

## 沙漠化防止 및 防沙技術開發에 관한 研究(Ⅱ)<sup>1)</sup>

- 中國의 景觀-生態 防護林造成技術 및 效果分析 -

禹保命<sup>2)</sup> · 李景俊<sup>2)</sup> · 全起成<sup>3)</sup> · 金慶勳<sup>3)</sup> · 崔炯太<sup>3)</sup> ·  
李承炫<sup>3)</sup> · 李炳權<sup>3)</sup> · 金素蓮<sup>3)</sup> · 李相昊<sup>3)</sup> · 全正壹<sup>3)</sup>

<sup>2)</sup>서울대학교 農生大 山林資源學科 教授 · <sup>3)</sup>서울대학교 農生大 山林資源學科 大學院生

## Studies on the Desertification and Sand Industry Development(Ⅱ)<sup>1)</sup>

- Analysis of Silvicultural Techniques and Effects of Landscape-Eco Shelterbelt Establishment -

Bo-Myeong Woo<sup>2)</sup>, Kyung-Joon Lee<sup>2)</sup>, Gi-Seong Jeon<sup>3)</sup>, Kyung-Hoon Kim<sup>3)</sup>, Hyung-Tae Choi<sup>3)</sup>,  
Seung-Hyun Lee<sup>3)</sup>, Byung-Kwon Lee<sup>3)</sup>, So-Yeon Kim<sup>3)</sup>, Sang-Ho Lee<sup>3)</sup> and Jeong-Ill Jeon<sup>3)</sup>

<sup>2)</sup>Department of Forest Resources, Seoul National University, Professor,

<sup>3)</sup>Department of Forest Resources, Seoul National University, Graduate Student

### ABSTRACT

The shelterbelts are very important to conserve and protect the sandy land, vegetation coverage, farmland, livestock and human life in the desertified land. The shelterbelts are constructed by the several row-plantings of high-adaptable species in the desertified land. The shelterbelts have various kinds of type, and there are shelterbelts for conservation of farmland in dry the region, the protective shelterbelts (windbreaks for blowing-sand, artificial sanddune fixation by revegetation, and construction of farmland shelterbelts to protect farmland and pasture from wind erosion, etc.) in the semi-dry steppe, shelterbelts around the villages and oasis for sanddune fixation, shelterbelts for protection of railroads, and so on.

The shelterbelts consist of main shelterbelts and minor shelterbelts. The main shelterbelts were constructed by being perpendicular to main wind direction, and the minor shelterbelts were constructed by being perpendicular to the main shelterbelts. Generally, the width of shelterbelts is 8~20m, and the number of row-planting is 4~10. The grid sizes of shelterbelts networks are 400×400m, 300×500m, 100×200m, and so on, and there are ventilation type and closing type in the type of shelterbelt. The width, number of row-planting, grid size and type of shelterbelt are selected by the local characteristics. The effects of shelterbelts are mainly the climate improvement and mitigation,

1) 이 연구는 과학기술부 특정연구개발사업('97 국제공동연구사업 과제번호 99-I-01-03-A-050 "사막화방지 및 방사기술개발")의 연구비 지원에 의하여 수행된 과제의 일부내용임.

such as prevention of occurrence of strong wind, cold wind and blowing-sand. And, the other effects of shelterbelts are effect of reforestation, increase of agricultural productions, establishment of greenbelts and green forests, construction of landscape-eco shelterbelts, improvement of life environment of local villages, supply of fuel wood and agricultural wood, land amelioration, effect of revegetation and restoration of desertified land, and so on. The kinds of the tree species mainly used for the construction of shelterbelts have differences between regions, but main species are *Populus euphratica*, *Populus simonii*, *Populus bolleana*, *Populus tomentosa*, *Salix flavida*, *Salix mongolica*, *Tamarix chinensis*, *Hedysarum scoparium*, and so on.

