

山地急流小河川에 있어서 河床微地形과 流木 特性^{1*}

全權雨² · 金玟植² · 朴完根² · 江崎次夫³

Characteristics of Channelbed and Woody Debris on Mountainous Stream^{1*}

Kun-Woo Chun², Min-Sik Kim², Wan-Geun Park² and Tsugio Ezaki³

要 約

流木 對策에 필요한 기초 자료를 얻기 위해 山地急流小河川에 있어서 流木의 발생, 이동 및 滯留에 영향을 미치는 河床微地形의 특성과 流木의 본수, 크기, 형태, 腐朽度, 滯留 方向 및 종류 등의 流木 特性을 파악하였다.

1. 流木의 滯留 本數는 河幅에 비례하여 증가하는 경향이 나타났으나 하천의 중단 물매에는 크게 영향을 받지 않았다. 특히 擴幅部에서도 複數 流路가 발달된 구간을 중심으로 다량의 流木이 滯留하고 있었으며, 現流路보다는 河床堆積地에 주로 滯留하고 있었다.
2. 조사 대상인 직경 10cm 이상, 길이 2m 이상의 流木은 총 402개로 100m당 滯留 本數는 35.3개였다. 또한 流木의 평균 길이와 흉고직경은 각각 4.0m, 14.0cm였으며, 구간별 流木의 크기는 하류로 갈수록 길이가 짧아지고 직경이 커지는 경향이 나타났다.
3. 流木이 이동할 때에는 土石流나 粗度가 큰 河床 材料와 접촉되기 때문에 下流 區間과 일부 上流 區間에서 뿌리가 없는 流木이 다수 발견되었으며, 上流 區間에서도 流木의 원형이 크게 손상된 경우가 많았다. 또한 流木의 腐朽度는 하류로 갈수록 심했으며, 하류의 일부 구간에는 腐朽가 상당히 진행된 流木이 발견되어 이전에도 流木이 滯留하고 있었던 것이 확인되었다.
4. 流木의 滯留 方向은 流心에 평행하여 滯留하는 경우와 직각으로 滯留하는 경우가 각각 276 : 126으로 流心에 평행하여 滯留하는 경우가 많았다. 그러나 일부 구간에는 流心에 직각 방향으로 滯留하는 流木이 다수 분포하여 流木 자체가 불안정할 뿐 아니라 移動 土砂가 滯留되기 쉬우므로 이에 대한 대책이 마련되어야 할 것이다.
5. 流木의 종류는 침엽수인 일본잎갈나무가 전체 流木중 약 2/3에 해당하는 256본을 차지하고 있었다. 그러나 일본잎갈나무의 경우 지상부에 비해 지하부가 빈약하기 때문에 河床 材料의 작은 충격이나 소규모의 河床變動에 의해서도 유출되기 쉬우므로 河岸林의 수종으로 선택할 경우에는 신중을 기해야 할 것이다.

ABSTRACT

The purpose of this study is to acquire essential data to reduce the amount of woody debris resulted

¹ 接受 1997年 1月 6日 Received on January 6, 1997.

² 江原大學校 山林科學大學 林學科 Department of Forestry, College of Forestry Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.

³ 日本, 愛媛大學 農學部 附屬演習林 University of Forest, College of Agriculture, Ehime University, Matsuyama, Ehime 790, Japan.

* 이 논문은 農林水産特定研究課題 尖端農業技術開發事業에 의해 진행된 연구과제 「環境生態의 기준에 근거한 多目的 國有山林資源 管理體系의 開發」의 세부과제인 「都市流域林의 水資源 管理 및 毀損地 防止를 위한 管理 對策」의 연구 결과의 일부임.

from the debris flow. This research examined topographic characteristics of the channelbed affecting generation, movement and storage of woody debris and woody characteristics related to number, sizes, shapes, decay, storage direction to mountainous stream.

1. The number of woody debris had a tendency to increase in proportion to stream width, but it was hardly affected by longitudinal gradient of stream. Especially, the greater amount of woody debris was stored at wide section of the stream with compound channel, and it was found in deposits of channelbed rather than in the present channel.
2. Total woody debris over 10cm in diameter and over 2m in length was 402 units and storage number was 35.3 units per 100m of stream. Average diameter of breast height and length were 14cm and 4m, respectively. The woody debris appeared shorter in length and greater in diameter at down-stream than up-stream.
3. Since woody debris met sediments and bed-materials of great roughness in moving, the greater amount of woody debris without root was found in up-stream and down-stream, but deformed woody debris was discovered in upper stream. Decay of woody debris was more severe in down-stream and woody debris on rotting process was found down-stream.
4. Storage direction of woody debris was mainly parallel to center line of stream, and rate of parallel and perpendicularity was 276 and 126 units, respectively. But, as woody debris storing to the perpendicular direction was unstable, the traveling debris could easily be stored. Therefore, some counterplan was required to prevent the traveling woody debris.
5. Tree species of woody debris was mainly larch, which occupied about two third of total woody debris(256 units). The woody debris of larch is easy to move due to hitting of channelbed materials or lower channelbed fluctuation because the lower part of larch is weaker than its upper part. Therefore, the section of the tree species planting in the riparian vegetation needs much more carefulness.

Key words : woody debris, stream width, longitudinal gradient, cross-sectional view, length and diameter, shape and decay, storage direction.

緒 論

1996년 7월 26일부터 28일까지 江原·京畿 中北部를 중심으로 최고 600mm의 집중호우가 내려 각지에서 침수, 하천 범람 및 산사태로 인한 많은 인명과 재산 피해가 발생하였다. 특히 江原道 華川地域에서도 423mm의 집중호우에 의해 浸水 및 土砂 災害뿐만 아니라 流木에 의한 재해가 발생하였으며(全權雨 등, 1996), 이는 주로 山地急流小河川 주변부에 조성되어 있는 河岸林으로부터 집중호우에 의한 수위 상승, 土石流 및 河岸 崩壞 등이 원인이 되어 생산, 이동 및 滯留한 것이다. 즉 流木이 土砂나 流水와 함께 下流로 流下하여 河道의 狹窄部나 교각 사이를 메움으로서 土石流나 홍수 범람을 助長하였으며, 이로 인해 교량이 유실되거나 하천 주변의 가옥, 도로, 철도 및 인명 등에 막대한 피해가 발생하였다. 이번 집중호우에 의해 민간인만도 사망 9

명, 실종 4명, 부상 2명으로 15명의 인명 피해가 있었고, 총 2,701세대, 9,703명의 이재민을 발생시킨 가운데 중앙합동조사반의 조사에 의하면 2,624억원의 재산 피해가 발생하였다(江原道災害對策本部, 1996). 특히 피해 지역은 소위 接敵地域으로 모든 면에서 투자가 소홀했던 지역이므로 洪水 災難 管理, 洪水 豫·警報體制는 물론 기본적인 기상관측 시설도 빈약한 지역이라 피해가 극심하였다.

