

北海道 造林木の生長과 材質^{*2}

宮 島 寛^{*3}

Growth and Wood Quality of Hokkaido's Planted Stock.^{*2}

Hiroshi Miyajima ^{*3}

1. 緒 論

日本國土의 總面積은 3,775萬ha이고 그 中 67%에 相當한 2,526萬ha가 森林이다. 그러나 人口 1人當의 森林面積은 0.22ha이며 全世界의 平均 0.96ha의 23%에 不過하다. 最近의 國產材供給量은 年間 3,200~3,500萬m³이며 總需要量 9,500~11,000萬m³의 31~34%에 相當한다. 不足한 것은 年間 6,200~7,600萬m³의 外材를 輸入하고 있다. 北海道의 森林面積은 564萬ha이고 全國의 22.3%蓄積은 5億1千6百2拾2萬m³이며 23.6%에 해당된다. 北海道의 外材依存率은 全國平均値보다 낮은 30~40%이다.

北海道의 人工造林面積은 1970年 前後에는 年間 7萬ha에 達하였으나 以後 減少하여 最近에는 3萬ha程度이다. 人工造林의 總面積은 141萬ha이며 總森林面積의 25%에 相當하나 幼齡林級이 많고 林齡 30年 以上은 5%에 不過하다. 이와 같이 現在 北海道는 天然林 依存型이며 人工林에서 産出되는 材의 大部分은 間伐에 依한 小徑材이다.

北海道의 人工造林의 問題點은 決定的인 造林樹種이 없는 것이다. 道南部地方의 삼나무植林의 歷史는 數百年에 達하며 道内主要地에 造林의 歷史도 90年이 된다. 그러나 決定的인 造林樹種이 없는 것은 失敗의 歷史였다는 것을 意味한다. 이 以上 失敗를 되풀이할 理由는 없기 때문에 여기에서 이제까지 育成된 造林木の 材質試驗에 結果를 總括하여 今後 育林上의 資料로 할 생각이다. 이것이 韓國의 林業上에

도 參考가 된다면 多幸한 일이다.

2. 北海道 造林歷史의 概略

北海道의 1930年頃까지 造林歷史를 林 常夫는 著書「北海林話」에 다음과 같이 分類하고 있다.

1. 望郷樹種의 移植時代

徳川幕府時代부터 1886年 北海道廳이 設置될 때까지의 時代에 本州方面에서 北海道로 건너온 사람들이 望郷의 생각에서 그 故郷의 樹種을 本道에 植栽하였다. 많은 樹種이 移入되었으나 定着된 것은 南部地方의 삼나무(*cryptomeria japonica*)와 그 一部の 溫暖한 地方에 참오동나무(*paulownia tomentose*)程度이고 다른 많은 樹種들은 北海道의 가혹한 自然에 견디지 못하였다.

2. 外來樹種導入時代

1887~1920年頃 開拓과 山火로 因하여 原生林이 없어지게 됨으로 森林復興을 目標로하여 植林計劃을 樹立하였으나 當時 道産針葉樹材의 價格은 싸고 또 그 苗木養成이 困難하여서 苗木養成이 容易하고 한편 生長이 迅速한 樹種을 選定하게 되었다. 當時는 船來萬能時代여서 造林樹種에도 外國의 것이 選擇되어 歐洲에서 *European larch*, *Norway spruce*, *Scotch pine*, *Corsican pine* 등 美國에서 *Eastern pine*, *Jack pine*, *Lombardy poplar*, *Black locust* 등의 導入되었고 本州에서는 落葉松(*Larix Kaempferi*)이 移入되었다. 이들 外國에서 導入된 樹種中 *Norway spruce* 만이 鐵道 防雪林으로 比較的 오래 植栽된 程度이고 그 外에는 主要한 造林樹種으로 되었던 것은 없었다. 現在 全道의 主

* 1 Received August 15, 1982.

* 2 本報는 木材科學國際學術誌 포지움(1982, 春川, 韓國)에서 發表.