Key words : *landscape-eco shelterbelts, effects of shelterbelts, climate improvement and mitigation*

## 1. 서론

UN자료에 의하면 현재 사막화현상은 세계 인구의 약 1/5, 지구 육지면적의 약 1/3에 영향을 미친다고 한다. 지구의 사막화현상은 많은 개발도상국가에서 지구환경 및 인류의 생존에 심각한 재앙을 초래하였을 뿐만 아니라, 빈곤에 허덕이게 하고, 또한 경제적 사회적 지속가능한 개발을 저해하는 주 요인이 된다. 즉, 사막화방지 문제는 장래 인구증가에 따른 식량공급문제와 연관하여 고려하지 않을 수 없는 중대한 지구환경·인류생존의 문제인 것이다. 사막화문제는 빈곤과 인구증가 등과 밀접한 관계를 갖고 있어 각 나라에서 자기 나라만의 대응으로는 한계가 있는 것이므로 사막화는 원인이나 영향 등의 모든 측면에서 지구규모의 문제인 것이다. 사막화의 원인은 매우 다양하고 복잡하지만, 「기후변화에 의한 자연적 원인」과 「인간행위에 의한 인위적 원인」으로 나눌 수 있다(朱震達, 1989; 이천용, 1999; 禹保命, 2000a, 2000b).

UNCCD에 가입한 국가는 160여개국인데, 중국에서는 1996년 12월에 가입·비준하였으며, 우리나라에서는 1994년 10월에 사막화방지협약에 서명하였으며, 1999년 8월 17일에 159번째로 비준·가입하였다. 이 협약과 관련하여 한·중 과학기술부의 과학기술개발국제협력사업의 일환으로 「사막화방지 및 방사기술개발」에 관한 한·중공동연구를 수행하게 되었다. 한국측에서는 서울대학교 우보명교수가, 중국측에서는 북경임업대학교 왕리산(王礼先)교수가 각각 연

구책임자가 되어 1997년 10월부터 2000년 8월까지 3년간 국제공동연구과제로 수행된 것이다. 이 한·중국제공동연구과제인 「사막화방지 및 방사기술개발」 연구과제 수행 최종보고서는 제1장 중국의 사막화현황 및 방지대책에서부터 시작하여, 제2장 경관-생태-방호림조성을 위한 조림기술의 연구, 제3장 사막화방지용 적용식물의 도입 및 시험연구, 제4장 사막화토지의 복구녹화를 위한 신소재 및 신기술적용의 연구, 그리고 제5장 사막화지대의 방사산업기술개발로 구성되는데, 본고에서는 제2장 부분만을 기술하고자 한다.

황막화지역에서의 방호림(shelterbelts)은 주로 농지 및 목초지의 보호와 오아시스 및 주거지의 보호 등을 위하여 조성한다. 즉, 사막지역에서는 농지, 목초지 및 방목지 주위에 묘목을 식재하여 모래의 침입을 방지하고 이동사구를 안정시키기 위하여 조성하거나, 또는 풍식으로부터 농지와 방목지를 보호하기 위한 수림대로서 조성하기도 한다. 또한, 오아시스 주변에는 방풍림(windbreaks) 및 방사림(sandbreaks)을 조성하는데, 이와 같은 방호림에는 오아시스주변에 수목-관목-초류로 조성하는 방사림대, 오아시스내부 및 주변에 방풍림대 네트워크 조성림, 수로 및 저수지보호 및 도로보호를 위한 식수대, 마을 주위에 조성하는 보호망 및 식수대(plantation belt), 목야지보호를 위하여 조성하는 방호림대, 습지 혹은 염성 토양에 조성하는 관목-초류 식재대, 그리고 연료림의 조성 및 단기 소득 숲과 용재림의 조성림 등이 포함된다(Maki et al, 1993a,

1993b, 1994a, 1994b; 眞木太一, 1995a, 1995b).

중국정부에서는 방호림조성에 역점을 두고 있으며, 1978년부터 삼북(三北: 東北, 華北, 西北)지역에, 특히 허이룽장성(黑龍江省)에서부터 내몽고자치구를 지나서 썬장(新疆)자치구에 이르기까지 남북 약 400~1,700km, 동서 약 6,000~7,000km에 미치는 대규모 방호림대(綠의 長城·The Green Great Wall)를 조성하고 있으며, 그 실행성과가 매우 양호하다. 이와 같은 국가 역점사업으로서의 대규모 삼북방호림조성사업은, 체계적 건설의 강화, 중점사업으로의 추진, 치산·치수사업으로서의 추진, 생산활동과 주민활동의 결합, 과학기술적 조림사업의 강화, 경제적 이익의 중시 등에 주안점을 두고 시행·추진한다(朱俊鳳, 1989; 張志達, 1997; 李濱生編, 1992).