따라서 홍수 재해 취약 지역을 일제히 점검하여 하천 정비 강화, 제방 보강 및 각종 하천 공작물의 안전 확인등 종합적이고 항구적인 治水對策을 수립해야 한다. 또한 중·소규모의 유역에 洪水 豫·警報體制를 확보하고 정확한 降雨豫報를 위한 첨단 洪水 豫·警報施設의 확충에 과감하게 투자해야 하며, 효율적이고 체계적인 홍수 재난 관리를 위해 災害 豫防에 대한 연구는 물론 지속적인 교육 훈련을 통해 재난 관리 요원을 전문화해야 할 것이다.

이와 같이 流木은 土石流와 함께 홍수의 파괴 규모를 증가시키는 중요한 요인인데 비해 우리나라에서는 이에 대한 피해 사례나 대책에 관한 연구 결과가 보고되지 않으나 외국의 경우에는 流木의 發生, 移動 및 堆積 機構(水原, 1973, 1974; 水原와 武居, 1980; 水山 등, 1985; 清水 등, 1985; Lienkaemper와 Swanson, 1987; 石川 등, 1989, 1991, 1994; McDade 등, 1990; 中川 등, 1991, 1992; 中村와 Swanson, 1992), 流木이 土砂 滯留에 미치는 영향(Robison와 Beschta, 1990; Nakamura와 Swanson, 1993; 笠井와 丸谷, 1994; 丸谷와 笠井, 1995), 流木의 被害 實態 調査(水原, 1979; 石川, 1990, 1992; 水山 등, 1991), 각종 流木 對策工의 效果(岩崎, 1960; 水原, 1975, 1976; 小野寺와 東, 1978; 水原 등, 1980; 水山 등, 1989, 1990; 石川, 1990; 松村 등, 1990; 水山, 1992), 流木의 移動 및 滯留에 대한 模型 實驗(瀨尾 등, 1984; 石川 등, 1990; 中川 등, 1991, 1992; 藤田 등, 1992) 등에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있다.

이 연구는 우선 流木에 의한 피해 형태 및 발생 원인을 개괄적으로 파악하고, 流木 피해지의 일부 구간을 대상으로 河床微地形 및 流木의 特性에 대하여 조사·분석하였다. 즉 山地急流小河川에 있어서 流木의 발생, 이동 및 滯留에 영향을 미치는 河幅, 縱斷물매 및 橫斷 形狀 등의 河床微地形 特性과 流木의 본수, 크기, 형태 및 腐朽度, 滯留 방향 및 종류 등의 流木 特性을 파악하여 합리적인 流木 對策 樹立에 필요한 기초 자료를 제공하는 것을 목적으로 진행하였다.

研究 方法

流木에 관한 계통적 연구를 위해서는 우선 流木에 의한 피해 실태를 정확히 파악할 필요가 있으며, 流木 災害의 방지·경감을 위해서는 流木의 發生源 및 滯留 상황의 정확한 파악과 지속적인 관찰에 의한 대책 마련이 필요하므로 다음과 같이 조사 대상지를 선정하여 상세한 조사를 실시하였다.

1. 調査地 概要

조사 대상 山地急流小河川은 華川郡 일대를 流下하는 北漢江의 支流인 峰吾川의 3次流로 행정

구역상으로는 江原道 華川郡 上西面 多木리에 위치한다(그림 1). 이 山地急流小河川은 금년도 집중호우에 의한 土砂流出로 막대한 재산과 인명 피해를 발생시킨 華川郡 史內面 明月里와 華川郡 上西面 多木리의 경계인 실내 고개(788.5m)를 水源發生源으로 하여 약 27km를 남동진하면서 華川郡 華川面 上里에서 馬峴川과 합류한 후 華川橋 부근에서 北漢江에 유입한다.

조사 대상 구간은 主流路長 1.14km, 流域 面積 41.25ha로 平均 河床 縱斷물매 13° 17', 河道幅 8.8~49.6m, 總起伏量 277m, 平均 流路幅 2.0m이며, 兩岸에는 중·소규모의 河岸崩壞地가 다수 분포하고 있다. 특히 下流 地域의 河川敷地에 일반국도 56호선이 개설된 것과 유역 면적에 비해 도로를 횡단하는 컬버트의 규모(길이 3m×높이 2m×2개)가 너무 작기 때문에 이번의 집중호우에 의해 流木이 발생하자 곧 매몰되어 流水가 越流함으로서 도로가 流路化하여 도로 유실 및 도로 주변부의 가옥 및 인명 피해가 크게 발생하였다.

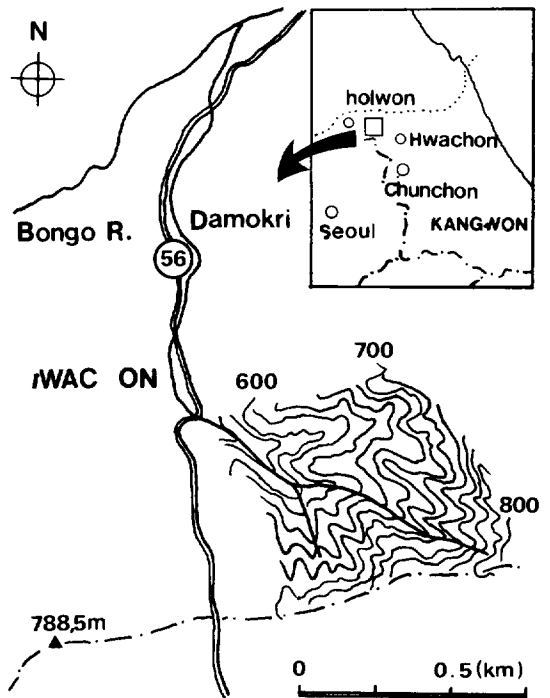


Fig. 1. Locations of study site in the Damokri drainage basin, Hwachon prefecture.

