되는 경우에는 직경 20 cm 이상의 돌을 직경 2 m 이상의 범위로 파묻는 등 세굴방지 대책을 강구한다.

제4장 하천구역내 나무 관리

제1절 하천구역내 나무의 관리

- (1) 하천관리청은 홍수가 지난 이후와 매년 11월에 하천구역내의 나무를 점검하여 차기 홍수시 지장이 없도록 하여야 한다.
- (2) 자생하는 나무에 대해서는 정기적으로 번성 범위, 높이, 밀생상황 및 수종에 대해서 관찰 조사하고, 홍수시 유량소통에 지장을 초래할 때에는 벌채한다.
- (3) 하천관리청은 치수상 악영향이 없는 구역에서는 습지식물 또는 수목군락 등을 조성하여 생태서식처를 적극적으로 확보할 수 있다.

[해 설]

환경에 잘 적응하는 나무 군락은 적절한 관리를 하지 않고 방치하면 번성범위가 넓어져 통수능의 감소나 조도의 증대를 초래할 수 있다. 환경에 적응하지 못하는 나무는 정상적으로 성장할 수 없기 때문에 전도 등의 원인이 된다. 따라서 정기적으로 번성 범위, 높이 및 밀생상황을 조사하여 홍수시 지장을 초래하는 경우에 벌채 등의 조치를 취하고, 그렇지 않을 경우에는 나무가 보전되도록 유지·관리하여야 한다.

하천의 통수단면에 여유가 많거나 홍수에 대한 제방의 여유고가 충분한 구역에서는 습지식물 또는 수목군락 등을 조성하여 적극적으로 생태서식처를 조성할 수 있다.

제2절 자생하는 나무의 관리

2.1 벌채한 구역의 점검

벌채한 구역은 1년에 1회 정도 점검하고 수목의 재생 등의 상황을 반드시 확인한다. 재생 및 번성상황이 현저히 치수상 악영향을 미칠 우려가 있다고 판단되는 경우에는 벌채를 다시 검토한다.

[해 설]

벌채한 나무에 대해서 맹아 재생 방지조치를 행한 경우에도 외부에서 종자가 유입되어 벌채구역에 묘목이 성장할 수 있다. 번성형태가 벌채 당시의 상황으로 될 경우 많은 비용이 들기 때문에 묘목이나 작은 나무일 때 벌채하여 벌채의 목적을 달성하여야 한다.

2.2 자생하는 나무 군락의 점검

- (1) 홍수에 지장을 초래하지 않고 자생하는 나무 군락은 3년에 1회 이상 번성범위, 높이, 밀생상황 및 수종을 조사하여 치수상 악영향을 미칠 우려가 있다고 판단되는 경우에는 벌채를 한다.
- (2) 하천관리청은 하천을 정비하고자 하는 경우 그 지역에서 자라고 있는 나무와 동·식물의 서식과 생태계에 직·간접으로 영향을 미치는 나무가 치수상 악영향을 미칠 우려가 없다고 판단되는 경우에는 이를 제거하지 아니한다.

[해 설]

벌채한 구역 이외의 나무 군락에 대해서도 번성 상황이 크게 변화하고, 치수상 악영향의 원인이 되지 않도록 3년에 1회 이상 관찰조사를 한다. 또한 관찰조사 결과 당초의 벌채시 상황과 다를 경우에는 벌채 등을 검토한다.

제3절 심은 나무의 관리

- 심은 나무가 부러지거나 쓰러져 떠내려 갈 우려가 있다고 판단되는 경우에는 하천관리청은 다음의 조치를 취하여야 한다.
- (1) 나무의 성장으로 계획보다 나무가 클 경우 흐름 및 바람의 작용도 크게 되기 때문에 적절한 크기로 유지시킨다.
 - (2) 수세(樹勢)가 약한 나무는 기대하는 전도한계모멘트보다 내력이 작은 경우가 있기 때문에 벌채 등의 조치를 취한다.

[해 설]

하천관리청은 심은 나무가 부러지거나 쓰러져 떠내려 갈 위험이 크다고 판단되는 경우에는 가지치기나 제거 등 필요한 조치를 취하여야 한다.

(1) 적정한 수형의 유지

수형, 특히 수관부의 모양은 기상 조건, 지하수 및 토양조건에 따라 예상 형태와 상당히 다른 경우가 있다. 예를 들면 지하수위가 높은 곳에서는 뿌리가 지하수면을 피해서 측방으로 번지는 수종에서는 수관도 수평방향으로 크게 되는 형태를 나타낸다. 이와 같이 수관부가 이상 형태로 발달하면 외력의 작용이 크게 되고 쓰러질 위험도 높아진다. 따라서 수형으로 지하고는 최저 2 m 정도, 수고는 7 m 정도 이하, 수관폭은 5~6 m 정도 이하를 원칙으로 하여 이것을 초과하는 나무에 대해서는 가지치기 등의 조치를 취하여야 한다.

(2) 전도에 대한 내력의 확보

수세(樹勢)가 약한 나무는 수령이나 수형 등으로부터 추정되는 일반적인 내력모멘트를 가지지 못하고 태풍이나 홍수 때 쓰러지기 쉽다. 따라서 나무가 적절히 성장하고 있는가를 판단하기 위하여 정기적으로 수세 등에 대해 평가하고 수세가 약한 나무는 제거 또는 전도 방지공을 설치하여야 한다.

부록A 우리나라 하천수계에 서식하는 나무

표 1 한강수계에 분포하는 수종

하천유역 구분		수 종 명	
구 분	구간지점	교 목	관 목 (만 경)
하 류	하구 ~ 팔당댐	가죽나무, 느티나무, 밤나무, 버드나무 벗나무, 상수리나무, 소나무, 양버들 아까시나무, 양버즘나무, 은사시나무 은행나무, 이태리포플러, 능수버들	갯버들, 눈갯버들, 무궁화 뽕나무, 자귀나무, 싸리 조팝나무, 칩
중 류	팔당댐 ~ 춘천(북한강), 충주댐(남한강)	가죽나무, 개수양버들, 느릅나무, 밤나무 느티나무, 능수버들, 버드나무, 벗나무 상수리나무, 소나무, 양버들, 용버들 아까시나무, 양버즘나무, 은사시나무 은행나무, 이태리포플러, 참오동나무	개나리, 갯버들, 눈갯버들 무궁화, 붉나무, 뽕나무 싸리, 신나무, 조팝나무 칩
상 류	춘천이상 (북한강) 충주댐이상 (남한강)	가죽나무, 개수양버들, 느릅나무, 소나무 느티나무, 능수버들, 밤나무, 양버들 왕버들, 버드나무, 벗나무, 아까시나무 참오동나무, 은사시나무, 이태리포플러	갯버들, 눈갯버들, 무궁화 복사나무, 뽕나무, 싸리 신나무, 조팝나무 붉나무, 칩