* 3 北海道大學 農學部 Faculty of Agriculture, University of Hokkaido, Sapporo, Japan.

要造林樹種으로 되어있는 것이 本州에서 移入된 落葉松이다. 落葉松은 苗木養成이 쉽고 또한 生長도 좋다. 이 樹種의 大面積造林은 1889년부터 始作되었다. 이 時代는 落葉松의 一齊造林期라 하여 現存한 天然幼齡木은 全部 伐採 燒却하고 新植, 純林으로 ha當 9,000本씩 密植하였다.

이들 一齊林은 病虫害에 걸리기 쉽고 生産材의 用途도 限定되어 있어 北海道固有樹種으로는 不適當하여 立地의 特性에 適應되는 更新法으로 前進하는 時代가 되었다.

3. 固有樹種 育林時代

1920年頃부터 北海道 固有樹種인 가문비나무(*Picea jezoensis*), 개분비나무(*Abies sachalinensis*)의 苗木養成도 經濟적으로 成功되어 造林을 하게 되었고, 한편 天然更新의 研究도 하게 되었다. 숲은 이 育林方法으로 「한번 荒廢된 森林의 復興에는 거기에서 發生되어 移行되는 草木으로 自然이 定하는 順序, 即 植生連續의 法則이 있다. 人工造林其他 營林이란 職能人의 行爲는 自然에 呼應되지 않으면 不된다」라고 結論을 맺고 있다.

以上은 森林에 依한 造林歷史의 分類이고 이 固有樹種 育林時代는 1955年頃까지 계속되었다. 1954년에 超大型台風이 北海道를 急襲하여 當時 全道의 總蓄積에 4%相當한 2,200萬㎡의 風害木을 빚어냈다. 이것은 當時 4年間分の 伐採量에 該當되었다. 이 風害木의 處理를 하기 위해 木材의 需要促進을 計劃하였으나 마침 이때부터 日本國의 經濟는 크게 成長을 始作하여 木材의 需要量도 增加하고 多量의 木材를 必要하게 되어 風害木의 處理後 供給을 確保하기 爲해 擴大造林을 위한 林力增強計劃을 세워 天然林을 人工林으로 交換함으로써 生長量 增加量을 앞서 伐採하게 되었다. 以後 上述한 分類에 項目을 追加한다.

4. 擴大造林時代

經濟高度成長時代에 立脚하여 木材供給量의 增大를 더욱 要望한 것은 pulp 業界 임으로 擴大造林의 目標도 「質보다 量」이었다. 따라서 育林方針도 優良木을 育成하는게 아니고 單位面積當 收量만 많게 하였다. 따라서 間伐時期가 되면 될 수 있는 限 비싼 값을 받고 파는 것은 當然하며 pulp 用이 아닌 高價値의 用途를 開拓하기 爲해 製材하였을 때 木材가 乾燥로 因해 비틀림等 欠點이 생겨 利用上 支障을 招來하였다. 이러한 諸般欠點을 적게 하기 위한

乾燥方法도 開發되었다. 그러나 一齊造林에 依한 病虫害, 材의 欠點으로 다시 增大된 木材輸入에 依해 落葉松 造林은 漸次 減少되고 國道有林은 勿論 民間林에 있어서도 개분비나무가 比較的 많아졌다.

5. 개분비나무育林 反省時代

現在 北海道에 가장 主要造林樹種은 개분비나무이다. 1980年의 苗木生産 總本數는 1億1千萬本 69%가 개분비나무이고 *Picea glehnii* 17%, 落葉松 9.6%이다. 개분비나무 造林木의 材質을 調査한 結果 水食材(Wet-heartwood, 心材部에 異常的으로 含水率이 높은 部分이 있는 材임으로 將來 樹幹에 凍裂의 確率이 높다)의 發生이 天然木에 比하여 많았고 低密度材가 發生되며 다시 小徑木의 製材品은 乾燥로 因하여 비틀림이란 欠點이 생겼다. 이러한 意味에서 現在를 개분비나무育林 反省時代라 한다. 이제부터는 針, 濶混交植栽, 가문비나무와 落葉松의 混植, 有用濶葉樹의 育成時代로 變化하여야 한다고 생각한다.

