

# 山林苗木의 凍害

林業試驗場 指導委員 任 慶 彬 博士

## 1. 緒 言

모든 生物은 生活하는데 適溫領域을 가지고 있고 그範圍를 넘어선 高溫 또는 低溫으로 될 때에는 害를 받게 된다. 植物은 種에 따라서 相當한 差異가 있으나 一般的으로 5 °~ 10 °C 사이에서 生理的活動이 크게 鈍化하거나 또는 中止되는 것으로 믿어지고 있다.

林木은 苗木時代부터 收穫이 되는 長期間을 통해서 野外的 自然環境에 놓이게 되므로 例外的으로 있을 수 있는 寒冷한 氣候의 害를 받을 確率이 높다. 이에 關聯해서 寒害, 凍害, 霜害, 霜裂, 霜柱, 그리고 寒風害 등의 用語가 쓰여지고 있다.

이때 凍害는 冬季중 氣溫이 低下해서 植物體에 凍結이 誘發되므로서 주는 害를 말하고 霜害는 加害機構는 前述의 凍害와 같은 것이나 다만 發生하는 季節이 겨울철이 아니고 가을 (早霜)이나 봄철 (晚霜) 이라는데 있다. 寒風害는 低溫에 의한 水分吸收의 支障 그리고 바람에 의한 水分蒸散의 促進으로 나무가 乾枯하게 되는 害를 말한다.

寒害는 凍害와 거의 같은 뜻으로 사용되기도 하고 때로는 低溫의 害를 廣範圍하게 묶어서 寒害로 表現하기도 한다. 다음과 같은 寒害의 分類는 타당하다고 믿어진다.

寒害	凍害	(겨울)	先枯型 - 枝條가 받는 凍害
			胴枯型 - 主幹이 받는 凍害
	霜害		早霜害 (가을) - 秋季凍害
			晚霜害 (봄) - 春季凍害

寒風害 - 低溫과 바람에 의한 寒乾枯 凍裂 (또는 霜裂) - 低溫에 의한 幹의 龜裂 霜柱 (서릿발의 해)
------------------------------------------------------------------

熱帶 또는 亞熱帶의 植物은 溫帶地方에 있어서 섭씨 零度 以上の 低溫으로서 害를 받는 일이 있다. 이것을 寒傷 (또는 冷害 Chilling injury)으로 말하나 이곳에서는 다루지 않는다.

다음 寒害에 속하는 上記 各種害에 대한 내용을 考察해 본다.

[참고] 寒害의 分類를 提案한 몇가지 例가 있다.

日本 임야청의 用語統一 基準 (1963)에는 『凍害는 寒害와 霜害를 함께 말하는 것이다』 또 『凍害를 나눌때에는 주로 冬季의 凍害와 春秋의 凍害인 霜害로 나눌 수 있다』라고 했다. 川口 (1968)는 凍害를 다음과 같이 나누고 있다.

먼저 氣象條件으로서,

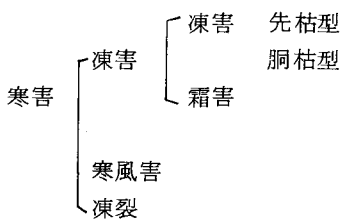
凍害	凍霜害	凍害
		霜害
	寒風害 (寒乾害, 寒枯 現象)	

發生季節에 따라서

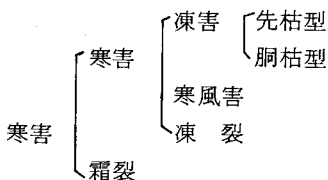
凍害	冬季凍害	寒害
		寒風害
	春秋季 凍害	春季凍害 (晚霜害) 秋季凍害 (早霜害)

로 나누고 있다.

林木의 寒害를 研究한 酒井 (1966)는 다음과 같은 寒害의 分類를 提案했는데 앞에 든 川口의 것과 비슷하다. 즉 現象에 의한 分類로서는

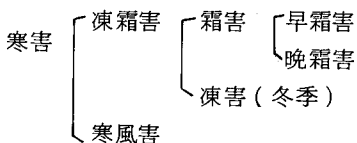


또 被害發生時期에 따라서는



로 나누었다.

또 土井은 다음과 같이 나누고 있다.



## 2. 凍 害

植物이 凍結이 일어나는 限界溫度를 지나서 冷却될 때 凍害(freezing injury)가 발생한 다. 凍害에 견디는 程度는 植物의 種類에 따라 다르고 同一種이라도 季節에 따라 差異를 보인다. 陸上植物은 가을부터 겨울에 이르면서 凍結에 견디는 힘이 크게 增加하고 2月 中旬때부터 發芽할 때에 걸쳐 다시 減少하고 發芽 또는 開舒한 뒤에는 凍結에 대한 힘이 약해진다. 大體的으로 生長中에 있는 植物은 거의 凍結에 견딜 수 없다. 凍結은 短時間에 일어나서 被害를 주게되나 뒤에 說明될 寒風害는 長時間의 노출에 의해서 被害를 받는것이 다르다.

被害를 받아도 그것이 外觀的으로 짐작이 가기까지에는 상당한 日數가 요하는 일이다. 가을이나 초겨울에 被害를 받으면 短時日중으로 알 수 있고 겨울에 被害가 있을때에는 바로 나타나지 않는다.

生長停止가 늦게오는 落葉松, 오리나무類, 뽕나무등 가지나 줄기의 끝쪽이 成熟되지 않았을

때 가을철 氷點以下 數度の 低溫으로서도 先枯現象을 이끈다. 寒冷地에 있어서는 이러한 先枯現象은 흔히 볼 수 있는 것이다. 先枯現象은 嚴寒期에 있어서도 어느정도 나타날 수 있다. 밤나무, 호도나무 등은 先枯에 아울러 胴枯型의 凍害도 함께 받는다.

胴枯型의 凍害는 비교적 가는 줄기에 있어서 일반적으로 南側의 材部 또는 皮層部에 나타나는 凍害인데 暖地의 南斜面 또는 排水가 나쁜 平坦地에 더 잘 나타난다. 줄기가 가늘고 樹皮가 얇은 경우 더 잘 發生한다.