2. 現地 調査

現地 調査는 우선 집중호우가 발생한 직후인 1996년 7월 31일에 華川郡 일대를 현지 답사하여 사진 촬영을 실시하였고, 응급 복구가 끝난 10월 4일, 18일, 23일과 26일에 河床微地形 및 流木에 대한 상세 조사를 실시하였다.

河床微地形은 河床變動에 따른 流木 移動을 지속적으로 파악하기 위해 河道의 縱·橫斷面圖 및 平面圖를 작성하였을 뿐 아니라 이를 定量化하기 위해 定點 測量을 실시하였다. 또한 流木 調査는 현지에서 직접 측정하였으며, 각 구간마다 사진 촬영 및 현장 스케치를 실시하여 관독 자료로 사용하였다.

조사 대상 流木은 도로 파괴, 천연 댐 형성 및 각종 河床 材料의 이동에 직·간접적으로 관여하는 규모인 직경 10cm 이상, 길이 2m 이상을 대상으로 하였으며, 구체적인 조사 항목은 流木의 길이, 흉고직경 또는 평균 직경, 流木의 滯留 방향과 滯留 場所, 流木 形態, 腐朽度 및 流木의 종류 등이다(全權雨 등, 1996).

流木에 의한 被害 形態 및 發生 原因

1. 流木에 의한 被害 形態

流木에 의한 피해 형태는 ①流木이 교량, 컬버트, 수로 등을 매몰시키므로써 土石流나 流水가 河道를 넘쳐 주변의 주택이나 각종 시설에 피해를 주는 경우, ②流木이 교량을 매몰하여 상류의 土石流나 수위가 상승하므로써 流體力이나 수압이 증가하여 하천 공작물이 유실되는 경우, ③취수 댐이나 放水路의 取水口를 流木이 매몰하여 取水 및 防水 機能을 저하시키는 경우, ④土砂調節을 목적으로 하는 透過型 砂防댐의 슬리트부를 막아 土砂의 調節機能을 저하시키는 경우, ⑤流木의 충돌·충격력에 의해 주택 혹은 하천에 설치되어 있는 구조물 등이 파괴되는 경우, ⑥저수지 등에 유출된 流木이 沈積한 후, 부패하여 수질이나 경관을 손상시키는 경우 등으로 구분되나(石川 등, 1989), 이번 집중호우에서는 ①, ②, ③ 및 ⑤와 같은 유형의 流木 災害가 다량으로 발생하였다(全權雨 등, 1996).

2. 流木의 發生 原因

流木의 발생 원인은 순수한 자연현상에 의한

경우와 인위적인 요인에 의한 경우로 크게 구분할 수 있다. 자연현상에 의한 경우는 流木이 직접 河道에 유실되는 경우와 과거의 到木이 유출되는 경우가 있으며, 인위적 요인이 가해진 경우는 伐·原木이 유출하는 경우와 用材가 유출되는 경우가 있다. 즉 流木이 직접 유출되는 경우는 ①비탈면 붕괴에 의해 立木이 滑落하는 경우, ②土石流에 의해 立木이 滑落하는 경우, ③土石流에 의해 河岸 및 河床이 浸蝕되어 立木이 유출되는 경우, ④홍수에 의해 河岸 및 河床이 浸蝕되어 立木이 流出되는 경우 등이며, 과거의 到木이 유출되는 경우는 ⑤병충해나 태풍에 의해 발생한 到木이 하류로 유출되는 경우, ⑥과거에 유출되어 河床에 퇴적하거나 河床堆積物속에 매몰해 있던 流木이 土石流나 홍수에 의해 하류로 유출되는 경우, ⑦논사태에 의해 발생한 到木이 土石流나 홍수에 의해 하류로 유출되는 경우, ⑧화산 분화에 의해 생긴 到木이 土石流나 홍수에 의해 하류로 유출되는 경우가 있다. 또한 伐·原木의 유출은 ⑨방치된 伐木이나 간벌재가 비탈면 붕괴, 土石流 및 홍수 등에 의해 유출되는 경우, ⑩集積한 목재가 비탈면 붕괴, 土石流 및 홍수 등에 의해 유출되는 경우, ⑪표고 원목이 비탈면 붕괴, 土石流 및 홍수 등에 의해 유출되는 경우가 있으며, 用材 유출은 주로 土石流, 홍수에 의해 ⑫가옥이 파괴되어 그 파손재가 유출되는 경우, ⑬교량이 유출되는 경우, ⑭電柱가 유출되는 경우도 있다. 한편 流木의 발생 장소는 자연현상에 의한 경우는 주로 山地急流小河川의 中·上流域에서 발생하는데 비해 인위적 요인이 가해진 경우는 中·下流域에서 발생하고 있다(石川, 1994).

우리 나라의 경우는 ①에 대한 부분적인 피해가 보고되어 있을 뿐(全權雨, 1990) 본격적으로 流木에 대해 보고된 예는 거의 없는 실정이나 이번의 집중호우에서는 ⑦, ⑧과 같은 일부의 경우를 제외한 모든 형태의 피해가 발생하였으므로 流木에 대한 전반적인 대책이 마련되어야 할 것이다.

結果 및 考察

流木은 流體力, 크기, 自重 및 形狀 등의 流木 特性과 河床을 구성하고 있는 土石, 잡목, 장애물 등과 같은 저항 물질의 형상 및 河床微地形에

지배되므로 이를 해석하기 위해 다음과 같이 河床微地形과 流木の 특성을 파악하였다.