표 2 낙동강수계에 분포하는 수종

하천유역 구분		수 종 명	
구 분	구간지점	교 목	관 목 (만 경)
하 류	하구 ~ 남강합류점	개수양버들, 개잎갈나무, 곰솔, 밤나무 느티나무, 능수버들, 버드나무, 벗나무 상수리나무, 소나무, 아까시나무, 양버들 왕대, 왕버들, 은사시나무, 팽나무 이태리포플러, 참오동나무	개나리, 갯버들, 눈갯버들 무궁화, 복사나무, 뽕나무 싸리, 신나무, 자귀나무 조팝나무, 칩
중 류	남강합류점 ~ 내성천합류점	가죽나무, 개수양버들, 개잎갈나무 곰솔, 느티나무, 능수버들, 밤나무 버드나무, 벗나무, 상수리나무, 소나무 아까시나무, 양버들, 왕대, 양버즘나무 왕버들, 용버들, 은사시나무, 은행나무 팽나무, 이태리포플러, 참오동나무	개나리, 갯버들, 눈갯버들 무궁화, 복사나무, 붉나무 뽕나무, 싸리, 신나무 자귀나무, 조팝나무, 칩
상 류	내성천 이상 합류점	가죽나무, 개수양버들, 밤나무, 소나무 느티나무, 능수버들, 아까시나무 은사시나무, 이태리포플러, 참오동나무	갯버들, 눈갯버들, 무궁화 붉나무, 뽕나무, 싸리, 칩 신나무, 조팝나무

표 3 금강수계에 분포하는 수종

하천유역 구분		수 종 명	
구 분	구간지점	교 목	관 목 (만 경)
하 류	하구 ~ 논산천합류점	개수양버들, 곰솔, 느티나무, 능수버들 밤나무, 버드나무, 벗나무, 상수리나무 소나무, 아까시나무, 왕대, 은사시나무 참오동나무	갯버들, 눈갯버들, 무궁화 복사나무, 뽕나무, 싸리 쭉
중 류	논산천합류점 ~ 대청댐	가죽나무, 개수양버들, 밤나무, 벗나무 느릅나무, 느티나무, 능수버들, 소나무 버드나무, 상수리나무, 아까시나무, 왕대 양버들, 양버즘나무, 왕버들, 은사시나무 용버들, 은행나무, 이태리포플러 참오동나무	개나리, 갯버들, 눈갯버들 복사나무, 뽕나무, 무궁화 싸리, 신나무, 자귀나무 조팝나무, 쭉
상 류	대청댐이상	개수양버들, 느릅나무, 밤나무, 벗나무 느티나무, 능수버들, 버드나무, 소나무 아까시나무, 양버들, 왕버들, 은사시나무 이태리포플러, 참오동나무	갯버들, 눈갯버들, 무궁화 복사나무, 뽕나무, 뽕나무 싸리, 신나무, 자귀나무 조팝나무

표 4 영산강수계에 분포하는 수종

하천유역 구분		수 종 명	
구 분	구간지점	교 목	관 목 (만 경)
하 류	하구 ~ 지석천합류점	가죽나무, 개수양버들, 곰솔, 느티나무 개잎갈나무, 밤나무, 능수버들, 벗나무 버드나무, 상수리나무, 소나무, 양버들 아까시나무, 양버즘나무, 왕대, 은행나무 은사시나무, 이태리포플러, 참오동나무 팽나무, 편백	갯버들, 복사나무, 뽕나무 싸리, 자귀나무, 조팝나무 쭉
상 류	지석천합류점 이상	가죽나무, 개수양버들, 왕대, 느릅나무 느티나무, 능수버들, 밤나무, 버드나무 벗나무, 상수리나무, 소나무, 왕버들 아까시나무, 양버들, 팽나무, 은행나무 은사시나무, 편백, 이태리포플러 참오동나무	갯버들, 눈갯버들, 무궁화 복사나무, 뽕나무, 뽕나무 싸리, 신나무, 자귀나무 조팝나무, 쭉

표 5 섬진강수계에 분포하는 수종

하천유역 구분		수 종 명	
구 분	구간지점	교 목	관 목 (만 경)
하 류	하구 ~ 보성천합류점	가죽나무, 개수양버들, 곰솔, 느릅나무, 개잎갈나무, 밤나무, 느티나무, 벗나무, 능수버들, 버드나무, 상수리나무, 소나무, 아까시나무, 양버들, 왕버들, 팽나무, 양버즘나무, 왕대, 은사시나무, 용버들, 은행나무, 이태리포플러, 참오동나무, 편백	개나리, 갯버들, 눈갯버들, 무궁화, 복사나무, 뽕나무, 싸리, 자귀나무, 조팝나무, 칩
상 류	보성천합류점 이상	가죽나무, 개수양버들, 밤나무, 벗나무, 느릅나무, 느티나무, 능수버들, 소나무, 버드나무, 상수리나무, 아까시나무, 왕대, 양버들, 왕버들, 용버들, 팽나무, 편백, 은사시나무, 은행나무, 이태리포플러, 참오동나무	갯버들, 눈갯버들, 무궁화, 복사나무, 뽕나무, 싸리, 신나무, 칩, 자귀나무, 조팝나무

표 6 안성천수계에 분포하는 수종

하천유역 구분		수 종 명	
		교 목	관 목 (만 경)
전 구 역		은행나무, 은사시나무, 능수버들, 팽나무, 개수양버들, 상수리나무, 느티나무, 양버즘나무, 자귀나무, 아까시나무, 참오동나무, 이태리포플러, 벗나무	조팝나무, 싸리, 개나리, 족제비싸리

표 7 만경강수계에 분포하는 수종

하천유역 구분		수 종 명	
		교 목	관 목 (만 경)
전 구 역		은행나무, 소나무, 은사시나무, 양버들, 이태리포플러, 왕대, 버드나무, 용버들, 능수버들, 개수양버들, 팽나무, 느티나무, 양버즘나무, 가죽나무, 자귀나무, 아까시나무, 벗나무, 참오동나무	갯버들, 뽕나무, 조팝나무, 싸리, 칩, 족제비싸리, 무궁화, 개나리

표 8 삽교천수계에 분포하는 수종

하천유역 구분	수 종 명	
	교 목	관 목 (만 경)
전 구 역	은행나무, 소나무, 은사시나무, 뽕나무 이태리포플러, 버드나무, 능수버들 개수양버들, 상수리나무, 느티나무 자귀나무, 아까시나무	갯버들, 눈갯버들, 뽕나무 조팝나무, 족제비싸리 무궁화, 개나리