3. 造林木生長量의 比較

北海道內의 植栽된것및 山火跡地에 再生한 것에 對하여 生長量測定 例를 表-1에 나타냈다.

先于 野幌(札幌市의 郊外)의 國有林에 植栽된 *Pinus strobus*의 材積生長이 가장 優良하다. 容積密度數(생재 1㎡當 全乾重量)가 이 地方 植栽樹種中 最低인데도 그 重量生長量도 最大이다. 그 다음이 개분비나무이다. 野幌地方에는 이와같이 *Pinus strobus*와 개분비나무의 生長이 좋다. *Pinus strobus*은 38年生이 ha當 532㎡, 年平均 生長量 14.0㎡으로 最大值이다. 그러나 이 樹種도 山部(東京大 演習林, 北海道의 中央部)에서는 ha當 377㎡ 年平均 9.6㎡, 苫小牧(北海道大 演習林 札幌南部 太平洋側)에서는 山部와 같은 39年生이 各各 155㎡ 및 4.0㎡으로 低下하다. 이 資料는 1955年까지 測定한 것으로 이 結果 造林樹種으로서 *Pinus strobus*가 推奨되었으며 그 從 低密度에 起因되는 利用問題가 提起되었다. 개분비나무의 경우는 地方의 差 및 育林方法差에 있으며 이 樹種도 野幌에 가장 生長이 좋고 39年生으로 ha當 430㎡이다. 上芦別(國有林 北海道 中央部)의 45年生이 339㎡이다. 惠庭(國有林 札幌近郊)은 植栽後 거이 撫育作業이 이루어지지 않았으므로 胸高直徑 6cm 程度의 것이 있고 44年生이 221㎡, 年平均 1.6㎡에 不過하였다. 厚質

表 1 生 長 量 比 較

樹 種	產 地	樹 齡 (年)	ha 當 立 本 數	ha 當 幹 材 積 (m ³)	總 生 長 量 全 乾 重 量 (t)	ha 當 幹 材 積 (m ³)	年 平 均 生 長 量 全 乾 重 量 (t)	發 表 者
<i>Picea jezoensis</i>	野 幌	36	2,220	186	65	5.2	1.81	加納(3)
<i>Abies sachalinensis</i>	"	39	1,030	430	138	11.0	3.54	"
<i>Picea abies</i>	"	42	1,010	362	125	8.6	2.98	"
<i>Larix kaempferi</i>	"	43	770	322	124	7.5	2.88	"
<i>Larix dahurica</i>	"	37	1,000	292	121	7.9	3.27	"
<i>Pinus strobus</i>	"	38	960	532	148	14.0	3.89	"
<i>Populus maximowiczii</i>	"	39	480	339	101	8.7	2.59	"
<i>Fraxinus mandshurica</i>	"	37	740	203	111	5.5	3.00	平井(4)
<i>Pinus strobus</i>	山 部	39	1,560	377	112	9.6	2.88	宮島(5)
"	苦 小 牧	39	1,067	155	45	4.0	1.15	"(6)
<i>Larix kaempferi</i> (A)	惠 庭	41	480	290	120	7.1	2.92	"
"(B)	"	36	876	201	81	5.6	2.24	"
<i>Abies sachalinensis</i>	"	44	1,158	221	70	4.2	1.60	"
"	厚 賀	30	1,188	158	49	5.3	1.62	"(7)
"	白 老	23	3,200	151	42	6.6	1.83	"(8)
"	上 芦 別	45	972	339	107	7.5	2.37	"
<i>Betula platyphylla</i>	母 子 里	31	2,340	137	67	4.4	2.15	"(9)
<i>Betula ermanii</i>	問 寒 別	52	1,140	112	58	2.2	1.12	"(10)

(註) *Betula platyphylla* var. *japonica* *Betula ermanii* 是 山 火 跡 の 天 然 再 生 林

樹 齡 是 供 試 木 中 最 高 の 値 だ。 *Larix dahurica* var. *japonica*,

Fraxinus mandshurica: *Fraxinus mandshurica* var. *japonica*,

Betula platyphylla: *Betula platyphylla* var. *japonica*.