1. 河床微地形과 流木の 滯留

1) 河幅과 流木 滯留

流木이 주로 滯留하는 장소는 평면적으로 볼 때 합류 지점의 河床과 河岸, 巨石 또는 林木에 의해 형성된 狹窄部, 砂防 댐의 堆砂地, 河道 曲流部の 바깥쪽, 架橋 地點 및 河床 材料의 粗度가 큰 擴幅部등이며, 이 중에서도 山地急流小河川의 경우는 河道 擴幅部の 出口, 河道 狹窄部の 入口 및 河岸崩壞地의 말단부에 주로 滯留하고 있다(淸水 등, 1985).

조사 결과, 각 구간별 河幅은 그림 2에서 알 수 있듯이 상류로 갈수록 河幅이 감소하는 일반적인 경향은 나타나지 않았다. 즉 下流의 측선 1~3구간은 도로 개설에 따라 인위적으로 河道를 정비하여 河幅이 축소되었기 때문이며, 중·상류의 일부 구간에서는 支流와의 합류 지점을 중심으로 河幅이 확대되고 있기 때문이다. 각 구간에 있어서 河幅과 流木の 滯留와의 관계는 주로 河道의 平面 形狀에 영향을 받아 擴幅部인 측선 4, 26, 30, 31 및 32구간, 합류 지점인 측선 3, 10, 15, 19 및 26구간에 다량으로 滯留하고 있었으며, 특히 擴幅部에 있어서도 複數 流路가 발달한 측선 26, 30 및 31을 중심으로 다량의 流木이 滯留하고 있었다.

따라서 전체적으로는 河幅에 비례하여 流木の 滯留 本數가 증가하는 경향이 나타났다. 즉 複數 流路가 발달된 擴幅部를 중심으로 다량의 流木이 滯留하고 있었으며, 이는 河幅이 河床의 각종 이

동 물질의 滯留에 크게 영향을 미치고 있다는 연구 결과(淸水, 1983; Araya, 1986; 全權雨, 1988; 中村, 1990)와 같이 擴幅部가 土石流는 물론 流木の 滯留에도 시·공간적으로 크게 영향을 미치고 있으므로 流木 對策을 수립할 때에는 중요한 防災 空間으로 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

2) 縱斷물매와 流木 滯留

각 측선 간의 평균 縱斷물매는 그림 3에서 알 수 있듯이 4° 30'~28°로 다양했으며, 전체 조사구간의 平均 縱斷물매는 13° 17'였다. 河床의 縱斷물매 분포 상황은 상류로 갈수록 縱斷물매가 급해져 山地急流小河川의 전형적인 형태가 잘 나타났으나 擴幅部와 支流와의 합류 지점을 중심으로 완만해 지는 구간도 분포하고 있었다.

한편 縱斷물매와 流木の 滯留 本數와는 縱斷물매가 증가할수록 流木 本數가 감소한다는 일반적인 경향은 명확히 나타나지는 않았다. 즉 그림 3에서 알 수 있듯이 비교적 縱斷물매가 급하게 조성되어 있는 측선 10, 26, 30 및 31에서 다량의 流木이 滯留하고 있었으며, 물매가 완만한 측선 2, 9, 및 11측선에는 流木이 전혀 滯留하지 않아 河幅에 비해 縱斷물매는 流木の 滯留에 크게 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있었다.

3) 河川의 橫斷 形狀과 流木の 分布

일반적으로 하천의 擴幅部에는 모자이크 형상의 河岸林 林分이 발달하고 있으므로 流路 變化에 의해 土石流 및 流木の 生産源이 되기도 하며(淸水, 1983; 全權雨, 1988; 中村, 1990), 舊流路 주변부는 水深 및 水勢가 감소되므로 상류로부터 유송되어 온 流木의 분산·퇴적이 助長되어 滯留

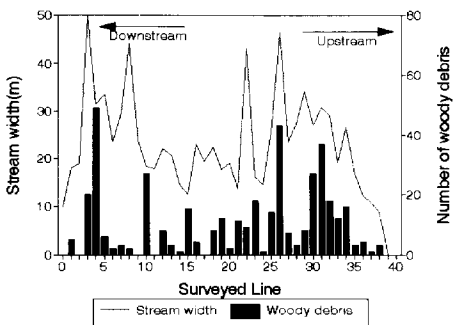


Fig. 2. Variation of stream width and number of woody debris in each surveyed lines.

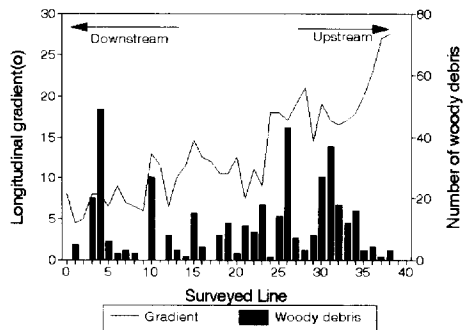


Fig. 3. Variation of longitudinal gradient and number of woody debris in each surveyed lines.

하게 된다. 특히 曲流部에서는 바깥쪽에 河床堆積地가 발달하기 때문에 상류에서 流下한 流木이 주로 바깥쪽의 高水敷地에 滯留하고 있으며, 이후의 집중호우 시에는 이 부분이 攻擊斜面이 되므로 流木이 재 이동하기 쉽다.

조사 결과, 流木의 대부분이 現流路보다는 河床堆積地에 주로 滯留하고 있었으며, 河床을 擴幅部와 狹窄部로 구분해 볼 때 河床形態에 따라 상이한 滯留樣相이 나타났다. 즉 그림 4에서 알 수 있듯이 河床의 橫斷起伏이 풍부하고 擴幅部에 해당하는 측선 24~28에서는 상류의 일부를 제외하고 대부분의 流木이 河床堆積地에 滯留하고 있었으나 橫斷起伏이 적고 狹窄部에 해당하는 측선 10~14에서는 상대적으로 現流路안에 滯留하고 있는 流木이 많았다.

2. 流木의 特性 把握

원래 流木 對策을 수립하기 위해서는 모든 流木에 대한 상세한 조사가 이루어져야 하나 河道內에 분포하는 流木 전체를 파악하는 것은 실제

로 곤란하므로 河床變動에 크게 영향을 미치는 일정 크기의 流木을 대상으로 분수, 크기, 형태, 腐朽度, 滯留 방향 및 流木의 종류에 대하여 조사하였다.