중국에서는 방호림조성에 관한 연구문헌이 매우 다양하지만, 본 논문작성에는 주로 북경임업대학교의 기존 연구성과를 기준으로 작성하였다(張克斌, 1996; 孫保平等, 1997; Wang Lixian et al, 1996; Wang Xian et al, 1999; Ci Longjun, 1997). 그리고 일본에서도 사막화에 관한 연구를 많이 하고 있지만, 특히 방호림·방풍림에 관해서는 眞木太一の 연구논문이 많이 인용되었다(眞木太一, 1993, 1994, 1995, 1996). 우리나라에서는 중국의 방호림에 관한 연구가 아직 보고된 바 없다.

이 연구수행의 목적은 중국에서의 경관-생태 방호림조성의 현황조사 및 유형에 따른 특징의 분석, 방호림조성 수준의 선정 및 경관성 평가에 관한 적정성 등을 검토하고자 함에 있다.

지난 3년간 중국의 사막화방지에 관한 이 연구과제를 수행할 수 있도록 연구비를 지원해준 과학기술부, 한국과학기술평가원에 심심한 감사를 드리고자 한다. 또한, 한·중 국제공동연구의 중국측 연구자인 북경임업대학교(中國北京 林業大學 水土保持學院)의 왕리산(王禮先)교수, 선바오핑(孫保平)교수, 장계빈(張克斌)교수, 허징탕(賀慶堂)교수(전임 교장)님들과 황파시험장(黃峽苗圃) 직원님들, 그밖에도 이 연구수행에 많은 협조를 해주신 분들께 깊은 감사를 드린다.

## II. 연구방법

중국의 사막화·황막화지역에서 방호림·방사림·방풍림의 중요성은 “아무리 강조하여도 부족하다”고 한다. 중국의 황막화지역에서 농사를 짓거나 가축을 양육하기 위해서는 먼저 방호림을 조성해야 한다. 그러므로 중국의 황막화지역에 가보면 어떤 형태로든지 방호림이 조성되고 있으며, 방호림의 조성이 매우 성공적인 지방도 적지 않으므로 여러 지역을 모두 답사해서 그 내용을 조사하기는 곤란할 것이다. 중국에서는 삼북방호림건설사업을 1978년부터 시행하면서 이른바 「녹의 만리장성」을 조성한다.

방호림의 조성방법 및 그 효과 등을 조사하기 위하여 답사한 방호림조성지 및 시험장은 주로 내몽고자치구에 위치하였다. 내몽고자치구의 동부에 위치한 츠펑(赤峰)지역의 농지방호림·커얼친사지(科爾沁沙地)의 목초지방호림, 중·서부에 위치한 샤파두(沙波頭)사막연구소, 중부에 위치한 바토우(包頭), 동생(東勝), 탕구우(噶口), 그리고 마우스사지(毛烏素沙地), 커얼친사지(科爾沁沙地), 쿠부치사막(庫布齊沙漠), 우란부허사막(烏蘭布和沙漠), 텡거리사막(騰格里沙漠), 그 밖에도 北京, 大興 및 密雲, 중국의 중·남부지역 등을 답사하였다.

그리고, 북경임업대학교에서 베이징시 다싱(大興)현 황파시험장 주위에 경관-생태 방호림조성에 관한 장기적·총괄적인 시험연구를 수행하고 있으므로 여기에서의 시험연구자료를 인용하였다. 즉, 이 연구는 우선 중국의 방호림조성에 관한 연구문헌을 수집하여 검토하고, 검토·분석한 자료를 기준으로 방호림 조성지를 답사하여 그 조성기술 및 효과를 분석하였으며, 구체적으로는 북경임업대학교의 다싱시험지에서의 관측자료를 활용·분석하였다.

## III. 연구결과 및 고찰

### 1. 경관-생태-방호림의 조성기술

1) 건조지역 농경지 보호용 방호림대 조성기술  
1950년대 후반에, 썬장 임업연구원에서는 타

크리마칸(Taklimakan)사막의 오아시스 주위와 구얼반 텅거트(Gurban Tungute)사막내의 고비땅(Gobi lands) 및 사막지역에서 개간한 농경지를 보호하기 위하여 대규모로 농지보호방호림대(farmland protective shelterbelts) 조성에 관한 시험을 실시하였다(Zhang Kebin, 1998).