(國有林 北海道 中央部 太平洋側)의 경우는 調査直前에 1/4 이 列狀間伐되며 實際로 表의 數字에 3/4 으로 보는 것이 좋다. 30年生이 ha 當 200 m²程度 推定되며 개분비나무 造林地로서 比較的 좋은 편이다. 白老(國有林 北海道 中央部 太平洋側)은 23年生의 幼齡木이다. 그 時點에서 生長量은 他地方보다 많다. 惠庭地方에서는 같은 國有林內에 植栽된 개분비나무와 落葉松을 比較하면 地位가 좋은 落葉松(A)가 개분비나무보다 生長量, 特히 密度가 개분비나무보다 크기 때문에 木材變質을 나타내는 全乾重量의 生長量이 많다. 同(B)의 경우에는 年平均生長量은 개분비나무 4.2 m³에 對해 5.6 m³이고 全乾重量은 1.60t와 2.24t 로, 40% 많다. 개분비나무는 野幌地方에서 그 生長量은 개분비나무의 1/2 이하이다. 또 野幌地方에서는 重量生長量이 落葉松보다 *Larix dahurica var-japonica* 가 優良하다

는 結果이다. 한편 潤葉樹에 對하여서도 注目되며 特히 *Fraxinus-mandschurica var japonica* 의 材質이 좋은 것은 高價格임으로 그 育林도 檢討되어야 한다. 다시 針葉樹育林이 極히 困難, 氣象條件이 가혹한 道北部地方의 山火跡地에 天然의으로 再生되는 *Betula* 類의 林木도 適切하게 하면 將來 優良材를 生産할 수 있다.

以上 記述한 林分의 生長量은 必히 優良材의 生産을 意味하는 것은 아니다. 여기서 優良材라함은 大徑 樹幹通直, 完滿, 적어도 첫째 토막 통나무는 無節, 한편 構造材 或은 內裝材로서의 適性을 갖는다는 意味이다. 그래서 이러한 條件에 될 수 있도록 빨리 達成시킬 수 있다면 좋다는 것이다. 이 可能性을 찾기 위해 造林木中の 優勢木에 關하여 幹材積, 容積密度數 및 幹材의 全乾重量을 列擧하면 表-2에 나타냈다.

表 2 造林優勢木の 幹材積 및 全乾重量生長量

樹 種	産 地	樹齡 (年)	胸高		容 積		全乾		年平均生長量		發 表 者
			直徑 (cm)	樹高 (m)	密度數 (kg/m ³)	幹材積 (ℓ)	重量 (kg)	材積 (ℓ)	重量 (kg)		
<i>Picea jezoensis</i>	野 幌	35	20	13.0	353	187	65.9	5.3	1.88	加 納 (3)	
<i>Abies sachalinensis</i>	"	37	28	18.5	315	497	156.6	13.4	4.23	"	
"	惠 庭	39	26	18.8	331	451	149.3	11.6	3.83	宮 島 (6)	
"	厚 賀	30	22	14.3	292	255	74.5	8.5	2.48	" (7)	
"	白 老	23	19	11.6	286	147	42.0	6.4	1.83	" (8)	
"	上芦別	45	32	18.8	298	699	208.4	15.5	4.63	"	
<i>Larix kaempferi</i>	野 幌	42	28	22.4	385	561	216.0	13.4	5.14	加 納 (3)	
"	惠 庭	41	34	26.5	368	1,133	416.9	27.6	10.17	宮 島 (6)	
"	"	36	22	19.2	419	353	147.9	9.9	4.11	"	
"	苦小牧	49	28	19.0	408	472	192.4	9.6	3.93	" (5)	
<i>Picea abies</i>	野 幌	43	22	19.9	348	370	128.8	8.6	2.99	加 納 (3)	
"	小 樽	75	30	18.6	380	690	262.2	9.2	3.51	(渡邊·宮島)☆	
<i>Chamaecyparis obtusa</i> 3	"	79	23	17.8	358	420	150.4	5.3	1.90	"	
<i>Cryptomeria japonica</i>	"	78	26	23.1	317	680	215.6	8.7	2.76	"	
<i>Pinus desiflora</i>	"	33	17	9.6	400	120	48.0	3.6	1.45	"	
<i>Larix kaempferi</i>	"	77	44	23.7	468	1,670	781.6	21.7	10.15	"	
<i>Pinus strobus</i>	野 幌	35	26	19.5	276	452	124.8	12.9	3.56	加 納 (3)	
<i>Fraxinus mandshurica</i> 3	"	38	22	19.1	563	298	167.8	7.8	4.42	"	
<i>Populus maximowiczii</i>	"	37	38	23.5	306	1,117	341.8	30.2	9.24	"	
<i>Betula platyphylla</i> *	母子里	29	18	14.3	493	210	100.2	7.2	3.46	宮 島 (9)	
<i>Betula ermanii</i> *	問寒別	52	20	15.6	519	197	102.2	3.8	1.97	" (10)	