1) 流木의 분수와 크기

道路와 河川 工作物 파괴, 천연 댐 형성 및 河床 材料의 이동 등에 크게 영향을 미치는 직경 10cm, 길이 2m 이상의 流木을 조사한 결과, 조사 대상 구간에 滯留하고 있는 流木의 총 분수는 402본이었으며, 이를 100m당 滯留 本數는 환산하면 35.3본이 되어 流木 被害가 다양으로 발생하고 있는 일본의 14.7본(清水 등, 1983)과 미국의 18.3본(中村와 Swanson, 1992)에 비교하여 많은 양의 流木이 滯留하고 있었다. 流木의 크기는 그림 5에서 알 수 있듯이 流木의 길이의 경우 $L_{mean}=4.0m$, $L_{max}=27.0m$, $L_{min}=2.0m$ 였으며, 흉고직경 및 평균 직경은 $D_{mean}=14.0cm$, $D_{max}=60.0cm$, $D_{min}=10.0cm$ 로 일본의 조사결과(水原, 1979)와 비교하여 流木의 평균 길이는 4.0m : 4.4m로 별 차이가 없었으나 직경면에서는 14.0

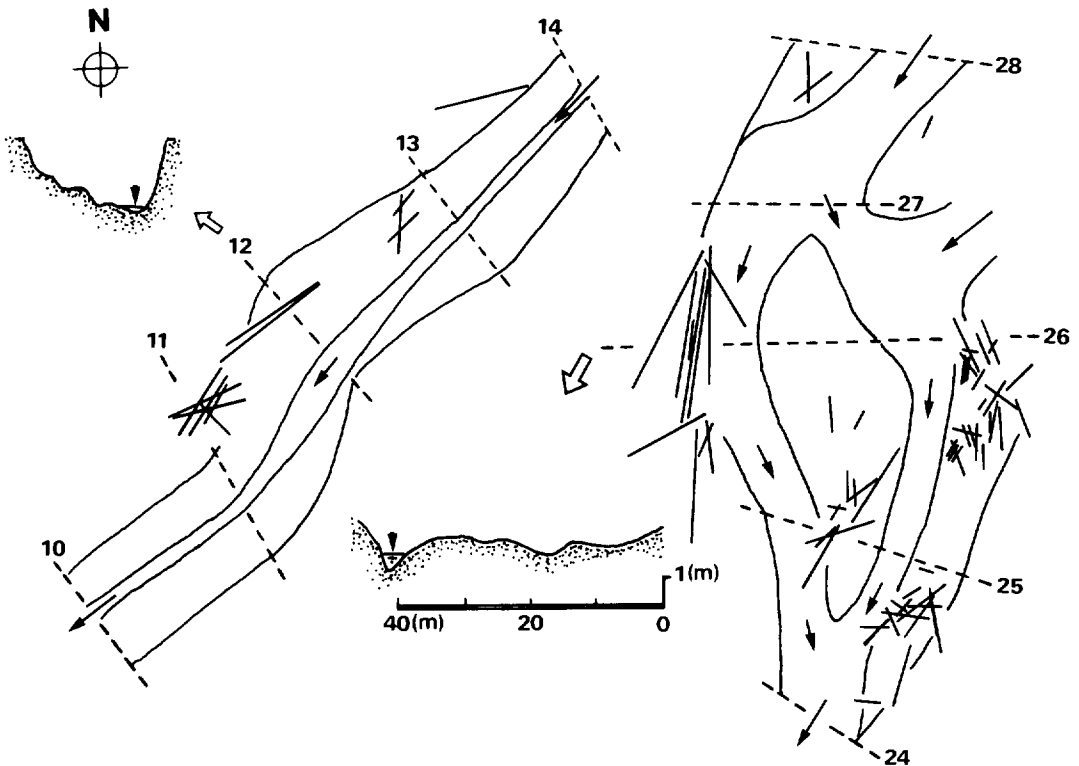


Fig. 4. Distribution of woody debris and cross-sectional view in surveyed line 24~28 and 10~14.

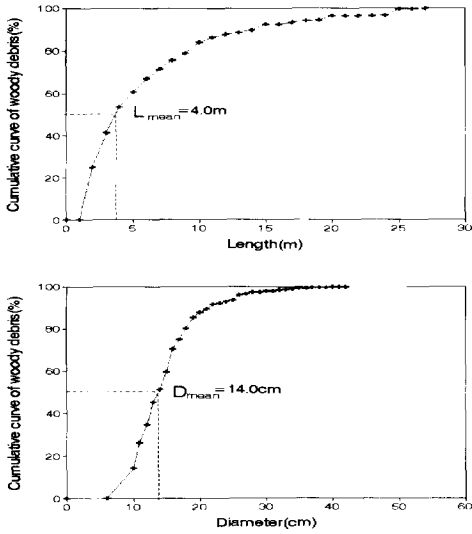


Fig. 5. Cumulative curve of length and diameter of woody debris in investigated sites

cm : 41.1cm로 차이가 크게 나타났다.

한편 각 구간에 있어서 流木의 길이는 그림 6의 (a)와 (b)에서 알 수 있듯이 침엽수인 경우에 중·상류의 流木에 비해 下流에 滯留하고 있는 流木의 길이가 짧았으나 활엽수의 경우에는 차이가 거의 나타나지 않았으며, 流木의 직경은 그림 6의 (c)와 (d)와 같이 流木의 종류와 滯留 구간에 상관없이 일정하게 나타났다. 즉 침엽수의 대부분을 차지하고 있는 일본잎갈나무가 활엽수인 참나무류에 비해 強度面에서 떨어지므로 이동 거리에 비례하여 손상을 입었으며, 그 결과 그림 6의 (a)에서 알 수 있듯이 하류의 流木의 길이가 5.0m이하로, 중·상류는 15.0m 전후로 차이가 크게 나타났다. 이는 각 측선에 분포하고 있는 流木이 그 구간을 流下한 流木을 대표한다고 가정할 경우, 이동 거리에 따라 침엽수가 河岸, 河床, 土砂 및 流木과의 충돌 기회가 증가하여 길이 면에서 크게 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

2) 流木의 形態 및 腐朽度

流木이 하류에 운반되어 滯留하는 과정에서 발생하는 형태 변화를 파악하기 위해 현지 조사시에 流木의 형태를 크게 ①뿌리, 줄기, 가지, 잎이 붙어 있는 것, ②뿌리, 줄기, 가지가 붙어 있거나 줄기, 가지, 잎만 붙어 있는 것, ③뿌리, 줄기만 있는 것, ④줄기만 있는 것으로 구분하여 조사하였다.