농지보호를 위한 좁은 방호림대(shelterbelt)는, 바람이 적절히 통과하여 바람으로부터 농작물 보호효과를 증가시키고, 또한 모래매몰 및 모래퇴적으로부터 농지를 방호한다. 이와 같은 방호림대망은 보통 상풍 · 주풍방향에 수직으로 배치한다. 나무를 심는 두개의 주(主)수림대(two tree belts) 사이의 거리는 120~200m, 부(副)수림대 사이의 거리는 300~600m로서 두개의 주 띠 거리의 2배로 한다. 농지보호방호림대는 도로 및 수로와 밀접하게 관계되며, 또한 관개, 저렴한 시공비, 시공의 용이성 및 유지관리 등과도 연관된다(Zhang Kebin, 1998).

## 2) 반건조 초원지역 보호방호림대 조성기술

커얼친(科爾沁 Horqin) 사지는 내몽고자치구의 오티타크(渾善達克 Otindag)사지의 동부와 西遼江(Xiliao river)의 중 · 하류에 위치한다. 행정구역으로는, 체리무(哲里木盟 Zhelimu)현과 츠핑(赤峰)시에 있으며, 전체면적은 약 42,300km<sup>2</sup>이다. 이 지역은 주로 산림초원과 방목지의 토지경관으로 특징되며, 동물생산이 전통적인 경제활동이 된다. 지난 세기동안 인간활동과 자연재난은 이 지역의 생태적인 여건을 크게 변화시켰다. 숲은 벌채되고, 초원과 목야지는 사막화되었다. 사막화의 결과로서, 토지생산성은 저하되고 불안정하게 되었으며, 지방농민과 목부들은 토지퇴화로 인하여 고통을 받게 되었다. 커얼친사지에서 근본적인 사막화의 원인은 인구의 증가, 경작지의 감소, 초원에 과방목, 조림의 부족과 계속적인 모래의 이동 등에 있다. 1970년대부터, 지방정부와 주민들은, 만일 그들이 직면하고 있는 문제점과 제한요인을 해결하고자 한다면, 그들 스스로 서로 도와야 한다는 것을 분명히 알게 되었다. 결과적으로 다음과 같은 방호림대망조성 기술이 개발 · 실행

되었다(Xiang Kaifu, 1990; Zhu Guangyao, 1996).

### ① 모래침입을 막기 위한 방풍림 조성

주로 모래의 침입을 방지하고 이동사구를 안정하기 위하여 방풍림(Windbreaks)이 대규모로 조성되었다. 농지, 목초지 농장 및 방목지 주위에 어린 묘목을 묘포에서 이식하였다. 이와 같은 방풍림대 조성에는 *Caragana korshinskii*, *Caragana microphylla*, *Hippophae rhamnoides*, *Populus simonii*, *Populus nigra*, *Populus euramericana Robusta* 등이 선발되었으며, 식재간격은 2×2m 혹은 2×4m이었다. 예컨대, Grass Kulun(보호초지/사료농장)은 위에서와 같은 혼식으로 잘 방호되었다.

### ② 식생조성에 의한 인공적인 사구고정

이동사구와 풍식지역에 관목과 초류를 식재하여 성장시켰다. 인공식재 및 항공파종방법이 적용되었으며, 이러한 식재 혹은 파종에 의한 녹화지역은 생물적 폐쇄(생울타리) 또는 철조망을 쳐서 보호하였다.

묘목식재활착율은 90% 정도로 매우 높았으며, 식재 활착후 식생피복도는 75~80%로 높았다. 이러한 조림에는 *Salix flavida*, *Caragana microphylla*, *Hedysarum mongolicum*, *Melilotus albus*, *Artemisia campestris* 등이 식재되었다.

### ③ 풍식으로부터 농지와 방목지를 보호하기 위한 수림대 조성

농지에서는, 300×400m와 200×300m의 수림대(tree-belt)가 풍식으로부터 농지를 보호하고 풍속을 감소하기 위하여 조성되었다. 방목지에서는 400×500m, 300×400m, 200×300m 크기의 수림대가, 충분한 목초공급과 안전한 방목을 확보하기 위하여 조성되었으며, 수종은 *Pinus sylvestris* var. *mongolica*, *Armeniaca sibirica*, *Zyziphus jujuba* 등이었다. 보통, 방풍림의 너비는 8~12m, 4~8열로 조성하였다. 식재간격은 2×2m, 2×3m, 2×4m 등으로 다양하였다.