때로는 줄기가 비교적 굵어도 나타나는 일이다. 이것은 겨울 또는 초봄 日射로 말미암아 樹體의 溫度가 上昇해서 그部分의 凍結에 견디는 힘이 低下하는데 理由가 있다고 생각되고 있다.

줄기가 가는 苗木의 경우 胴枯型의 凍害가 發生하는 時期는 늦가을, 초겨울, 한겨울, 초봄 등인데 被害時期는 樹種에 따라 또 해에 따라서도 다르다. 뿌리목 부근의 줄기가 害를 받으면 早晚間 地上部는 枯死하게 된다.

## 3. 霜裂(凍裂)

겨울 凍害의 하나로서 줄기가 0℃ 以下로 冷却되면 바깥쪽의 細胞膜안의 水分이 放出되어 材部가 수축하고 半徑方向 또는 年輪方向 으로 갈라지는 所謂 霜裂(또는 凍裂) 현상이 나타난다. 이것은 寒冷地帶의 林木(전나무류와 가문비나무류 등)에 잘 나타난다. 때로는 늦봄에 있는 低溫으로서도 發生한다. 適潤地에서 좋은 자람을 보이는 林木에 흔히 있는 被害이다. 霜裂(때로는 霜割)이 되풀이 되면 그部分이 隆起하고 直徑成長에 異常이 와서 소위 霜腫의 현상을 보이기도 한다. 이것은 圃地의 苗木에는 해당되는 것이 아니다.

霜裂(Frost cracks)에 관한 現象에 대해서는 Butin과 Shigo의 觀察이 있다. 美國 등 溫帶地方의 참나무類(Quercus)에는 生育中에 半徑方向으로 放射割裂(Radial shake)이 잘 일어나는데 Spider heart, ray

shakes 등으로 표현되기도 하고 만일 그割裂이 樹幹의 外面에까지 나타날때 霜裂(frost cracks)라고 말하고 있다.

이러한 現象은 木材에 缺點을 주게되는 것인데 그原因이 霜現象에 있다고 해서 霜裂이라 부르는데 事實上 霜裂은 霜(frost)에 의해서 야기되는 것은 아니라고 했다.

放射割裂은 흔히 輪狀割裂(ring shakes)을 수반하는 데 뒤의것은 年輪方向에 따라 나타나는 割裂이다. 輪狀割裂은 흔히 wind shakes 라고도 말하는데 이것은 바람에 의해서 그러한 害가 나타나기 때문이다.

放射割裂이거나 또는 輪狀割裂이거나 간에 그部分은 각종 크기의 傷處 때문에 야기되는 것이다. 즉 山火, 伐倒作業, 物理的 打擊, 動物, 枯死한 가지 基部의 殘片, 그리고 根株萌芽등이 原因이 되어서 참나무類의 줄기에 상처가 만들어 질 수 있다.

經濟的 價値로 따질때 割裂에 의한 木材의 缺點은 腐敗에 의한 그것보다 훨씬 큰 損害를 가져온다. 즉 腐敗材는 줄기의 中心部에 局限되는 경향이 있으므로 製材方法을 통해서 쓸모있는 部分을 얻을 수 있다. 그러나 放射割裂의 경우는 일단 만들어진 割裂이 外部로 계속 이어져서 木材利用 價値를 크게 떨어 뜨린다.

霜裂에 의한 被害는 造林技術로서는 防除할 수 없는 自然現象이라는 생각 때문에 이때까지 아무런 對策이 강구되지 못했다. 실지에 있어서 霜裂現象은 霜에 의한 것이 아니므로 그것을 防除할 수 있다고 했다.

참나무類 木材의 缺點이라하면 마디(節, knots), 腐敗材(decayed wood), 그리고 放射 및 輪狀割裂이다. 그런데 다른 수종에 비해서 참나무類에 있어서는 放射割裂이 더 흔하게 나타난다.

다른 樹種에서도 例를 볼 수 있으나 참나무類는 傷處部位를 包圍시켜서 그것이 더 擴大되지 못하도록 하는 강한 機能을 가지고 있다. 그래서 『 강한 區劃性植物』(highly compartmented plants)이라고 말할 수 있다. 그래서 이러한 處置機能 때문에 상처가 생긴 그해의

年輪 안쪽에 傷處가 있게되고 그밖으로 영향을 할 수 없게 된다. 상처가 내부에 局限되므로 그것이 큰 缺點으로는 되지 못한다. 가령 直徑이 10 cm 인때 생긴 상처는 主幹의 中心部 10 cm 이내의 範圍에 머물게 되므로 큰 問題로 되지 않는다. 腐敗材안에 있는 有害菌類는 더 밖으로 나갈 수 없다.

傷處를 받은 이후에 形成層이 만들어 낸 特殊組織은 그性質이 다른데 이것을 防禦帶(barrier zone)라고 말한다.

防禦帶는 이러한 有利한 點을 가지고 있으나 그組織은 形態的으로, 또 化學成分의 組成에 있어서 正常材와 달라서 構造的 弱點을 지니고 있다. 즉 氣溫이 급히 降下한다든가 또는 強風이 있을때 防禦帶에 따라 垂直的으로 또는 年輪方向으로 割裂을 만들게 된다. 이것이 輪狀割裂이다.

輪狀割裂이 발생하면 이에 수반되어서 放射割裂이 있게되고 放射割裂은 外延되어 樹皮部에 이르게 된다. 外部에까지 나타내면 그곳에 龜裂을 觀察할 수 있게 된다. 기온이 내려가면 幹部에 나타난 縱裂은 上下로 더 擴張된다.

要는 만들어진 傷處나 枯死枝의 基部로 因해서 割裂이 생기게 된다는 것이다. 일단 放射割裂이 일어나면 그나무는 이미 이것을 區劃할 機能이 없어진다. 서리(霜)가 割裂의 初期原因이 되지 못한다는 것이다.

外部에 나타난 霜裂은 低溫으로서 팽창되는 일이 있는데 이것은 霜腫으로서 흔히 觀察되는 것이다.

그래서 霜裂, 또는 木材内部의 割裂을 防止하자면 알맞은 가지치기 作業을 해서 枯死枝의 基部殘片이 남지 못하도록 해야하고 根株部 부터 發生하는 萌芽는 그때 그때 除去해야 한다. 그리고 나무에 傷處가 가지 않도록 하는 것이 대단히 바람직 하다.