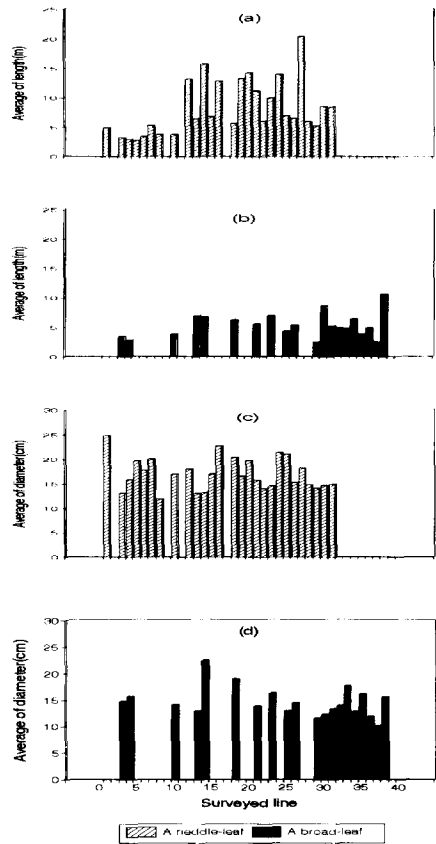


Fig. 6. Average of length and diameter of woody debris in each surveyed lines

원래 山地急流小河川에서의 流木은 하류의 경우에는 ③과 ④의 경우가, 상류로 갈수록 원형이 잘 보존되어 있는 ①, ②의 경우가 많으나(水山 등, 1991), 이번 조사에서는 그림 7에서 알 수 있듯이 下流와 일부 上流에서 뿌리가 없는 ④와

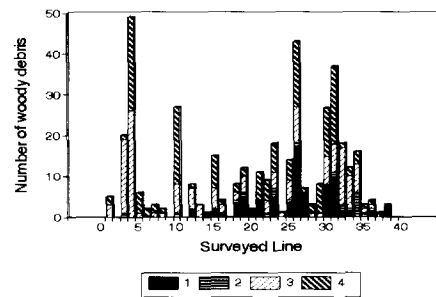


Fig. 7. Shapes of woody debris in each surveyed lines.

같은 형태의 流木이 다수 발견되었으며, 中·上流에서도 ①과 ②와 같은 형태의 流木이 부분적으로 滯留하고 있을 뿐 전체적으로는 流木의 원형이 크게 손상된 경우가 많았다. 즉 상류에서 발생한 流木이 유출되는 과정에서 주로 土石流나 粗도가 큰 河床 材料와의 마찰에 의해 손상이 적은 ①(74본; 18.4%)과 ②(22본; 5.5%)에 비해 ③(147본; 36.6%)과 ④(159본; 39.5%)가 상대적으로 많았다.

또한 생산된 流木은 河床의 微地形 및 河床 材料의 粗度 등에 시·공간적으로 영향을 받아 마모, 손상 및 腐朽를 반복하면서 하류로 운반되고 있으므로 流木의 腐朽도를 ①수피가 완벽한 상태로 보전되어 있는 경우, ②수피의 일부가 벗겨져 있을 뿐 보전상태가 양호한 경우, ③수피가 대부분 벗겨져 있으나 손상을 입지 않은 경우, ④流木 자체가 상당히 손상되어 腐朽가 진행된 경우 등으로 구분하여 조사하였다.

조사 결과, 그림 8에서 알 수 있듯이 中·上流에 滯留하고 있는 流木은 생산 지점으로부터의 이동 거리가 하류의 流木보다 상대적으로 짧으므로 대부분의 ①(147본; 36.6%)과 ②(101본; 25.1%)에 해당되는데 비해 하류에 滯留하는 流木은 대부분이 ③(114본; 28.4%)과 ④(40본; 9.9%)에 해당하여 이상의 현상이 잘 나타나고 있다. 특히 측선 3, 4에서는 腐朽가 상당히 진행된 流木이 발견되어 현재 각 구간에 분포하고 있는 流木이 단지 이번 집중호우에 의해 생산된 것뿐만 아니라 이전에도 어떠한 원인에 의해 생산되어 滯留하고 있던 流木이 재 이동한 것임을 알 수 있었다.

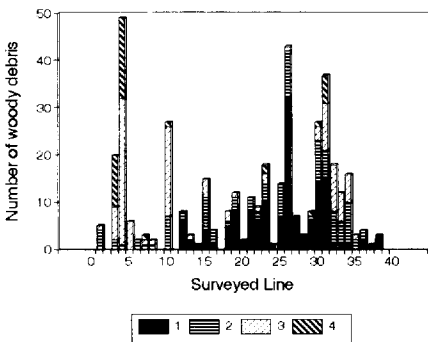


Fig. 8. Decay of woody debris in each surveyed lines

3) 流木의 滯留 方向

流木은 河床微地形과 각종 河床 材料의 粗度에 영향을 받아 流木 자체가 滯留할 뿐 아니라 河床의 이동 물질을 일시적으로 저지하거나 이동을 촉진시키기도 한다. 그러나 流木에 의해 일시적으로 滯留하고 있는 각종 河床 材料는 불안정한 상태이며, 시간이 경과하여 流木의 腐朽가 진행되면 河床 堆積物의 지지력을 상실하여 한번에 다량의 土砂가 이동하게 되므로 土石流를 일으키기도 한다. 이러한 점에서 流木의 滯留 방향은 流木 자체의 재이동은 물론 각종 河床 材料의 滯留와 이후의 河床變動 豫測에 중요한 判讀 指標가 될 수 있다.