× 天然再生林

☆ 未發表

Fraxinus mandshurica : *Fraxinus mandshurica var. japonica*,

Betula platyphylla : *Betula platyphylla var. japonica*.

野幌의 개분비나무 優勢木이라도 生長은 좋지 않으며 胸高直徑 60cm에 達하려면 100年 以上 要하게 된다. 개분비나무는 前述한 바와 같이 野幌의 것이 좋다. 白老産材와 같이 容積密度數가 300kg/m³ 以下の 것이 있어 이와 같은 低密度材는 構造材로서 不適當하다.

落葉松의 경우 野幌에서는 生長이 不良하나 惠庭에서는 개분비나무보다 生長이 良好하다. 地位(A)에 있어서는 優勢木 41年生으로 幹材積이 1.1m³이며 重量도 417kg으로 年平均 生長量은 野幌産의 約 2倍이다. 落葉松材의 容積密度數는 개분비나무材보다 相當히 크므로 木材의 變質生産에는 落葉松이 有利하다.

野幌 *Pinus strobus* 의 경우 林分에 生長量은 개분비나무보다 優秀하나 優勢木에 對하여 보면 개분비나무가 若干 優秀하고 容積密度數는 *Pinus strobus* 가 276kg/m³으로 낮아 重量生長量은 16% 적다. 小樽市에 植栽된 75~79年生의 *Picea abies*, 편백나무, 삼나무 및 落葉松에 對하여 보면 落葉松이 가장 生長이 좋고 亦是 容積密度數도 468kg/m³으로 最大이다. 삼나무는 容積密度數가 317kg/m³으로 낮다. 편백나무는 358kg/m³으로 適正值이다. 生長이 나쁜 79年生의 胸高直徑 23cm, 幹材積 0.42m³에 不週하다. *Picea abies* 은 이보다는 生長이 좋으나 落葉松에 比해 材積은 1/2 以下이고 重量은 約 1/3 이다. 한편 母子里(北海道大 演習林 道北部地方)의 29年生 *Betula platyphylla var. japonica* 은 30年生 개분비나무(厚質)에 比하여 材積生長에는 若干 떨어지나 重量生長量은 40% 나 크다.

4. 年輪幅과 容積密度와의 關係

一般的으로 針葉樹材의 경우 年輪幅이 넓으면 密度, 各種強度가 減少하는 傾向이며 한 年輪內에 春材(密度가 적고), 秋材(密度가 크다)와의 密度差가 클수록 이러한 傾向이 심하며 樺, 赤松等의 2葉松屬, 落葉松에 이러한 傾向이 顯著하고 *Pinus strobus* 의 5葉松에는 顯著하지 않다. 한편 潤葉樹材中 물참나무 *Fraxinus mandshurica var. japonica* 等の 環孔材는 봄 生長初期에 큰 도관이 되고 後에 密度가 크게되는 材가 形成됨으로 年輪幅이 크게되면 密度가 增加하는 傾向이 있다. 그러나 特히 年輪幅이 넓은 部分에서는 이 傾向은 明確하지 않고 逆으로 密度가 減少하는 경우도 있다. 加納

에(3)에 依하면 野幌産 造林木에 關하여 兩者의 關係를 求하면 圖-1에 나타낸 것과 같다.