그리고 實生苗에서 몇개의 줄기가 나타나면 그중 하나만 남겨 單幹으로 해주어야 한다. 萌芽枝條에서 單幹을 남긴다는 것은 實生苗의 그것만 못하다. 단지 버섯을 栽培하기 위한 目的 이라면 경우는 달라진다.

#### 4. 寒風害

寒風害 ( cold-desiccation damage )는 凍害와 구별이 되는 被害이다. 寒風害는 土壤이 凍結된 상태에 있거나 또는 冷却된 상태에 있고 더우기 그곳이 바람을 받을때 나타나는 被害이다. 겨울동안 土壤이 凍結되어 있고 뿌리부터 地上部에 물의 供給이 좋지못한 狀態에 있는 苗木이 強制的으로 脫水되어 일어나는 乾燥害이다. 土壤이 冷却되어 있으면 그만큼 根系에 의한 吸收는 어렵게 된다.

이것은 平坦한 圃地에서도 발생하고 山地에 있어서는 바람이 잘 지나가는 길에 따라 ( 風衝地 ) 흔히 나타난다.

積雪이 있는 곳에서는 雪面に 나타난 部分이 寒風害를 받기 쉽다.

큰나무에도 寒風害는 발생하는데 잎이 赤褐色으로 변하고 枯死한다. 樹冠의 上部부터 發生하는 것이 많다. 바람을 받는 半面 ( 側面 ) 에만 被害가 發生하기도 한다.

常綠闊葉樹의 寒風害는 반드시 土壤凍結을 必要로 하지 않는다. 겨울 바람맞이에 서있는 밀감의 落葉現象을 寒風害로 말한다. 감귤類는 地溫이 0℃ 부근으로 내려가면 뿌리의 吸水作用이 크게 떨어진다.

그러나 잎을 많이 달고 있어서 地上部는 물의 收支가 불균형 상태에 놓이게 되어 強風을 받으면 落葉한다. 그러나 바람의 機械的 作用만으로는 落葉하지 않는다. 물의 收支의 불균형에 의한 잎의 生理的 惡條件이 寒風害를 유발하는 不可缺의 要因으로 되어 있다. 밀감의 경우 土壤凍結, 줄기의 동결은 寒風害 발생의 必要條件이 아니다.

調査에 따르면 土壤이 凍結되지 않아도 苗木의 줄기의 一部分이 凍結狀態에 놓이게 되면 뿌리부터의 水分의 上昇은 크게 억제되는 것으로 믿어지고 있다.

研究의 一例로서 4年生의 삼나무苗木의 줄기의 基部를 5cm幅으로 局部的으로 零下 0.5~0.6℃의 온도로서 凍結狀態로 만들고 苗木의

上部를 비닐주머니로 덮고 그안에 多量의 乾燥劑 ( Silica gel ) 를 넣어 乾燥狀態로 했었다. 약 5일뒤부터 處理한 잎쪽의 줄기와 枝葉은 乾燥해서 枯死했다. 그러나 苗木의 줄기를 0℃로 했을 때에는 凍結이 되지 못해서 비닐주머니 속은 水蒸氣로서 포화되었고 被害는 觀察되지 않았다. 이것은 苗木의 줄기가 적어도 局部的으로라도 - 0.5℃ 정도의 낮은 溫度로 凍結이 될 경우에는 뿌리부터의 물의 上昇이 억제됨을 알 수 있었고 寒風害가 일어나는 내용의 究明에 도움을 준것으로 믿어진다.

#### 5. 霜 害

霜害 ( Frost damage ) 는 봄의 晚霜害와 가을의 早霜害로 나누어 진다. 전에는 서리 ( 霜 Frost ) 그 自體가 植物에 해를 주는 것으로 생각했으나 지금은 그것이 凍害인것으로 밝혀지고 있다.

冷却이 천천히 진행될 때에는 植物體内に 自發的凍結 ( Spontaneous Freezing ) 이 일어나지 않는다. 植物體가 얼 때에는 서리 ( 霜 ) 라는 형태로서 外部부터 얼음 ( 氷 ) 이 만들어지므로서 비로소 植物體内の 凍結이 일어나게 된다. 氣溫이 내려가서 露點溫度以下로 冷却되면 植物體의 表面은 가는 水滴으로 덮인다. 이 水滴은 0℃以下로 冷却되어도 얼지않는 상태에 있고 보통 - 2~3℃ 까지 冷却되어야 얼게 된다.

잎의 表面의 水滴의 凍結이 곧 結霜이다. 이와같이 잎의 表面에 있는 서리가 더디어 過冷却狀態에 있는 葉組織에 凍結을 유발한다. 잎의 내부에 시작된 凍結은 점차 葉柄에 이르고 가지를 지나 줄기로 나아간다.

잎이 없는 落葉樹의 줄기에 있어서는 皮目부터 體內로 凍結이 진행되는것 같으나 아직도 그 機構는 不分明하다.

空氣가 대단히 건조해 있으면 氷點以下 數度까지 冷却되어도 이슬이 맺히지 못하므로 결국 서리 ( 霜 ) 도 만들어지지 않는다. 이러한 狀態에 있어서는 植物은 상당히 低溫度까지 冷却되어도 過冷却 ( Deep - Supercooling ) 狀態에

머문다. 이와같은 過冷却(結氷없이 組織의 溫度가 零下로 내려가는 것)의 경우는 生物은 상당한 低溫度로 冷却되어도 일반적으로 害를 받지 않는다. 즉 추위 그 自體는 대체로 生物에 害를 주지 않는 것으로 말할 수 있다.

一般的으로 겨울에는  $-5^{\circ}\text{C}$  정도까지 凍結狀態로 冷却되어도 被害가 없지만 가을과 봄에 이 정도로 凍結冷却되면 심한 害를 받는다. 이와같이 서리(霜)는 植物體內的 凍結을 強制하는 방아쇠의 역할을 하는데 서리 그 自體가 植物體에 害를 주는 것이 아니고 被害發生의 與否는 植物體의 凍結에 대한 耐性如何에 달려있다. 따라서 霜害라는 말보다는 凍害라는 表現이 더 適格일지 모르나 霜害란 用語는 慣習적으로 사용되어 왔다.