표 9 동진강수계에 분포하는 수종

하천유역 구분	수 종 명	
	교 목	관 목 (만 경)
전 구 역	은행나무, 개잎갈나무, 왕대, 버드나무 이태리포플러, 왕버들, 능수버들, 밤나무 개수양버들, 상수리나무, 느릅나무 자귀나무, 양버즘나무, 아까시나무 참오동나무	갯버들, 눈갯버들, 뽕나무 조팝나무, 복사나무, 싸리 썩, 족제비싸리, 무궁화

표 10 형산강수계에 분포하는 수종

하천유역 구분	수 종 명	
	교 목	관 목 (만 경)
전 구 역	소나무, 개잎갈나무, 양버들, 버드나무 이태리포플러, 은사시나무, 왕대, 왕버들 능수버들, 개수양버들, 밤나무, 느티나무 상수리나무, 양버즘나무, 뽕나무 자귀나무, 아까시나무, 가죽나무	갯버들, 눈갯버들, 뽕나무 조팝나무, 족제비싸리, 썩 개나리

표 11 우리나라 10대강에 분포하는 수종수

수계	한 강	낙동강	금강	영산강	섬진강	안성천	만경강	삽교천	동진강	형산강
조사종수	77	83	68	76	74	55	65	19	79	26
확인종수	68	56	28	55	63	18	32	19	38	26
확인율	88	67	41	72	86	33	49	100	48	100

부록B 우리나라 하천에 서식하는 대표적인 나무의 형태적 특성

수 목 분 류 표

자생	성상	내습성	호습성	식재권장수종		하천내 적정 위치	
				우 선 수 종	보 조 수 종		
자생 수종	교 목	강 함	매우 강함				
			강 함	버드나무, 왕버들, 능수버들, 개수양버들		고수부지 및 측단	
		보 통	느릅나무, 팽나무	신나무, 귀룽나무, 곰솔, 모감주나무, 피나무	고수부지 및 측단		
		약 함	느티나무, 벚나무	자귀나무, 밤나무, 소나무, 상수리나무, 참오동나무	측 단		
	(만 경)	관 목	강 함	매우 강함	갯버들, 눈갯버들		저수로 비탈 및 고수부지
				강 함			
		보 통		조팝나무, 붉나무, 송악, 개나리, 찔레	뒷턱 및 측단		
	약 함		싸리, 칩	뒷턱 및 측단			
	도입 수종	교 목	강 함	매우 강함			
				강 함		메타세콰이어, 낙우송	고수부지 및 측단
보 통			이태리포플러, 용버들, 은사시나무, 양버들, 편백		고수부지 및 측단		
약 함			은행나무, 양버즘나무, 아까시나무, 가죽나무	개잎갈나무	측 단		
관 목		강 함	매우 강함				
			강 함				
		보 통		족제비싸리, 앵도, 무궁화, 뽕나무, 복사	뒷턱 및 측단		
약 함							

註 : 별표에 제시된 수목의 수고와 수관폭 및 뿌리의 깊이와 뿌리폭에 대한 자료는 수목의 나이가 100년생 정도 되었을 때 볼 수 있는 수목의 평균적인 추정치이다. 실제로 이 값은 수목의 생육환경 뿐 만 아니라 개체적 특성에 따라서도 그 차이가 나타날 수 있음에 주의할 필요가 있다. 하천에 심을 경우는 하류의 시설물을 감안하여 수고와 수관폭을 제한할 수 있는 관리방안을 강구한 후 나무를 심어야 한다.

1. 자생 교목 (우선수종)

수 종	수형 (m)		뿌리 (m)		분포지	자생여부	내풍성	내습성	호습성	내공해성	내염성	건습성	내한성	음양성	양분도	토성	생장속도	이식성	맹아력	전정내성	활착성	적응성	번식방법
	수고	수관폭	깊이	폭																			
버드나무	20	10	3	7	全國	自生	中	强	强	中	中	適潤	强	陽樹	瘠薄地	砂壤	速	中	强	弱	中	强	實生挿木
왕버들	20	15	3	10	中南部	自生	中	强	强	强	中	適潤	强	陽樹	普通地	砂壤	速	容易	强	中	良好	强	實生挿木
능수버들	20	10	3	7	全國	自生	中	强	强	强	强	適潤濕	强	陽樹	普通地	植壤	速	容易	中間	弱	良好	强	實生挿木
개수양버들	20	10	3	7	中南部	自生	中	强	强	强	强	適潤濕	中	陽樹	普通地	植壤	速	容易	中間	弱	良好	强	實生挿木
느티나무	25	25	2	12	全國	自生	强	弱	中	中	弱	適潤	强	陽樹	肥沃地	植壤	速	普通	容易	中	中間	中間	實生
느릅나무	20	15	2	8	全國	自生	强	中	中	中	强	適潤	强	中庸	肥沃地	植壤	速	容易	强	中	中間	中間	實生
팽나무	20	20	2	12	全國	自生	强	中	中	强	强	適潤	强	中庸	普通地	植壤	中	中	强	中	良好	適切	實生
벚나무	20	15	3	8	全國	自生	中	弱	弱	强	弱	適潤乾	强	陽樹	肥沃地	植壤	速	中間	弱	弱	中	强	實生接木

2. 자생 교목 (보조수종)

수 종	수형 (m)		뿌리 (m)		분포지	자생여부	내풍성	내습성	호습성	내공해성	내염성	건습성	내한성	음양성	양분도	토성	생장속도	이식성	맹아력	진정내성	활착성	적응성	번식방법
	수고	수관폭	깊이	폭																			
상수리나무	25	10	3	7	全國	自生	强	弱	中	中	中	適潤	强	中庸	普通地	埴壤	速	中	强	强	中	强	實生
밤 나무	20	20	3	12	中南部	自生	中	弱	中	中	强	適潤乾	中	陽樹	肥沃地	砂壤	中	中	弱	中	中	强	實生接木
자귀나무	10	8	2	6	中南部	自生	中	弱	弱	弱	强	適潤乾	中	陽樹	瘠薄地	埴壤	速	困難	弱	强	中間	中間	實生
참 오 동	15	10	2	9	中南部	自生	中	弱	弱	中	中	適潤	中	中庸	肥沃地	砂壤	速	中	中	中	强	强	實生挿木
신 나무	8	8	2	5	全國	自生	中	中	中	强	弱	適潤	强	中庸	肥沃地	埴壤	速	容易	强	强	强	强	實生
귀룽나무	15	12	2	10	全國	自生	中	中	中	强	强	適潤	强	陰樹	肥沃地	砂壤	速	容易	强	强	强	强	實生
모감주나무	10	8	2	8	中南部	自生	中	中	中	强	强	適潤	强	陽樹	瘠薄地	壤埴壤	急速	中	中	强	中	中	實生
피 나무	25	20	2	10	全國	自生	强	中	中	中	强	適潤	强	中庸	肥沃地	壤	中	中	中	中	弱	中	實生
소 나무	30	20	4	15	全國	自生	强	弱	弱	中	中	適潤乾	强	陽樹	瘠薄地	砂壤粘	遲	困難	弱	中	困難	中間	實生接木
곰 솔	30	20	4	15	海邊	自生	强	中	中	中	强	適潤	中	陽樹	瘠薄地	砂壤粘	速	中	强	中	良好	適切	實生