### ④ 사막의 주변에 방풍림 및 방사림의 조성

오아시스 주변에 방풍림(windbreaks)과 방사림(sandbreaks) 조성은 다음과 같이 시행한다.

- 오아시스 주변에 수목·관목·초류의 방사림대 조성

- 오아시스 내부 및 주변에 방풍림대 네트워크 조성
- 수로/저수지 보호 및 도로 보호 식수대 조성
- 마을 주위에 보호망 및 식수대(plantation belt) 조성
- 목야지 보호 방호림대 조성
- 습지 혹은 염성토양에 관목-초류 식재대 조성
- 연료림 조림, 현금수목 및 용재림 조성

또한, 이상에서 기술해온 방풍림대와 방사림대는 다음과 같은 목적을 가지고 조성한다.

- 오아시스의 주변에서 이동하는 모래를 방지하기 위하여 인위적 혹은 생물적 울타리를 쳐서 현존하는 오아시스를 보호하기 위하여,
- 오아시스의 미세기후를 개선하고 오아시스 생태계의 안정성을 유지하기 위하여 벗짚 덮기와 관목의 식재에 의하여 모래를 안정하기 위하여,
- 오아시스 내부 혹은 주위에서 모래퇴적 및 풍식으로부터 수로/저수지와 농지를 보호하기 위하여 울타리를 설치한 지역 내부에 수목, 관목 및 초류로 구성된 복합적인 방풍림대 및 방사림대를 조성하기 위하여,
- 특별히 사진(沙塵) 및 열풍이 심할 때에 모래재해로부터 마을을 안정하기 위하여,
- 무더운 계절에 발갈이 가축에게 얇은 그늘을 제공하고, 식물이 자라는 기간동안 다소의 신선한 사료를 공급하기 위하여,
- 난방 및 요리용 연료목재를 어느 정도 공급하고, 또한 10년 혹은 더 이상의 생장후에 주택용 목재를 수확하기 위하여.

이와 유사한 사례를 중국에서 대부분의 건조, 반건조 및 건조 반습윤지역에서 찾아볼 수 있다. 유린(榆林)현은 쑤시성(陝西省)의 서부에 위치하고, 황토고원(Loess Plateau)과 마오우스사지(毛烏素沙地)의 전통적인 지역에 속한다. 사막 및 사막화 영향받은 토지의 전체 면적은 약 24,400km<sup>2</sup>로서 유린현의 전체 토지면적의 약

56.1%를 차지한다. 유린현의 역사는 곧 인간이 사막화와 투쟁한 사실인 것이다. 1500년전으로 돌아가서, 유린현은 밀생 숲 및 삼림과 사막초원으로 식생지였다. 지난 과거 시대에 전쟁과 농지의 과개간으로, 대부분의 식생은 심각하게 피해를 받았고, 삼림파괴는 심한 오지까지 이주하는 악영향을 미치게 되었다. 이러한 일은 금세기까지 계속되었다. 이동사구와 과방목은 이 지역에서 주요한 피해요인이며, 작물경작 및 축산경영에 큰 피해를 초래하였다.

1950년대부터 유린지역의 주민들은 우선적인 정책하에 모래확산에 대항하여 계속적으로 투쟁하기 위한 방사조직을 구성하였으며, 방호림 조성기술을 개발하였다. 이지역에서는 방풍림과 방사림 조성을 위하여 많은 노력을 경주하였는데, 특히 신규 경작지 보호를 위한 다열 수림대 조성식재, 동물에게 신선한 사료를 공급하기 위한 수림조성, 도로 및 마을주변 녹화조림, 농가용 목재생산을 위한 마을주변 숲 조성, 과수원 조성 등으로 개변하였다.