## 6. 耐凍性一般

겨울의 추위에 견딜 수 있는 性質을 나타내는 말로서 耐寒性(Cold Resistance)이 있고 植物生理學者들은 耐凍性(frost-hardiness 또는 frost resistance)이란 말을 흔히 쓴다. 耐凍性이란 凍結狀態에 견디는 性質을 말하는 것이며 凍結이 잘되고 못되고를 나타내는 말은 아니다.

昆蟲에 대한 例이지만 나비의 一種의 蛹(번데기)은 自然狀態에 있어서  $-20^{\circ}\text{C}$ 까지 過冷却되어도 越冬한다. 그러나 人工적으로 體內에 어름을 넣어주면 약  $-5^{\circ}\text{C}$ 의 凍結로서 죽게 된다. 즉 이 蛹은  $-20^{\circ}\text{C}$  前後의 추위에는 견디는 즉 耐寒性은 크나 凍結에 있어서는  $-5^{\circ}\text{C}$ 에서 죽게 된다. 이때 이 昆蟲에 대한 耐寒성과 耐凍性的 뜻의 구별이 확실해진다.

그러나 植物에 있어서는 空氣가 異常程度로 乾燥해 있지 않으면 보통  $-2^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ 의 溫度範圍 내에서 凍結이 시작되므로 昆蟲처럼 耐寒성과 耐凍性的 값의 差異가 크지 않다.

그러나 正確하게는 植物의 경우 寒氣 그것이 植物에 害를 주는 것이 아니고 凍結狀態에 견디는 정도가 문제로 된다.

組織이 凍結한뒤 죽게되는 것은 組織을 形成

하고 있는 細胞가 凍結에 견딜 수 없어 죽는데 있다. 凍結에 의해서 細胞가 害를 받는 理由에 대해서는 몇가지 說明이 있다.

細胞의 內部에 얼음이 생기는 경우 즉 細胞內凍結이 있게되면 그 細胞는 죽게되고 細胞外에 얼음이 생길경우 즉 細胞外凍結에 있어서는 一般的으로 살아 남게된다. 겨울에 나무가 低溫에 놓이게 되어 얼어도 죽지않는 것은 組織은 얼어도 그것이 細胞外凍結이고 低溫에 견디는 能力이 만들어져 있기 때문이다.

이것이 바로 앞에 說明한 耐凍性이다.

이곳에 說明을 더 붙여야할 것은 空氣가 乾燥해 있을때 氷點以下 數度에까지 氣溫이 低下하여도 組織이 凍結하지 않는 過冷却現象이 있고 이러한 경우에는 나무는 凍害를 받지 않는다.

그리고 細胞外凍結(細胞間隙水의 凍結)이 계속되면 細胞內的 水分이 細胞間隙으로 나가게 되고 그것이 다시 凍結되고 해서 細胞內的 구조에 異常(原形質分離)이 오게된다. 이것이 어떤 限界를 넘으면 그 細胞는 죽게되지만 大體로 아침이 되어 해가 돌아나고 氷을 받아 細胞間結氷이 徐徐히 融解하게 되면 水分이 細胞內로 吸收되어 原狀으로 復歸하게 된다.

그러나 溫度의 變化가 너무 急變하면 自然스러운 回復이 안되어서 細胞와 組織에 죽음이 오게 된다.

그러나 野外에 있어서 急速한 凍結 그리고 急速한 融解는 그렇게 흔히 일어날 수 없다는 것이 알려지고 있다. 다음 이에 關한 研究結果를 소개한다.

나무가 凍結이 되었더라도 그뒤 이것이 寸寸히 融解되면 그 被害는 없거나 또는 거의 없는 것으로 된다. 凍結後의 融解速度가 凍害發生에 어떤 關係를 가지나 하는것을 전나무 5年生 苗木으로 調査한 結果가 있다. 一般的으로 凍害에 미치는 融解速度의 有害作用은 눈(芽)의 開舒가 진전하는데 따라서 더 뚜렷해지고 있다. 눈이 開舒하는 直前狀態에 있어서는  $-4^{\circ}\text{C}$ 로서 1~2時間 凍結시킨뒤  $15^{\circ}\text{C}$ 이하의 空氣中에서 寸寸히 融解시킬때(融解速度  $0.8^{\circ}\text{C}/\text{分}$ 以下) 그 害는 거의 인정될 수 없었다. 그러나 약 20

℃의 外氣溫일때 直射日光에 노출시키면 (融解速度 2.0℃/分) 전나무의 눈은 심한 被害를 받고 있다. 凍結에 미치는 融解速度의 영향은 눈뿐만 아니라 皮層部 材部에도 인정되고 있다. 現實的으로는 아침이 되어 氣溫이 서서히 上昇하므로 低溫의 피해에서 벗어나는 일이 흔하다.

## 7. 林木의 耐凍性

이미 說明한 것처럼 耐凍性이란 것은 凍結 狀態의 組織이 죽지않고 견디어 가는 性質인데 林木의 耐凍性을 變化시키는 因子는 대단히 많다. 季節에 따른 耐凍性의 變化에 대해서는 言及한 바 있다.

落葉松에 대해서 調査된 것을 보면 10月 中旬以後부터 生長이 멈추고 成熟期에 들어가는 데 耐凍性은 11月 初旬부터 높아지기 始作하고 12월에 가서 最高値에 이르며 봄 4月初까지 어느정도의 耐凍性을 유지한다.

스웨덴에서 유럽赤松과 독일 가문비나무 苗木에 대한 耐凍性의 조사결과가 있는데 온실에서 양묘된 것을 硬化시켜서 가을에 山地에 심을때 硬化方法이 活着率에 크게 영향함을 보고있다. 즉 온실에서 양성중인 苗木에 대해서 生育 末期에 이르러 약 4주간동안 長夜處理(즉 短日處理)를 해주는 것은 耐凍性 부여에 큰 도움이 된다는 것이고 이러한 처리를 실지 양묘가 들이 一部 쓰고 있다는 것이다.

日本에서 調査된 것이지만 삼나무와 편백은 耐凍性에 비슷한 傾向이 있기는 하나 편백은 耐凍性이 높아지는 때가 빨리오고 減退期는 늦게온다. 이것은 삼나무가 가을 늦게까지 生長을 계속하는 까닭에 凍害를 받기 쉽고 봄이 되면 편백보다 더 빨리 耐凍性이 低下해서 凍害를 잘 받게된다.