따라서 流木의 滯留 方向을 크게 ①流心の 진행 방향을 중심으로 평행하게 滯留하는 경우(流心으로부터 좌우 45° 이내와 135°~225° 이내)와 ②직각으로 滯留하는 경우(流心으로부터 45°~135° 이내와 225°~315° 이내)로 구분하여 보았다. 분석 결과, 그림 9와 같이 流心に 평행하게 滯留하는 경우와 직각으로 滯留하는 경우의 流木 本數는 276 : 126으로 평행하게 滯留하는 경우가 많았다. 그러나 架橋 地點인 最下流部의 일부 구간과 擴幅部에 해당하는 측선 4, 23, 26, 30 및 31에는 流心に 직각 방향으로 滯留하는 流木이 많이 분포하고 있어 流木 자체가 불안정할 뿐 아니라 移動 土砂의 퇴적이 예상되므로 장래의 河床變動에 대한 충분한 대책이 마련되어야 할 것이다.

4) 流木의 種類

流木의 發生源과 이동 과정을 파악하기 위해서는 河道內에 滯留하고 있는 流木과 河岸林의 수

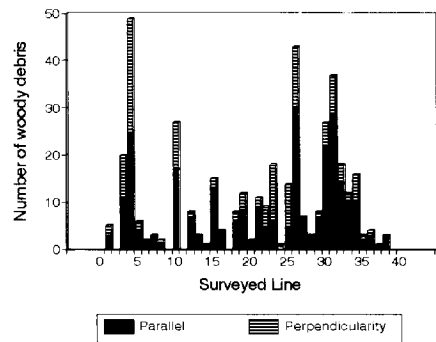


Fig. 9. Storage direction of woody debris in each surveyed lines

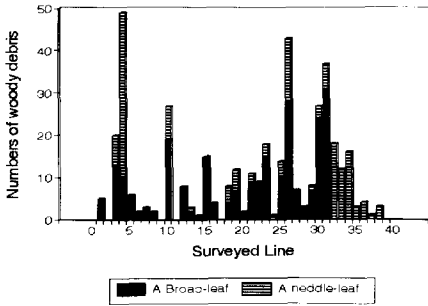


Fig. 10. Species of woody debris in each surveyed lines.

종을 추적할 필요가 있으나 실제로 山地急流小河川에서는 流木 形態의 파손 정도가 심해 대부분의 流木에 대해 수종을 명확히 파악할 수 없었다. 그러나 형태가 불안정하여 수종을 파악하지 못해도 침엽수와 활엽수에 대한 구분은 어느 정도 가능하였고, 특히 조사 구간의 河岸林은 대부분이 일본잎갈나무와 참나무류로 구성되어 있어 이에 대한 조사를 실시하였다.

조사 결과, 그림 10에서 알 수 있듯이 측선 4, 26 및 32~38 구간을 제외하면 대부분이 침엽수인 일본잎갈나무에 해당하여 총 流木의 64%에 해당하는 256본을 차지하고 있었으며, 이는 일본의 62%(石川, 1994)와 유사하였다. 특히 일본잎갈나무의 경우 지상부에 비해 지하부가 빈약하기 때문에 河床 材料의 작은 충격이나 소규모의 河床變動에 의해서도 流木化하기 쉬우며, 현지 조사시에 立木 상태에서 根系의 地表가 부분적으로 유실된 경우에도 고사한 흔적이 現流路 주변부에서 종종 발견되었으므로 河岸林의 수종으로 선정할 때에는 신중을 기해야 할 것이다.

結 論

山地急流小河川에 분포하고 있는 流木은 河岸 비탈면이나 河床堆積地에 생육하고 있는 수목이 流體化한 것으로 주로 風到, 땅밀림, 河岸의 비탈면 붕괴, 河岸 浸蝕등 地表變動에 의해 생산되고 있다. 또한 流木은 河床微地形을 구성하는 인자중 河幅에 주로 규제되고 있었으며, 구체적으로는 複數 流路가 발달한 구간, 합류 지점의 입구, 巨石 및 천연 댐 주변부, 수리 조건이 급

격히 변화하는 지점인 擴幅部에서 다량으로 流木이 滯留하고 있었다. 특히 複數 流路가 발달된 山地急流小河川의 擴幅部는 모자이크 모양의 河岸林 構造를 발달시킴과 동시에 비교적 장기간에 걸쳐 流木을 貯留하여 다양한 河川 環境을 제공하기 때문에 防災 空間뿐만 아니라 環境 空間으로서도 중요하다고 할 수 있다.

따라서 앞으로 砂防 計劃을 수립할 때에는 流木의 발생, 이동 및 滯留에 영향을 미치는 河道特性和 流木 자체의 특성을 고려한 流木 對策을 마련해야 하며, 이를 위해서는 단순히 流木막이를 도입하는 방법보다는 流木 發生 抑止工 및 透過型 砂防댐 등의 流木 補捉工의 설치를 적극적으로 배치해야 함은 물론 河岸林의 수종 선택에도 신중을 기해야 할 것이다. 또한 河川 環境을 개선하기 위해서는 防災 空間뿐만 아니라 環境 空間을 확보하기 위한 河道 整備가 이루어져야 하며, 이에 河川 縱斷形에 치우쳐 왔던 砂防의 시각을 河川의 橫斷 形狀을 포함한 입체적인 관점으로 전환해야 함은 물론 궁극적으로는 河道의 生物多樣性이 보장되어 각종 親水行爲가 이루어질 수 있도록 정비되어야 할 것이다.

引用 文 獻

1. 江原道災害對策本部. 1996. 豪雨被害復舊計劃('96. 7. 26~7. 28期間中). 25pp.
2. 全權雨. 1988. 荒廢溪流の微地形判讀と河道整備に關する砂防學的研究. 北大農演研報 45(2) : 529-586.
3. 全權雨. 1990. 1990年 6, 9月 集中豪雨에 의한 洪川郡 北方地域의 斜面崩壞와 土砂流出. 江原大學校 演習林研究報告 10 : 17-26.
4. 全權雨·金玫植·江崎次夫. 1996. 集中豪雨에 의한 流木의 災害와 滯留特性 -1996년 7월의 江原道 華川地域을 중심으로-. 江原大學校 演習林研究報告 16 : 94-108.
5. 藤田裕一郎·田中好秀·馬場健志. 1992. 傾斜地域의 河道における 流木의 舉動に關する實驗. 京都大學防災研究所年報 35(B-2) : 115-139.
6. 瀨尾克美·水山高久·大場章·上原信司. 1984. 土石流と共に流出する 流木의 運動と捕捉工に關する實驗的研究. 土木技術資料 26(2) : 69-