3. 자생 관목 (우선수종)

수 종	수형 (m)		뿌리 (m)		분포지	자생여부	내풍성	내습성	호습성	내공해성	내염성	건습성	내한성	음양성	양분도	토성	생장속도	이식성	맹아력	전정내성	활착성	적응성	번식방법
	수고	수관폭	깊이	폭																			
갯버들	3	3	1	3	全國	自生	强	强	强	中	强	濕	强	陽樹	瘠薄地	砂壤	普通	容易	强	中	强	强	插木
눈갯버들	1	2	1	3	全國	自生	强	强	强	中	强	濕	强	陽樹	瘠薄地	砂壤	普通	容易	强	中	强	强	插木

4. 자생 관목 (보조수종)

수 종	수형 (m)		뿌리 (m)		분포지	자생여부	내풍성	내습성	호습성	내공해성	내염성	건습성	내한성	음양성	양분도	토성	생장속도	이식성	맹아력	전정내성	활착성	적응성	번식방법
	수고	수관폭	깊이	폭																			
조팝나무	2	2	1	2	全國	自生	强	中	中	弱	强	適潤	强	陽樹	瘠薄地	壤	急速	容易	强	中	强	强	插木分株
싸리	3	2	1	2	全國	自生	强	弱	弱	强	强	適潤	强	陽樹	瘠薄地	埴壤	急速	中	强	强	强	强	實生分株
참	덩굴	덩굴	4	덩굴	全國	自生	强	弱	弱	强	强	適潤	强	中庸	普通地	砂壤	急速	容易	强	强	强	强	實生插木
붉나무	7	5	1	3	全國	自生	弱	中	中	中	中	適潤	强	中庸	瘠薄地	壤	速	中	中	中	中	强	實生
개나리	3	3	1	2	全國	自生	强	中	中	强	强	適潤	强	陽樹	普通地	砂壤	速	容易	强	强	强	中間	插木分株
짚레	덩굴	덩굴	2	2	全國	自生	中	中	中	强	强	適潤濕	强	陽樹	瘠薄地	壤	急速	容易	强	强	强	强	實生插木
승악	덩굴	덩굴	0.5	덩굴	中南部	自生	弱	中	强	中	强	適潤	中	陰樹	普通地	砂壤埴	中	容易	中	中	强	强	實生插木

5. 도입 교목 (우선수종)

수종	수형 (m)		뿌리 (m)		분포지	자생여부	내풍성	내습성	호습성	내공해성	내염성	건습성	내한성	음양성	양분도	토성	생장속도	이식성	맹아력	전정내성	활착성	적응성	번식방법
	수고	수관폭	깊이	폭																			
은행나무	30	25	4	20	全國	導入	强	弱	中	强	中	適潤	强	陽樹	肥沃地	砂壤	速	容易	中	中	中間	中間	實生挿木
편백	25	10	2	7	南部	導入	弱	中	中	中	弱	適潤	弱	陽樹	肥沃地	壤	速	中	强	中	中	中	實生挿木
왕대	15	5	1	지하경	南部	導入	强	弱	中	中	弱	適潤	弱	中庸	肥沃地	壤	急速	容易	强	弱	强	中	分株
용버들	15	8	2	6	全國	導入	中	中	强	中	弱	適潤	中	陽樹	普通地	砂壤	速	容易	强	弱	中	强	實生挿木
이태리포플러	30	20	2	10	全國	導入	弱	中	强	中	中	適潤	强	陽樹	普通地	壤	急速	容易	弱	中	强	强	實生挿木
은사시나무	20	10	2	8	全國	導入	弱	中	强	强	中	適潤	强	陽樹	普通地	壤	急速	普通	强	中	强	强	實生挿木
양버들	25	8	2	5	全國	導入	弱	中	强	强	中	適潤	强	陽樹	瘠薄地	壤	中	容易	中	中	中	中	挿木
양버즘나무 (플라타나스)	20	20	3	15	全國	導入	中	弱	中	强	强	適潤	强	陽樹	普通地	壤	急速	容易	强	强	良好	適切	實生挿木
아까시나무	30	15	3	15	全國	導入	强	弱	弱	强	强	適潤	强	陽樹	瘠薄地	砂壤	急速	普通	强	强	强	强	實生挿木
가죽나무	30	15	2	12	全國	導入	中	弱	弱	强	强	適潤	强	陽樹	瘠薄地	砂壤	急速	普通	强	中	强	中	實生分株

6. 도입 교목 (보조수종)

수 종	수형 (m)		뿌리 (m)		분포지	자생여부	내풍성	내습성	호습성	내공해성	내염성	건습성	내한성	음양성	양분도	토성	생장속도	이식성	맹아력	전정내성	활착성	적응성	번식방법
	수고	수관폭	깊이	폭																			
개잎갈나무	25	25	2	7	南部	導入	弱	弱	中	强	中	適潤	中	陽樹	普通地	砂壤	速	容易	强	弱	中	弱	實生挿木
낙우송	30	15	3	12	中南部	導入	强	强	强	中	中	適潤	中	中庸	肥沃地	埴壤	速	中	弱	强	弱	中	實生挿木
메타세콰이어	30	15	3	12	全國	導入	强	强	强	中	中	適潤	强	陽樹	肥沃地	砂壤	速	普通	弱	强	中	中	實生挿木

7. 도입 관목 (보조수종)

수 종	수형 (m)		뿌리 (m)		분포지	자생여부	내풍성	내습성	호습성	내공해성	내염성	건습성	내한성	음양성	양분도	토성	생장속도	이식성	맹아력	전정내성	활착성	적응성	번식방법
	수고	수관폭	깊이	폭																			
뽕나무	7	5	2	3	全國	導入	强	中	中	强	中	適潤	强	中庸	普通地	壤	急速	容易	强	强	强	强	實生挿木
족제비싸리	3	3	2	2	全國	導入	强	中	中	强	强	適潤	强	中庸	瘠薄地	砂壤	急速	容易	强	强	强	强	實生挿木
무궁화	4	3	2	2	全國	導入	弱	中	弱	强	强	適潤	强	陽樹	肥沃地	壤	速	容易	强	强	强	强	實生挿木
복사나무	4	3	2	2	全國	導入	弱	中	中	中	强	適潤	弱	陽樹	普通地	砂壤	速	容易	强	中	强	弱	挿木接木
앵도	3	2	2	2	全國	導入	强	中	中	中	强	適潤	强	中庸	普通地	砂壤	遲	容易	中	中	强	强	實生分株

부록C 하천구역내 수목의 내력시험

(1) 내력측정 시험목적

내력시험은 실제 우려하고 있는 것과 같이 홍수시 하천내 수목이 쓰러지거나 떠내려갈 가능성이 있는지를 판단할 수 있는 자료를 수집하기 위한 것으로 홍수에 대한 수목의 전단응력이나 인장력을 측정하기 위한 것이다.