耐寒性은 해에 따라 變化가 있는 것으로 가령 따뜻한 해에는 耐寒性의 增高가 늦게오고 또 봄이 되어도 계속 추위가 계속되는 해에는 耐凍性도 더 오래 유지된다.

林木은 品種에 따라 耐凍性이 상당한 差異를 보인다. 種에 따라서도 그러하다. 가령 유럽赤

松에 대해서는 耐凍性 研究가 비교적 많이 이루어졌다. 그중 東部유럽쪽의 것은 가을에 더 빠른 성숙을 보이고 西部유럽의 것은 성숙이 늦게 오고 그結果 東部の 것보다 凍害에 더 弱하다.

落葉松, 삼나무, 오리나무등은 徒長되어 未熟 狀態에 있는 가지는 가을의 寒氣로 先枯現象을 보이는데 이것도 耐凍性에 關聯되는 것이고 主軸의 一年生 基部도 잘 凍傷에 걸리는데 調査해 보면 그部分의 耐凍性은 他組織의 그것보다 매우 낮다. 이때까지는 줄기의 基部가 微氣象의 영향을 받아서 胴枯型의 凍害를 받는 것으로 생각하고 있었으나 그뒤의 研究結果로서 그部分組織의 낮은 耐凍性이 胴枯型凍害發生의 原因임이 밝혀졌다. 줄기의 南側은 北側보다 耐凍性이 낮다는 것이 밝혀 졌으나 줄기의 上下에 따른 耐凍性의 差異가 南北面의 差異에 依한 것보다 더 크다.

포플러類 品種의 差異에 依한 耐凍性增大의 過程의 差異를 研究한 結果가 있다. 一年生 插木 苗木을 가지고 研究한 것을 보면 凍結에 견딜 수 있게되는 時期는 品種에 따라 상당한 差異가 있고 그 範圍는 9月 中旬부터 10月 初旬까지의 期間에 이른다. 그後부터 外部氣溫의 低下에 따라 耐凍性은 增加하고 12月 下旬頃에 最高値에 이르게 된다. 耐凍性을 얻게되는 速度에 있어서도 品種間의 差異가 있다.

10月 中旬頃에 人工的으로 低溫處理(Hardening)를 해 주는 경우 品種間의 耐凍性의 差는 明確하게 나타났다.

耐凍性의 크기에 따라 3그룹으로 나누면 다음과 같다.

*Populus robusta*, *P. regenerata* > *P. I-476*, *P. I-214* > *P. I-154*, *P. I-455*

포플러類의 冬芽形成 그리고 生長停止는 9月중에 일어나는데 生長停止의 時期가 빠른것일수록 耐凍性의 形成이 빨리온다.

삼나무에 대한 耐凍性의 研究가 있는데 一年生가지를 가지고 實驗室에서 실시한 것이다. 즉 가지를 약 12cm의 길이로 切斷하고 이것을 비닐주머니에 넣어 -5℃의 室內에서 冷却시켰다. 凍結을 確認한뒤 1時間마다 -5℃씩 溫度를

낮게해서 所定溫度까지 冷却시켰다. 16時間 所定溫度에 둔뒤 꺼내어서 0℃의 室溫으로 融解시켰다. 融解시킨 가지는 室溫에서 20~30日間 물속에 쫓아 두었다.

그뒤 肉眼으로 또는 현미경으로 皮層組織, 形成層部位 및 木部를 觀察하고 褐變의 程度를 判定하고 있다. 그리고 耐凍性은 各組織이 害를 받지않는 最低溫度로 나타내었다. 눈(芽)은 切斷해서 基部의 褐變같은 것을 觀察했다.

이結果에 의하면 밤나무의 가지의 耐凍性에는 種間에 상당한 差異가 인정되고 있다. 즉 中國系 밤나무(*Castanea mollissima*)가 가장 높은 耐凍性을 보였다. 日本系 밤나무(*Castanea crenata*)의 栽培 品種間의 가지의 耐凍性에도 차이가 인정되고 있다. 赤中이란 品種은 항상 약한 耐凍性의 程度를 보여주고 있다. 丹澤은 耐凍性이 비교적 강한 것으로 나타나고 있다.

品種間의 耐凍性의 差異는 嚴寒期에는 컷었고 초겨울이나 봄에가서는 작게 나타나고 있다.

밤나무의 가지의 耐凍性은 季節에 따라 큰 差異를 보였는데 초겨울(11월 중순경)에는 -5~-15℃, 한 겨울(1월 중하순경)에는 -12~-27℃ 그리고 눈이 틀무렵(4월 상순경)에는 -3~-12℃로 나타나고 있다.

## 8. 冬季變色과 遺傳性

가을이 되어 初霜이 있을때 針葉이 紫褐色으로 變하는 일이 많다. 이것은 葉綠素(chlorophyll)의 파괴에서 오는 것인데 봄이 되면 葉綠素의 量이 回復되고 針葉이 綠色으로 된다. 이러한 低溫에 대한 反應은 苗木에 우려할 害를 주는 것은 못된다. 日射를 받는 針葉이 이러한 變色을 더 잘 보여준다.

이것을 Winter yellowing의 現象으로 표현하는데 이變色現象에 關한 遺傳的 研究가 있고 杉나무의 경우는 한쌍의 對立遺傳子에 의해서 變色이 調節되는 것으로 나타나고 있다.

즉 杉나무의 針葉의 冬季變色은 色調에 따라서 (1) 赤褐色型 (2) 黃褐色型 그리고 (3) 綠色型

의 3가지로 나타난다. 이때 赤色因子(R)는 優性이고 綠色因子(r)는 劣性이며 RR은 赤褐色型으로 또 rr는 綠色型의 遺傳子型이다.

赤×赤(RR×RR, RR×Rr, Rr×RR)은 모두 赤으로 되었고, 赤×綠(Rr×rr)또는 綠×赤(rr×Rr)의 次代는 赤과 綠의 分離比가 1:1로 나타났다. 그래서 赤褐色型의 系統과 綠色型의 系統은 우선 遺傳子 R과 열성유전자 r에 의한 멘델法則에 따르는 것으로 믿어지고 있다. 이러한 分離比에 따른다면 赤褐色으로 變하는 個體가 대단히 많고 綠色을 그대로 維持하는 個體數는 적게 나타난다. 이것은 杉나무 苗木의 경우에 해당하는 것이다.