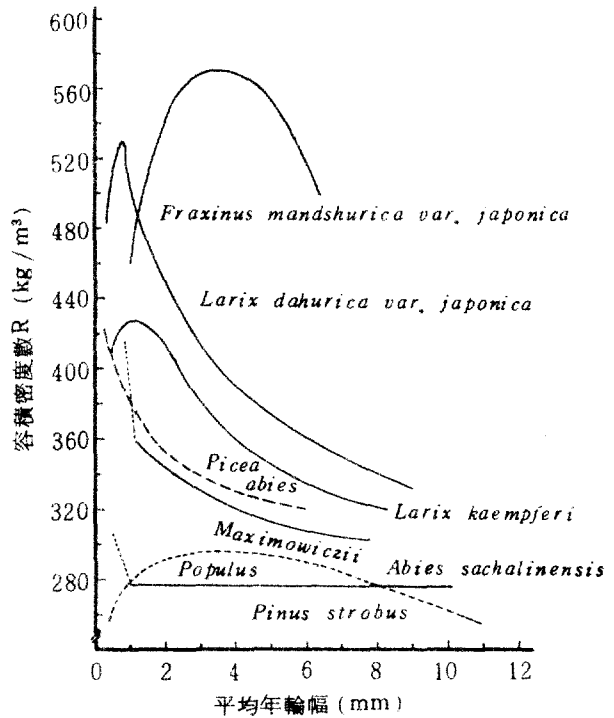


圖 1 野幌地方 造林木에 年輪幅과 容積密度數와의 關係(加納³¹)

이 그림에서 *Pinus strobus* 以外の 針葉樹材에서는 上述한 바와 같이 年輪幅이 넓으면 容積密度數가 減少하는 傾向이며 特히 *Larix dahurica var. japonica* 와 落葉松에 있어서 明確하다. 그러나 年輪幅이 0.5mm 이하로, 좁을 때에는 逆으로 密度가 減少하는 것도 있다. *Pinus strobus* 의 경우 年輪幅 1mm 以上の 部分에서는 大部分 密度에 差가 없고 한편 그 값은 280kg/m³ 前後로 적어 構造材로서는 不適當하다. 針葉樹의 同一 年輪幅에 경우 密度가 높은 順序는 *Larix dahurica*, 落葉松 *Picea abies*, 개분비나무, *Pinus strobus* 이다. 개분비나무와 落葉松을 比하면 개분비나무의 年輪幅 2~4mm에 密度는 330kg/m³ 前後로 이것은 落葉松의 年輪幅 7mm 前後에 値와 相當하다. 이와 같이 同一 密度材를 얻는데 落葉松이 개분비나무보다 年輪幅이 넓어서 좋다. 潤葉樹材의 *Fraxinus mandshurica var. japonica* 에 경우 年輪幅이 2~6mm 範圍의 것이 密度가 크고 그 前後에서는 密度는 減少한다. 그래서 그 값은 심하게 높다. *Populus ma-*

ximowiczii 도 비슷한 傾向이나 密度의 값은 300kg/m³ 以下임으로 構造材에는 適當치 못하다.