(2) 내력시험 장소 선정

- 내력시험 장소의 조건

- ① 현장조사를 통하여 하천내 수목이 많이 있는 곳 : 수종 및 크기 등
- ② 백호우 및 자동차의 접근이 가능한 곳
- ③ 하천관리청으로부터 현장시험의 허락이 가능한 곳
- ④ 하상재료의 다양성

- 선정된 장소

장 소	하상재료	접 근 로	시험가능성	수목의 다양성
구 미	가는모래	양 호	적극 협조	풍 부 함
안 동	모래 및 자갈	가 능	건교부협조	보 통 임
의 령	모래 및 점토	가 능	적극 협조	단 순 함

(3) 현장시험 대상수종 선정

- ① 우리나라 하천내의 대표적 수종인 버드나무류 : 버드나무, 왕버들, 갯버들, 개수양버들, 능수버들, 용버들
- ② 대표적 식재수종 : 이태리포플러, 아카시나무

(4) 현장시험 대상수목의 선정

- ① 흉고직경 : 5, 10, 15, 20, 25, 30cm 의 크기별로 선정
- ② 제방내 위치 : 저수로, 고수부지, 제방법면 등
- ③ 가급적 많은 수목에 대하여 시험

(5) 현장시험 조건의 검토

- ① 토양조건 : 일부 수목에 대해 약 2-3톤의 물을 뿌린후 시험
- ② 흐름방향으로 인장력을 가함

(6) 현장시험 기기

인장계, 로우프 , 톱, 카메라, 줄자 및 스테프, 야장, 백호우

(7) 현장시험 방법의 검토

- ① 시험목에 와이어 로우프를 묶는다
- ② 인장계를 설치하고, 측정자는 좌우측 적정한 곳에 위치한다.
- ③ 인장계와 연결된 와이어로우프를 백호우의 삼에 연결한다.
- ④ 인장력을 가한다.
- ⑤ 시험중 사진 및 비디오를 촬영하며, 인장력을 기록한다.
- ⑥ 나무가 뽑힌 후 뿌리의 형태와 토질상태, 수분상태, 나무가 뽑힌 흔적을 조사하여 야장기록 및 사진촬영을 한다.
- ⑦ 시험목을 제거하고 현장을 정리한다.
- ⑧ 시험결과의 분석

(8) 하천내 수목의 내력측정 시험 결과

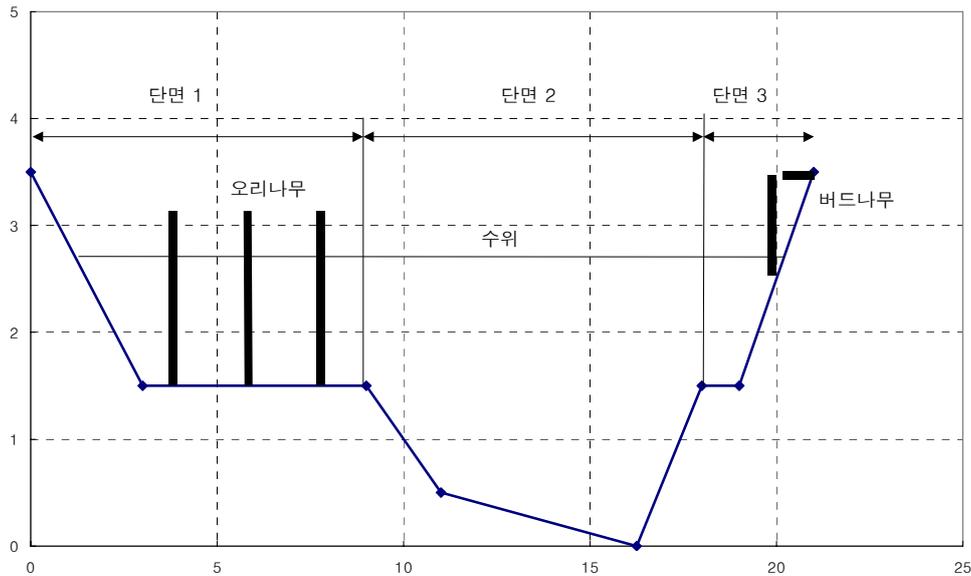
지 역	토 질	회 귀 식	상관계수
구 미	사질토	$Y = 0.20 + 0.218X$	0.627
안 동	사력토	$Y = 0.06 + 0.146X$	0.767
의 령	점성토	$Y = 0.39 + 0.087X$	0.632

Y : 인발강도(ton), X : 흉고직경(cm)

부록D 나무 균락을 고려한 수리계산 예제

(1) [방법-I]에 의한 수리계산 예제

다음 그림과 같은 형상의 하도에서 좌안쪽에는 굵기가 10cm 인 오리나무를 3열로 심고 우안쪽에는 버드나무를 심을 경우 수위상승을 계산하는 예제이다. 계획홍수량은 $Q = 40.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 이며, 조도계수는 전체 단면에 걸쳐서 $n = 0.030$ 으로 일정하며, 하상경사 $S_o = 0.001$ 이다. 각 단면의 마찰저항계수는 f 는 0.17, 0.03, 0.10을 적용하였다.



본문의 제2장의 2.2절에 제시되어 있는 수리계산 방법은 m 개의 단면으로 분할할 경우 다음과 같은 m 개 단면에서의 운동량방정식과 전체 단면에 대한 1개의 연속방정식을 연립하여 풀어야 한다.

$$\frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{2/3}} S_{bi} + \frac{f_i}{g} (u_i - u_{i+1}) |u_i - u_{i+1}| S_i = A_i I \quad (i=1, \dots, m)$$

$$\sum_i^m u_i A_i = Q$$

이상의 비선형 연립방정식을 수계산으로는 풀기는 매우 어렵기 때문에 Newton-Raphson 방법으로 수치계산하는 프로그램을 작성하여 수리계산을 실시하였다.