이것은 나무가 가지는 遺傳子의 組成에 따라 低溫에 견디는 葉綠素의 힘에 差異가 있음을 말해준다.

## 9. 種子 產地와 耐凍性

어떤種의 分布面積이 넓을 때에는 溫度 등 환경에 대한 適應關係로 種子產地에 따른 耐凍性의 差異가 是認되고 있다. 最近 日本 北海道의 전나무의 一種(*Abies sachalinensis* mast., 사하린전나무)에 대한 이방면의 연구 結果가 보고되고 있다.

즉 Saghalin fir는 北海道의 優占種인데 全道에 分布하나 특히 東半部에 많다. 北海道의 東半部는 西半部에 비해서 積算寒度가 높고 1月중의 雨量이 적다. 積算寒度는 0℃ 以下の 日平均氣溫의 積算인데 西側은 600℃(日) 以下이고 東側은 600℃(日) 以上이다. 積算寒度(F)와 土壤 凍結深度(D<sub>cm</sub>) 사이에는

$D = a \sqrt{F}$ 의 關係式이 잘 成立되고 있다. 榮花(1984)는 實驗室內에서 凍結 實驗을 하고 이때 北海道 全域 80個所의 天然林에서 選拔된 精英樹의 Clone을 材料로 사용하였다. 研究結果에 의하면 (1) Saghalin fir의 冬芽의 耐凍度는 10月부터 5월까지 段階的으로 增大하고 그뒤부터 減少하며 (2) 海拔高(300~1200m의 범위)에 따라 耐凍度는 增加하며 이것은 產地의 寒冷指數와 높은 相關을 보

였고 (3) 水平分布에 의한 耐凍度の 産地間 差異는 原産地の 經度 (東西方向에 따른 差異)와 積算寒度로서 說明이 될 수 있었고 (4) 道の 東部側의 耐凍度の 平均値가 높았으나 그 分散値는 대단히 낮았다. 分散値가 낮은 理由는 西側에 비해서 耐凍性의 淘汰가 이미 強하게 作用한 結果 耐凍性이 높은 集團으로 되었을 것이라고 推定하고 있다. (5) 그리고 이곳 전나무의 耐凍度の 水平分布는 分析結果 6個地域으로 나눌 수 있었고 이것은 北海道의 積算寒度の 等值線의 分布樣式과 대단히 類似했다.

이러한 研究結果는 林業用種苗의 需給區域의 設定, 山林의 遺傳子 保存을 위해서 必須的인 情報를 제공하게 된다. 그리고 山林의 環境區分을 生物의 抵抗性 形質을 통해서 모색하므로서 林業活動의 地域單位의 示唆를 얻게 된다.

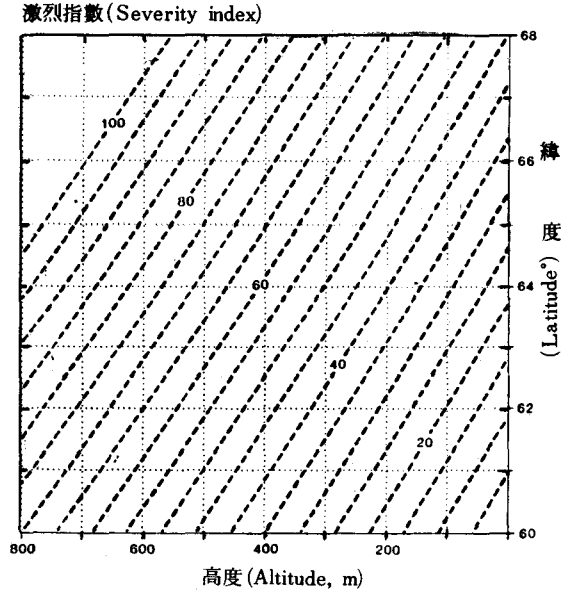
Wilcox (1982)는 유카리의 一種 (*Eucalyptus fastigata* Deane and Maid)에 대해서 耐凍性의 産地間 差異를 調査했다. 10個 産地를 代表하는 105家系로서 分散分析을 試圖했는데 家系間의 分散値는 주로 産地間의 遺傳分散을 反映하는 것이 었다. 즉 産地內家系의 分散成分 (The families-in-provenance Components)은 産地分散成分보다 3-4배 적은 값이었다. 이것은 種子産地에 따라 耐凍性에 큰 差異가 있음을 말해준다.

一般的으로 강한 耐凍性을 보이는 種子産地의 것은 자람이 가장 늦은편이었고, 主幹의 分岐現象도 가장 적었다.

이와같이 耐凍性을 생각하여서도 種子産地의 문제는 충분히 考慮되어야 한다.

Eriksson 등(1980)은 유럽赤松의 産地試驗의 資料를 가지고 高度와 緯도에 關聯시킨 植栽后 20年間의 枯死率을 分析하고 있다. 스웨덴에 있어서 유럽赤松은 不利한 氣候條件으로서 약 20年間に 걸쳐 枯死가 계속된다. 이 20年間의 枯死率을 Severity Index란 用語로 表現하고 種子産地의 移動에 따른 激烈指數 (Severity index)를 計算하고 있다. 이것은 冬季의 凍害에 기인하는 것인데 分析結果에 注目이 가며 그要約으로 볼 수 있는 圖表를

다음에 보인다. 이때 Sererity index 100이란 말은 意味上으로는 樹木限界를 뜻한다.



그리고 同一地域내에 있어서도 個體에 따라 耐凍性에 差異가 있을 것이라는 생각아래 소위 耐凍性 個體의 選抜이 課題로 되어있다. 가령 日本을 例로 들면 耐凍性 및 耐寒風性 個體를 選抜하고 있는데 1977年度의 集計에 따르면 삼나무가 3,086本, 편백이 1,141本, 소나무가 43本, 海松이 25本, 전나무가 410本 計 4,705本에 이르는 耐性個體 候補木을 얻어 檢定에 쓰고있다.

이것이 뜻하는 것은 凍害와 寒風害가 林産資源造成에 미치는 영향이 대단히 크다는 것이며 上記와 같은 對策과 研究는 그만큼 보람을 가져다 준다는 것을 意味한다.