- 73.
7. 笠井美青・丸谷知己. 1994. 山地河川における流木群による土砂の滞留機構. 日本林學會誌 76(6): 560-568.
8. 石川芳治・水山高久・福澤誠. 1989. 土石流に伴う流木の発生および流下機構. 新砂防 42(3): 4-10.
9. 石川芳治・水山高久・浅井信秀. 1990. 流木の衝突による鋼材の変形に関する実験的研究. 新砂防 42(5): 11-20.
10. 石川芳治. 1990. 平成2年7月熊本縣一の宮町で発生した泥流・流木災害. 土木技術資料 32(9): 64-67.
11. 石川芳治. 1990. 流木の運動・堆積機構とその対策工に関する研究 -土砂とともに流出する流木による災害の防止-. 土木技術資料 32(12): 14-15.
12. 石川芳治・水山高久・福澤誠. 1991. 扇狀地における流木の流下, 堆積特性. 土木技術資料 33(5): 38-44.
13. 石川芳治・草野慎一・福澤誠. 1992. 熊本縣一の宮町における泥流・流木の氾濫・堆積特性と家屋の被害. 土木技術資料 34(6): 40-45.
14. 石川芳治. 1994. 溪流における流木の発生, 流下と災害. 水利科學 38(1): 51-77.
15. 小野寺弘道・東三郎. 1978. 知床金山川における流木滞留とダム効果. 日本林學會北海道支部講演集 27: 105-107.
16. 松村和樹・橋田芳朗・葛西俊一郎. 1990. 格子型砂防ダムによる流木捕捉効果. 新砂防 43(3): 9-12.
17. 水山高久・大場章・万膳英彦. 1985. 土石流発生に伴う流木の生産, 流出事例と対策. 新砂防 38(1): 1-6.
18. 水山高久・天田高白・栗原淳一・小林幹男. 1989. 樹林帯の抵抗特性と土砂堆積促進効果. 新砂防 42(4): 18-22.
19. 水山高久・栗原淳一・鈴木浩之. 1990. 立木の衝撃エネルギー吸収効果. 新砂防 42(6): 24-28.
20. 水山高久・石川芳治・福澤誠. 1991. 愛知縣伊香川における土石流・流木災害(1989年). 土木技術資料 33(2): 49-58.
21. 水山高久. 1992. 溪岸工および溪岸砂防樹林帯. 新砂防 44(5): 50.
22. 水原邦夫. 1973. 流木の運動機構に関する研究(I) -円筒狀流木について-. 新砂防 26(1): 17-25.
23. 水原邦夫. 1974. 流木の運動機構に関する研究(II) -主として形状効果について-. 新砂防 27(2): 6-12.
24. 水原邦夫. 1975. 砂防ダムと流木(I) -流木群の堆積開始と運動機構-. 新砂防 28(2): 17-24.
25. 水原邦夫. 1976. 砂防ダムと流木(II) -流木群の堆積機構と堰上げ機構-. 新砂防 28(3): 17-23.
26. 水原邦夫. 1979. 流木災害の實態と山地河川における流木. 京都大學農學部演習林報告 51: 175-183.
27. 水原邦夫・武居有恒. 1979. 流木の流下阻止に関する基礎的研究(I) -主として流木群の運動形態について-. 新砂防 32(2): 10-16.
28. 水原邦夫・武居有恒・南哲行. 1980. 流木の流下阻止に関する基礎的研究(II) -柵構造物における流木の衝撃力と堰止め率-. 新砂防 32(3): 9-16.
29. 水原邦夫・武居有恒. 1980. 流木の流下阻止に関する基礎的研究(III) -流木の堆積による水位堰上げ機構-. 新砂防 32(4): 1-8.
30. 岩崎成嘉. 1960. 山地流域における流木の防止について. 水利科學 4(3): 91-94.
31. 全國治水砂防協會. 1984. 砂防設計公式集(マニュアル). (株)石崎書店. 202pp.
32. 中川一・高橋保・安達宏介. 1991. 堤内地における流木群の舉動に関する研究. 京都大學防災研究所年報 34(B-2): 373-386.
33. 中川一・高橋保・池口正晃. 1992. 流木群の流動に関する研究. 京都大學防災研究所年報 35(B-2): 249-266.
34. 中村太士. 1990. 河川の時間的・空間的分布に関する考察. 日本林學會誌 72(2): 99-108.
35. 中村太士・フレデリック J スワンソン. 1992. 河道内倒木・流木分布に関する河川地形的考察 -オレゴン州カスケイド山脈山地河川の事例-. 103回日林論: 577-579.
36. 清水宏. 1983. 溪流における砂防計劃手法に

- 關する研究. 北大農演研報 40(1): 101-196.
37. 清水收・中村太士・全權雨. 1985. 豊平川上流域における流木移動の實態. 日本林學會北海道支部論文集 34: 196-198.
38. 丸谷知己・笠井美青. 1995. 土砂滞留に伴う流木群強度の位置的变化. 新砂防 47(6): 3-7.
39. Araya, T., 1986. A Method to investigate basin characteristics on debris movement by using indicators of plants and riverbed topography in the torrential rivers of Hokkaido, Japan. *Shin-Sabo* 39(2): 5-14.
40. Lienkaemper, G.W. and F.J. Swanson, 1987. Dynamics of large woody debris in streams old-growth Douglas-fir forests. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 150-156.
41. McDade, M.H., F.J. Swanson, W.A. Mckee, J.F. Franklin, and J. Van Sickle, 1990. Source distances for coarse woody debris entering small streams in western Oregon and Washington. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 326-330.
42. Nakamura, F. and F.J. Swanson, 1993. Effects of coarse woody debris on morphology and sediment storage of a mountain stream system in western Oregon. *Earth Surface Processes and Landforms* Vol 18: 43-61.
43. Robison, E.G. and R.L. Beschta, 1990. Coarse woody debris and channel morphology interactions for undisturbed streams in south-east Alaska. *Earth Surface Processes and Landforms* Vol 15: 149-156.