① 주어진 단면에 대해 수목이 없는 경우의 수리계산

수목이 없는 경우에는 3개의 단면으로 분할할 수 있다. 수치계산 프로그램으로 수리계산을 실시했을 때 분할단면별 유속분포는 다음 표와 같다. 이 때 계산된 계획홍수위는 $h = 2.862 \text{ m}$ 이며, 계산된 유량은 $40.601 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 주어진 제원과 일치한다.

단면번호 제원	1	2	3	계
단 면 적(m ²)	9.561	18.185	2.289	30.035
윤 변(m)	8.455	9.330	2.926	
동수반경(m)	1.131	1.949	0.782	
조 도 계 수	0.030	0.030	0.030	
평균수심(m)	1.362	2.612	1.362	
유 속(m/s)	1.216	1.445	1.178	
유 량(m ³ /s)	11.626	26.278	2.697	40.601

② 주어진 단면에 대해 수목이 있는 경우의 수리계산

오리나무의 직경은 10 cm이며 나무들에 의해 단면1이 네 개의 단면으로 추가 분할하였다. 따라서 전체 단면의 수는 6개가 된다. 이렇게 나무와 나무군락을 고려한 경우, 각 분할 단면별 유속분포는 다음 표와 같다.

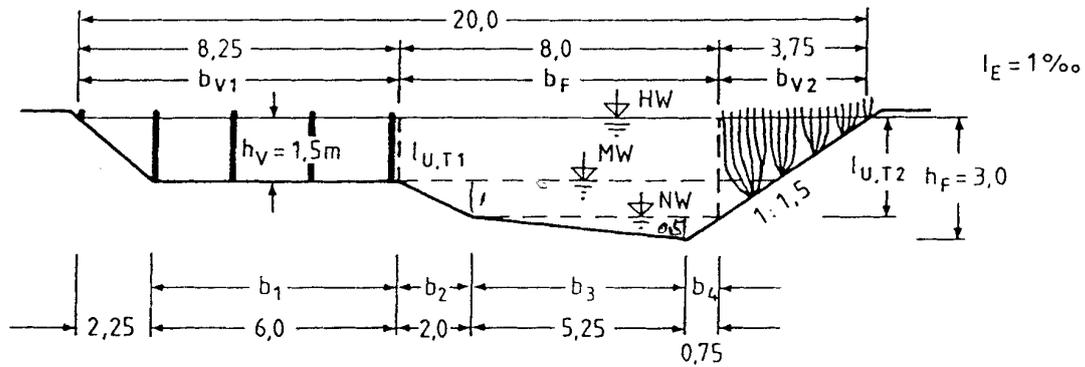
단면번호 제원	1	2	3	4	5	6	계
단 면 적(m ²)	6.159	8.607	8.607	4.167	28.030	4.939	60.509
윤 변(m)	6.606	5.900	5.900	2.900	9.330	3.650	
동수반경(m)	0.932	1.459	1.459	1.437	3.004	1.353	
조 도 계 수	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	
평균수심(m)	2.720	2.720	2.720	2.720	3.970	3.220	
유 속(m/s)	0.208	0.207	0.208	0.588	1.075	0.640	
유 량(m ³ /s)	1.281	1.781	1.790	2.452	30.129	3.160	40.590

③ 계산결과 검토

나무가 없을 때 설계유량이 $Q_{Total} = 40.06 \text{ m}^3/\text{s}$ 인 하천에 나무를 심었을 때 홍수가 나면 계획홍수위가 $h = 2.852 \text{ m}$ 에서 3.396 m 로 0.534 m 의 수위상승이 유발될 것으로 판단된다.

(2) [방법-II]에 의한 수리계산 예제

아래 그림과 같은 단면의 하도에 표와 같은 제원으로 나무를 심는다. 이 단면지점의 계획홍수위가 3.0 m일 때 수위상승을 계산하는 예제이다.



구분	왼쪽 고수부지	저수로	오른쪽 사면
수종	오리나무	-	버드나무
나무굵기	$d_{p,m} = 0.10 \text{ m}$		$d_{p,m} = 0.03 \text{ m}$
나무분포	1그루/4 m^2 $\omega_p = d_{p,m} \cdot D_p = \frac{d_{p,m}}{a_x \cdot a_y}$ $\omega_p = 0.10/4.0 = 0.025 \text{ m}^{-1}$	-	1 그루/0.06 m^2 $\omega_p = 0.03/0.06 = 0.5 \text{ m}^{-1}$
조도계수	$k_{w,v1} = 0.05 \text{ m}$	$k_{w,f} = 0.03 \text{ m}$	$k_{w,v2} = 0.20 \text{ m}$
저항계수	$C_{WR} = 1.5$		$C_{WR} = 1.5$
에너지 경사	$I_E = 1.0 \times 10^{-3}$		

① 저수로 : 나무가 있는 곳과 저수로 분리면에 각각 저항없다고 가정

- 저수로 단면적 : C_{WR}

$$A_F = 8.0 \cdot 1.5 + 1.0 \cdot 0.5(8.0 + 6.0) + 0.5 \cdot 6.0 \cdot 0.5 = 20.5 \text{ m}^2$$

- 윤면 :

$$I_{u,W} = 8.41 \text{ m}; \quad y_{hy,0,W} = A_F / I_{u,W} = 20.5 / 8.41 = 2.44 \text{ m}$$

- 저항계수 :

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda_{0,W}}} = 2 \cdot \lg \left[\frac{14.84 \cdot y_{hy,0,W}}{K_{w,F}} \right] = 2 \cdot \lg \left[\frac{14.84 \cdot 2.44}{0.03} \right] = 6.163;$$

$$\lambda_{0,W} = 0.0263$$

- 분리면에서 발생하는 와류에서 오는 저항계수 : $\lambda_{T1} = \lambda_{T2} = 0.100$ (1차 추정)