#### 10. 苗木의 凍害防除

說明이 되풀이 되는 것이나 溫度가 低下하



면 처음에는 가는 이슬이 苗木의 表面에 붙게 되고 溫度가 점점 내려가면 苗木은 表面全體가 水膜으로 덮이고 溫度가  $-2 \sim -3^{\circ}\text{C}$  정도로 내려가면 이 水膜이 凍結된다. 이슬이 생겨 서리(霜)로 되는 溫度는  $-2^{\circ}\text{C}$  전후라고 한다.

凍害의 시작은 이슬이다. 만일 空氣가 대단히 乾燥해 있으면 氣溫이 零下 數度로 내려가도 이슬이 생길 수 없고 結霜이 되지 않으므로 霜을 받지 않는다.

苗木이 얼게 되면 처음에는 細胞間隙에 얼음이 만들어지나 어린 組織의 細胞안에까지 凍結이 일어나서 결국 죽게 된다.

그런데 細胞間隙에 얼음이 생겨도 細胞內的 物質이 凍結되지 않으면 죽음을 면할 수 있지만 계속 氣溫이 내려가서 細胞의 脫水가 진행되면 凍結이 일어나지 않아도 細胞는 심한 脫水現象으로 죽게 된다.

요컨대 凍害의 發生은 凍結을 일으키는 部分과 水分缺乏의 程度에 문제가 있다.

그래서 어떻게 해서 細胞內的 凍結을 막고 또 細胞外 凍結에 의해서 생기는 脫水부터 細胞를 保護하느냐가 凍害防除法의 초점이 된다.

### (1) 燻煙法

바람이 있으면 밤중의 氣溫은 그다지 내려가지 않지만 바람이 없고 날씨가 맑으면 輻射冷却이 심해지고 地上  $10 \sim 20\text{cm}$  부근이 最低 氣溫으로 된다. 이와같이 되면 서리가 내릴 우려가 있다. 이때 대책으로서 燻煙法이 취해진다.

이것은 苗圃에 있어서 연기를 내어 苗圃面의 熱의 放散을 막아 苗木의 冷却을 防止하고자 하는 것이다. 外國의 경험에 의하면 30분마다 地上  $6\text{cm}$  되는 곳의 氣溫을 測定하고  $0^{\circ}\text{C}$ 로 되었을때부터 燻煙을 시작한다. 연기를 낼 수 있는 材料로서는 乾草, 落葉등 어떤것이든지 이용될 수 있고 여름 모기불을 놓듯이 하는 것이다. 간혹 물을 뿌려 연기와 수증기가 생기도록 하는데 이때의 수증기는 구름(雲)과 같은 역할을 해서 地面의 放熱을 막는데 도움을 준다.

重油를 연소시켜서 연기를 내는 기구도 考案되어 있다. 이때 문제가 되는것은 燃料費인데

무시할 수 없는 額數로 된다. 독일에서도 이것을 目的으로 한 煙霧放射器가 고안되어 있고 日本에서는 니아까(손수레)처럼 끌고 다니는 燻煙器를 고안하고 있다.

外國에서는 氣象豫報중 霜害發生警報도 하고 있다.

### (2) 撤水法(灌水法)

이것은 凍害의 위험이 있는 때에 苗木에 계속해서 撤水를 해 주는 方法인데 效果가 확실하다고 한다. 自動 撤水施設이 있으면 더욱 편리하고 또 撤水할 때 空氣중에 수증기가 되도록 많이 생길 수 있도록 하면 效果가 더 크다고 한다. 一般灌水도 效果가 있다.

### (3) 防寒施設을 해주는 方法

이것은 이미 過去부터 흔히 實施해 온 方法이다. 찬바람(보통 北風)을 막을 수 있도록 人蔘밭의 해가림施設 비슷한 것을 架設하는 것이다.

苗木을 落葉 또는 벌짚같은 것으로 덮어 주기도 하고 비닐막을 利用할 수도 있다.

苗圃가 있는곳의 周圍地形도 凍霜害 發生에 關係된다. 되도록 겨울 찬바람을 막을 수 있는 方向에 防風林을 造成하는 것은 바람직 하다.

경우에 따라서는 가을에 苗木을 캐서 움안이나 排水가 잘되는 곳에 구덩이를 파고 그안에 저장하고 防寒이 되도록 해주는 일도 있다. 때로 腐敗菌이 침범할 수 있는 까닭에 이점 注意할 必要가 있다. 美國같은 나라에서는 貯藏庫內的 溫度를  $3^{\circ}\text{C}$  정도로 하고 습도를  $85 \sim 90\%$ 로 해서 苗木을 저장하기도 한다.

스웨덴에 있어서 Ericsson 등(1983)이 유럽 赤松과 독일 가문비나무 苗木의 冬期中 冷室(Cold store) 저장의 效果를 報告하고 있다. 처음에 溫室에서 키우고 7月上旬에 露地로 옮기고 10月下旬(소나무)과 11月中旬(독일가문비)에  $-5^{\circ}\text{C}$ , 關係濕度(RH)  $85\%$  되는 冷室로 옮겼다. 이때 苗木을 板紙 box에 넣어 뚜껑을 밀폐했다.

이듬해 時期를 다르게 해서 山地에 苗木을 植

栽하고 그 뒤의 苗木의 成長, 體內的 成分分析을 하고있다. 冷室 저장效果를 비교하기 위해서 冷室外 저장도 실시했다. 다음해 가을에 測定한 苗木成長量은 室外의 自然狀態의 貯藏이 若干 良好했다. 그런데 독일 가문비나무의 경우 5월중으로 植栽한것은 苗木乾重에 있어서 冷室貯藏이 더 높은 값을 보여 주었다. 이와같이 苗木의 越冬處理는 그뒤의 苗木의 成長에 여러面으로 影響을 미치고 있다.

掘取한 苗木을 假植해서 集中的으로 防寒施設을 해서 被害를 輕減시키는 方法도 取한다.

#### (4) 藥劑處理

이것은 藥劑(그린너, 미크론 등)를 苗木에 살포해서 苗木의 體面에 부착되는 水滴과 苗木體를 차단시켜서 凍害를 防止하고자 하는 着眼이다. 따라서 外面의 이슬이 凍結해도 그 影響이 細胞內에까지 이르지 않도록 하자는 것인데 實用上 研究의 여지가 있다.