다음 가문비나무의 경우 地域 및 立木에 依한 密度差를 圖-2에 表示하였다. 이것은 上芦別 厚賀 및 白老産의 개분비나무에 對하여 前述한 關係를 나타낸 것이나 白老産中 特히 密度가 낮은 No. 4 供試木을 別途로 하여 關係를 求한 것이다. 이와 같이 同一年輪幅이라도 密度差가 있을 수 있고 密植하여

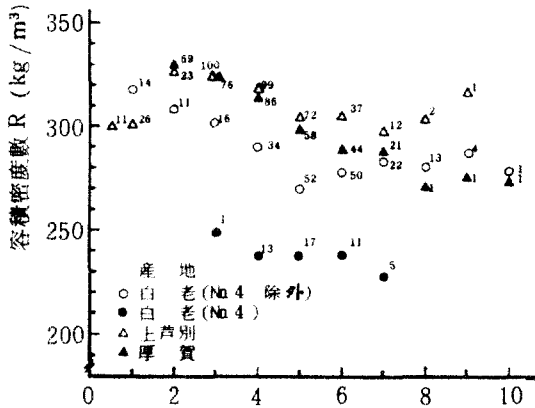


圖 2 *Abies sachalinensis* 造林木에 年輪幅과 容積密度數와의 關係(宮島⁸⁾)

肥大生長을 抑制하여도 密度의 平均値가 若干 크게 되나 低密度材를 없앨 수 없다고 생각된다.

5. 結 論

北海道에 있어서 이미 90年 以上 造林歷史를 가지고 있으나 아직 決定的인 造林樹種이 없다. 이제부터 造林樹種決定과 育成方法에 對하여 다음 事項에 留意하도록 提言하고자 한다.

1. 針·闊葉樹를 莫論하고 胸高直徑 55cm 以上을 育成目標로 하고 最小限 첫째 토막의 통나무(길이 3.65 m)은 無節材로 直徑數 cm內에 가지치기를 徹底히 할 것, 樹高를 促進시켜 完滿한 樹幹形으로 할 것. 가지치기는 개분비나무의 水食材 發生을 어느 程度 抑制할 것이라 생각한다.

2. 全 樹種이 造林材 內裝材 家具 建具材로서 使用에 適正한 密度, 力學的 性質을 갖는 材로 될 수 있는 限 短期間에 生産되는 것이 좋다. 이 때문에 年輪幅과 材質과의 關係를 樹種別로 究明할 必要가 있다.

3. 低密度材의 出現을 防止하기 爲해 生立木材 密度를 生長錐 core로부터 測定, 또는 New Zealand에서 實施하고 있는 pilodyn에 依한 非破壞 測定方法 등으로 할 必要가 있다.

參 考 文 獻

- 1) 林 常夫: 北海林話, 北海道興林(株), 1954.
- 2) 日林協: 北海道의 風害森林에 關する 總合調査 日本林業技術協會, 1957.
- 3) 加納 孟: 木材材質의 森林生物學的 研究 第11報 北海道野幌地方에 於ける 造林木의 材質成長, 林試報 90, 37-76, 1956.
- 4) 平井信二: 林木의 重量生長에 關する 研究, 第5報 北海道演習林産 스토로브마츠, 東大演報 48, 221-235, 1955.
- 5) 宮島 寬: 苫小牧演習林産人工植栽 스토로브마츠, بانک스마츠 오스비카마츠의 材質試驗, 北大演報 19(3), 99-216, 1958.
- 6) 宮島 寬: 토드마츠造林木의 材質よ利用 第1報 惠庭産 토드마츠의 生長よ基礎材質, 北海演報 37(3), 789-816, 1980.
- 7) 宮島 寬: 同 第2報 厚賀産 토드마츠의 生長よ基礎材質, 北大演報 38(2), 305-322, 1981.
- 8) 宮島 寬: 同 第3報, 白老産 오스비 상芦別産 토드마츠의 生長よ基礎材質, 北大演報 39(2), 191-212, 1982.
- 9) 宮島 寬: 山火あよにできた シラカンバ林의 生長よその材의 理學的性質, 日林道支講 9, 67-71, 1960.
- 10) 矢澤龜吉·宮島 寬·圓貞雄: 山火跡에 於ける 다펀카노바再生林의 生長よその林의 理學的性質, 木材誌 9(2), 66-72, 1963.