- 동수반경은 반대편의 분리면을 고려하여 계산함 :

$$\mathfrak{y}_{hy,0,W1} = A_F / (I_{u,W} + h_{T2}) = 20.5 / (8.41 + 2.50) = 1.88 \text{ m}$$

$$\mathfrak{y}_{hy,0,W2} = A_F / (I_{u,W} + h_{T1}) = 20.5 / (8.41 + 1.50) = 2.07 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \sqrt{\frac{1}{\lambda_{0,W1}}} &= \sqrt{\frac{I_{u,W} + h_{T2}}{\lambda_{0,W} \cdot I_{u,W} + \lambda_{0,W2} \cdot h_{T2}}} \\ &= \sqrt{\frac{10.91}{0.0263 \cdot 8.41 + 0.100 \cdot 2.50}} = 4.82 \end{aligned}$$

$$\lambda_{0,W1} = 0.0432$$

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda_{0,W2}}} = \sqrt{\frac{9.91}{0.0263 \cdot 8.41 + 0.100 \cdot 1.50}} = 5.17$$

$$\lambda_{0,W2} = 0.0374$$

- 저수로의 유속(나무를 심은 고수부지 면적 제외) :

$$\begin{aligned} V_{0,F1} &= \sqrt{\frac{1}{\lambda_{0,W1}}} \cdot \sqrt{8g \cdot \mathfrak{y}_{hy,0,W1} \cdot I_E} \\ &= 4.82 \sqrt{8 \cdot 9.81 \cdot 1.88 \cdot 0.001} = 1.85 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{0,F2} &= \sqrt{\frac{1}{\lambda_{0,W2}}} \cdot \sqrt{8g \cdot \mathfrak{y}_{hy,0,W2} \cdot I_E} \\ &= 5.17 \sqrt{8 \cdot 9.81 \cdot 2.07 \cdot 0.001} = 2.08 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- ② 왼쪽 고수지 : 분리면에 마찰저항이 없다고 가정

$$A_{v1} = 6.0 \cdot 1.5 + 0.5 \cdot 2.25 \cdot 1.5 = 10.69 \text{ m}^2$$

$$I_{u,v1} = 6.0 + \sqrt{2.25^2 + 1.5^2} = 8.70 \text{ m}$$

$$\mathfrak{y}_{hy,v1} = A_{v1} / I_{u,v1} = 10.69 / 8.70 = 1.23 \text{ m (분리면에 마찰저항이 없다고 가정)}$$

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda_{W,v1}}} = 2 \cdot \lg \left[\frac{14.84 \cdot \mathfrak{y}_{hy,v1}}{K_{w,v1}} \right] = 2 \cdot \lg \left[\frac{14.84 \cdot 1.23}{0.05} \right] = 5.13 ;$$

$$\lambda_{W,v1} = 0.0381$$

$$\begin{aligned} V_{a,v1} &= \sqrt{\frac{8g \cdot \mathfrak{y}_{hy,v1} \cdot I_E}{\lambda_{W,v1} + (4C_{WR} \cdot \omega_p \cdot \mathfrak{y}_{hy,v1})}} \\ &= \sqrt{\frac{8 \cdot 9.81 \cdot 1.23 \cdot 0.001}{0.0381 + (4 \cdot 1.5 \cdot 0.025 \cdot 1.23)}} = 0.659 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$Q_{v1} = A_{v1} \cdot V_{v1} = 10.69 \cdot 0.659 = 7.04 \text{ m}^3/\text{s}$$

③ 오른쪽 사면 : 분리면에 마찰없다고 가정

$$A_{V2} = 0.5 \cdot 2.5 \cdot 3.75 = 4.69 \text{ m}^2$$

$$I_{u, V2} = \sqrt{2.5^2 + 3.75^2} = 4.51 \text{ m}$$

$$\gamma_{hy, V2} = A_{V2} / I_{u, V2} = 4.69 / 4.51 = 1.04 \text{ m (분리면에 마찰이 없다고 가정)}$$

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda_{W, V2}}} = 2 \cdot \lg \left[\frac{14.84 \cdot \gamma_{hy, V2}}{K_{W, V2}} \right] = 2 \cdot \lg \left[\frac{14.84 \cdot 1.04}{0.20} \right] = 3.77$$

$$\lambda_{W, V1} = 0.070$$

$$V_{a, V2} = \sqrt{\frac{8g \cdot \gamma_{hy, V2} \cdot I_E}{\lambda_{W, V2} + (4C_{WK} \cdot \omega_p \cdot \gamma_{hy, V2})}}$$

$$= \sqrt{\frac{8 \cdot 9.81 \cdot 1.04 \cdot 0.001}{0.070 + (4 \cdot 1.5 \cdot 0.50 \cdot 1.04)}} = 0.160 \text{ m/s}$$

④ 분리면에서 와류로 인한 마찰저항계수

• 왼쪽 분리면에 의한 와류 저항계수 λ_{T1} 계산;

$$b_{F1} = A_F / h_{T1} = 20.5 / 1.5 = 13.7 \text{ m (주 하도 폭)}$$

$$b_{M1} = 3.2 \cdot \sqrt{a_{x1} \cdot d_{p1}} = 3.2 \cdot \sqrt{2.0 \cdot 0.10} = 1.43 \text{ m (나무 뒤의 와류 길이)}$$

$$b_{M1} < a_{y1} = 2.0 \text{ m} \rightarrow b_{m1} = b_{M1} = 1.43 \text{ m}$$

$$b_{m1} > 0.15 \cdot h_{T1} \rightarrow b_{m1} = b_{M1} = 1.43 \text{ m}$$

$$\lambda_{T1} = 4 \left[\lg \frac{V_{o,F}}{V_{o,V}} \right]^2 \cdot \frac{\gamma_{hy,V} \cdot b_m}{h_T \cdot b_F} = 4 \left[\lg \frac{1.85}{0.659} \right]^2 \cdot \frac{1.23 \cdot 1.43}{1.50 \cdot 13.7}$$

$$\lambda_{T1} = 0.069 \neq 0.100 \text{ (가정한 값과 틀림, } \lambda_{T1} \text{ 값은 새로 계산 요망)}$$

• 오른쪽 분리면에 발생하는 와류의 저항 λ_{T2} 계산

$$b_{F2} = A_F / h_{T2} = 20.5 / 2.5 = 8.20 \text{ m (영향을 받는 하폭)}$$

$$b_{N2} = 3.2 \cdot \sqrt{a_{x2} \cdot d_{p2}} = 3.2 \cdot \sqrt{0.30 \cdot 0.03} = 0.304 \text{ m (나무 뒤의 와류 길이)}$$

$$b_{N2} > a_{y2} = 0.20 \text{ m} \rightarrow b_{m2} = 0.20 \text{ m}$$

$$b_{m2} < 0.15 \cdot h_{T2} \rightarrow b_{m2} = 0.15 \cdot h_{T2} = 0.15 \cdot 2.5 = 0.375 \text{ m}$$

$$\lambda_{T2} = 4 \left[\lg \frac{V_{o,F}}{V_{o,V}} \right]^2 \cdot \frac{\gamma_{hy,V} \cdot b_m}{h_T \cdot b_F} = 4 \left[\lg \frac{2.08}{0.160} \right]^2 \cdot \frac{1.04 \cdot 0.375}{2.50 \cdot 8.20}$$

$$\lambda_{T2} = 0.0944 \approx 0.100 \text{ (저항계수의 오차는 } \pm 10 \% \text{ 범주내에 정확성 충분함)}$$