#### (5) 斷根法

苗木에 斷根作業을 하므로써 苗木의 徒長的인 榮養成長에 制動을 주어 組織을 더 빨리 성숙단계로 이끌어 耐寒性을 增加시켜 凍害를 防止하고자 하는 것이다.

斷根作業을 해주고 그리고 가을에 苗木을 掘取해서 假植하고 防寒施設을 하는것은 대단히 效果的이라고 한다. 凍害防止를 目的으로한 斷根作業의 時期는 日本의 經驗으로서는 적어도 서리가 내리기 1個月 또 1個月半前이 좋다고 한다.

### 11. 우리나라의 苗木의 凍害

우리나라는 大陸性氣候로 冬季의 추위가 苗木에 相當한 被害를 주고 있다. 大陸性氣候의 特徵의 하나로서 季節과 季節사이의 變化가 뚜렷하고 漸變인 것이 못된다. 이것은 夏季부터 초가을에 걸쳐 溫暖한 氣候아래에서 苗木은 榮養生長을 계속하게 되는데 氣候의 急變으로 겨울(低溫)을 맞이하게 된다.

이것은 苗木이 漸次的으로 低溫刺戟을 받으면 耐凍性을 增加시킬 수 있고 그뒤에는 相當한 低溫이라도 견딜 수 있는데 그렇지 못하고 耐凍性의 準備없이 갑자기 低溫에 놓이게 되어 先枯型(가지나 主軸의 先端部가 被害를 받는型) 또는 胴枯型(줄기가 被害를 받는型)의 凍害를 받게 된다.

이러한 氣象的 被害는 우리가 想像하는 것보다 더 甚하게 發生하고 있다. 여기에 1983年度에 받은 苗木의 氣象的 被害內譯을 보인다. 이러한 被害物量은 큰 것으로 이러한 被害에 대한 適切한 措置方法의 講究는 緊要한 것이다.

樹種別로 보면 삼나무와 편백 등 暖地性 造林用苗木의 被害가 크고 오리나무, 落葉松 그리고 리기테다 1-0 苗木의 被害가 尤甚하다. 리기테다소나무 苗木의 凍害 霜害도 크게 나타나고 있다. 金員의으로는 약 8億원에 相當하는 被害가 한해동안에 發生하고 있다.

그래서 苗木의 氣象的被害에 關한 防除法의 確立, 이에대한 研究 그리고 政策의인 講究등이 더 活潑하게 이루어져야 한다.

霜害와 凍害는 發生時期에 差異가 있다. 參考로 凍害라는 用語인데 이것은 日本에 있어서는 森林國營保儉法 第二條의 災害의 가운데 나타나고 있다. 이법은 1937年 法律 第25號로 公布된 것이며, 1961年에 氣象災害(風害, 水害, 雹害, 干害, 凍害 및 潮害에 限하는 것)가 附加되었다.

說明을 앞으로 되돌려서 凍害와 霜害는 發生要因과 發生機構가 비슷하므로 한곳에 묶을 수 있다.

凍害는 줄기가 枯死한것, 가지가 죽은것, 눈(芽)만이 죽은것 등으로 나누어 생각할 수 있다.

凍傷痕은 줄기나 가지의 껍질을 벗겨보면 材部쪽에 黑褐色의 痕跡이 나타나는 것을 말한다. 이 凍傷痕은 짧은것도 있고 긴것도 있으며 또 줄기의 한쪽에만 있는것도 있고 줄기의 全周圍를 감는것도 있다. 줄기의 아랫쪽에 생긴 凍傷痕중 심한것은 물이 고인것처럼 부풀어 오르는것도 있고 樹皮가 벗겨져서 材部가 노출하게 된다.

이러한被害는 나무의 水分과 양분의 通路가 되는 導管, 假導管, 篩管, 髓線等 주요한 組織이 凍死해서 水分의 移動을 막는데 原因한다.

해마다 凍霜害가 반복해서 發生하면 나무의 정아가 죽게되고 이것을 대신해서 側芽가 자라지만 결국 樹型이 不良하게 된다. 落葉松에 있어서 이것이 흔히 문제로 된다.

苗木에 해를 미치는 凍霜害와 寒風害를 고려한 養苗技術이 바래지고 이方面의 研究도 더 기대되고 있다.

### 參 考 文 獻

1. Butin, H. and A. Shigo, 1981. Radial shakes and Frost cracks in living oak trees. USDA, FS, Research Paper NE-478. 21 pp
2. Ericsson, A 등 1983. Effects of cold-storage and planting date on subsequent growth, starch and nitrogen content in pinus sylvestris and picea abies seedlings. Studia Forestalia Suecica, No. 165. 17 pp.
3. Eriksson, G. et al. 1980. Severity index and transfer effects on survival and volume production of pinus sylvestris in Northern Sweden. Studia Forestalia Suecica, Nr. 156. 32 pp.
4. Fukuhara, N. 1963. Inheritance of needles discoloration of Sugi (Cryptomeria japonica D. DON). World Consultation on forest Genetics and Tree improvement. Stockholm. FAO-FORGEN 63, 6 pp.
5. Rosvall-Ahnebrink, G. 1982. Practical application of dormancy induction techniques to greenhouse-Grown Conifers in Sweden. Proceedings of the Canadian Containerized tree seedling symposium. Can. For. Serv., Ont. 1982.
6. USDA, Forest Service 1978. Diseases of Pacific Coast Conifers. Agriculture Handbook No. 521. pp.11-39.
7. Forestry Agency of Japan, 1981. Forestry Technology in Japan. 199 pp.
8. 川口武雄, 1968. 造林ハニドブック. 養賢堂. 345-359.
9. 檜山 等, 1974. 林木の氣象被害, 日本林業技術協會 114面.
10. 森田, 酒井, 1966. ポプラ類の凍害研究 日林誌 487. 267-273.
11. 酒井, 1966. 林木寒害に關する用語使用の-提案. 日林誌 48(1). 25-27.
12. 榮花茂, 1984. 北海道トドマツの耐凍性に關する 生態遺傳學的研究, 日本林野廳 林木育種場 研究報告 第2號 61-107.
13. 德重, 尾方, 1968. 造林地の寒害, 林業科學技術振興所 52面.