- λ_{T1} 값이 계산치와 추정치가 심한 오차를 나타내므로 새로 계산한다. 이 때는 계산한 $\lambda_{T1} = 0.069$ (앞의 계산 참고)을 이용하여 분리면의 실제값에 수렴시킨다. 새 계산에 넣을 저수로의 변수는 그대로 사용한다.

$$\begin{aligned}\sqrt{\frac{1}{\lambda_{0,W2}}} &= \sqrt{\frac{I_{u,W} + h_{T1}}{\lambda_{0,W} \cdot I_{u,W} + \lambda_{0,T1} \cdot h_{T1}}} \\ &= \sqrt{\frac{9.91}{0.0263 \cdot 8.41 + 0.069 \cdot 1.50}} = 5.52\end{aligned}$$

$$\lambda_{0,W2} = 0.0328$$

$$\begin{aligned}V_{0,F2} &= \sqrt{\frac{1}{\lambda_{0,W2}}} \cdot \sqrt{8g \cdot \gamma_{hy,0,W2} \cdot I_E} \\ &= 5.52 \sqrt{8 \cdot 9.81 \cdot 2.07 \cdot 0.001} = 2.22 \text{ m/s}\end{aligned}$$

$$\lambda_{T2} = 4 \left[\lg \frac{V_{0,F}}{V_{0,V}} \right]^2 \cdot \frac{\gamma_{hy,V} \cdot b_m}{h_T \cdot b_F} = 4 \left[\lg \frac{2.22}{0.160} \right]^2 \cdot \frac{1.04 \cdot 0.375}{2.50 \cdot 8.20}$$

$$\lambda_{T2} = 0.993 \approx 0.100$$

- 저수로에 양쪽 분리면의 와류 저항계수를 감안한 유속계산을 위한 전체 저항계수 λ_{ges} 를 반복계산한다.

⑤ 저수로의 동수반경

$$\gamma_{hy,F} = A_F / (I_{u,W} + h_{T1} + h_{T2}) = 1.652 \text{ m}$$

1차 계산

$$\gamma_{hy,W}(1) = \gamma_{hy,F} = 1.652 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\sqrt{\frac{1}{\lambda_W}} &= 2 \cdot \lg \left[\frac{14.84 \cdot \gamma_{hy,W}}{K_{w,F}} \right] = 2 \cdot \lg \left[\frac{14.84 \cdot 1.652}{0.03} \right] \\ &= 5.82\end{aligned}$$

$$\lambda_W(1) = 0.0295$$

2차 계산 ;

$$\begin{aligned}\gamma_{hy,W}(2) &= \frac{\lambda_W \cdot A_F}{\lambda_W \cdot I_{u,W} + \lambda_{T1} \cdot h_{T1} + \lambda_{T2} \cdot h_{T2}} \\ &= \frac{0.0295 \cdot 20.5}{0.0295 \cdot 8.41 + 0.069 \cdot 1.50 + 0.099 \cdot 2.50} = 1.01 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sqrt{\frac{1}{\lambda_W}} &= 2 \cdot \lg \left[\frac{14.84 \cdot \gamma_{hy,W}}{K_{w,F}} \right] = 2 \cdot \lg \left[\frac{14.84 \cdot 1.01}{0.03} \right] \\ &= 5.40\end{aligned}$$

$$\lambda_W(2) = 0.343$$

3차

$$\gamma_{hy,W}(3) = 1.099 \text{ m}, \lambda_W(3) = 0.0334$$

4차

$$\gamma_{hy,W}(4) = 1.083 \text{ m}, \lambda_W(4) = 0.0336$$

5차

$$\gamma_{hy,W}(5) = 1.087 \text{ m}, \lambda_W(5) = 0.0335 \approx \lambda_W(4)$$

⑥ ⑤에서의 동수반경을 이용하여 저수로 단면에 적용할 전체 저항계수

$$\begin{aligned} \sqrt{\frac{1}{\lambda_{ges}}} &= \sqrt{\frac{I_{u,W} + h_{T1} + h_{T2}}{\lambda_W \cdot I_{u,F} + \lambda_{T1} \cdot h_{T1} + \lambda_{T2} \cdot h_{T2}}} \\ &= \sqrt{\frac{8.41 + 1.50 + 2.50}{0.0335 \cdot 8.41 + 0.069 \cdot 1.50 + 0.099 \cdot 2.50}} = 4.44 \end{aligned}$$

$$\lambda_{ges} = 0.0510$$

$$\begin{aligned} V_F &= \sqrt{\frac{1}{\lambda_{ges}}} \cdot \sqrt{8g \cdot \gamma_{hy,F} \cdot I_E} \\ &= 4.43 \sqrt{8 \cdot 9.81 \cdot 1.652 \cdot 0.001} = 1.595 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$Q_F = V_F \cdot A_F = 1.60 \cdot 20.5 = 32.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Total}} = Q_F + Q_{V1} + Q_{V2} = 32.3 + 7.04 + 0.75 = 40.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

- 나무가 있는 상태에서 상기 단면에 $Q_{\text{Total}} = 40.6 \text{ (m}^3/\text{s)}$ 가 흐르고 있다. 만약 나무나 나무 군락이 있을 경우에 수면위치를 계산하게 되면 나무와 나무 군락의 유무에 대하여 수면 상승을 분석할 수 있다.

⑦ 나무가 없는 상태의 유량 계산

- 주어진 유량 : $Q_{\text{Total}} = 40.6 \text{ m}^3/\text{s}$
- 본 계산에서는 경사면과 하상을 같은 조도로 가정한다.
- $k = 0.05 \text{ m} \rightarrow k_{sl} = 33$ (자연하상과 고수부지 및 경사면에 잡초 형성)
- 에너지 경사 : $I_E = 1.0\%$

⑧ 계산결과 검토

계산결과는 다음 표에 보인 바와 같이 나무가 없을 때 설계유량이 $Q_{\text{Total}} = 40.82 \text{ m}^3/\text{s}$ 인 하천에 나무를 심었을 때 홍수가 나면 수면이 0.30 m 정도 상승할 것이다.

하천 고수부지 식재조건	하상과 고수부지의 조도	유속 (m/s)		유량 (m ³ /s)	수심 (m)	수위차 (m)
		고수 부지	저수로			
식재 이전	하상 자연하천, 우변과 고수부지에는 잡초가 우 거짐 $k_{st} = 33$ (a값 포함됨)	1.054	1.447	40.82	저수로 2.70, 고수부지 1.20	0.30
우측 사면 : 버드나무 군락 좌측 고수부지 : 오리나무 저수로 : 나무 없음	k (분리면) = 0.05 m = $k_{w, v1}$ k (경사면) = 0.20 m = $k_{w, v2}$	0.659	1.595	40.6	저수로 3.00, 고수부지 1.5	