### 3) 사구고정을 위한 오아시스와 마을주변의 방호림조성기술

이동하는 사구가 오아시스와 마을로 침투하는 것을 방지하기 위하여 일반적으로 바람이 통과하지 않는 방호림이 종종 오아시스와 마을 주변에 조성된다. 교목은 보통 바람이 불어가는 바람의지쪽에, 관목은 바람이 불어오는 바람받이쪽에 식재된다. 이동하는 사구 내에서의 교목과 관목의 생장을 촉진하기 위하여 특별한 식재방법이 이용되고 있다.

바람이 사구의 위쪽 부분을 침식하는 이동사구에 대해서는 바람이 불어가는 쪽을 따라서 설치하며, 사구의 위쪽이 평평해지면 관목을 여기에 식재하고, 교목은 관목 사이에 식재된다. 또한 보통 짚, 식물줄기, 나무가지 등을 포함하는 마른 식물재료와 점토, 아스팔트 등을 이용하여 모래의 이동을 정지하기 위한 “평행장벽”과 “격자상장벽”을 설치한다. 관목은 이들 장벽의 안에 식재된다. 장벽은 주풍에 대하여 평행하거나 직각 방향으로 설치한다. 만일 풍

향이 바뀐다면, 격자를 형성하기 위해 십자형의 장벽을 설치한다(眞木太一, 1996).

이 방법을 이용하면, 바람이 불어 가는 쪽에 있는 모래 또는 격자상의 장벽내에는 침식의 위험이 없이 관목이 식재되기에 충분할 정도로 사구가 안정되게 된다. 장벽에 의해 보호받는 거리는 장벽의 높이에 비례한다. 평행장벽은 보통 높이 15~25cm, 2~4m의 간격으로 설치한다. 격자상장벽은 1개 구획면적을 2~4m<sup>2</sup>로 설치한다.

농경지의 보호를 위한 방호림의 주 수림대는 보통 주풍의 방향에 직각으로 설치한다. 2개의 주 수림대의 간격은 120(200)~200(300)m(수림대 높이의 약 15~25배)이고, 2개의 부 수림대간의 간격은 300~600(800)m이다(2개의 주 수림대간의 거리의 2배). 수림대들은 보통 도로와 수로에 복합적(겸용)으로 이용될 수 있고, 관개하기 쉽고, 설치와 유지관리하는데 경제적이며, 많은 공간을 필요로 하지 않아야 된다.

#### 4) 철로변 사구고정용 방호림조성기술

사풍(沙風)에 의해 위협받고 있는 중국의 사막에는 현재 수천 km의 철로가 놓여져 있다. 사풍(沙風)과 이동사구는 철도 선로를 매몰하고, 기차의 탈선을 유발시키고 있으며, 표류하는 모래입자가 기관차와 화차 그리고 기타 시설들을 침식한다.

철로를 보호하는 방식은 지역마다 차이가 있고 다르다. 고비사막에서는 식물의 생장에 물을 이용할 수 없기 때문에 기계적인 방법으로 이동사구를 고정하고 철로를 보호하고 있다. 강우량이 약간 있는 초원·스텝(steppe)지역에서는 식물의 식재가 가능하기 때문에 철로의 양변에 방호림이 종종 식재·조성된다. 바람이 불어오는 바람반이쪽의 폭은 200m가 넘는다. 방호림은 22m 폭의 5개의 작은 벨트로 구성되는데, 벨트간의 간격을 좁게 식재한다. 바람이 불어가는 쪽의 방호림은 100m 폭에 3개의 작은 방호림대로 구성된다(姚云峰 等, 1998).

기계적인 식재방법은 사막-스텝지역에 복합적으로 사용된다. 전형적인 보호시스템은 관개

된 수림대와 장벽으로 혼합된 수림대로 구성된다. 관개된 수림대는 철로의 바람이 불어오는 쪽에서는 60m의 폭으로, 바람이 불어 가는 쪽에서는 40m의 폭으로 조성되는데, 이들 수림대는 모두 철로로부터 10~20m 떨어져 있다. 관목과 장벽의 모래고정 벨트는 관개된 수림대의 바깥쪽에 있으며, 바람이 불어오는 쪽에 약 220m의 폭으로 있고, 철로의 바람이 불어 가는 쪽에 150m의 폭으로 설치된다. 짚(밀집)으로 만든 격자상의 "방벽"(草方格)은 식재 전에 건설되며, 이것은 1m×1m의 넓이에 10cm의 높이로 설치된다(王礼先 等, 1994; 治沙造林會, 1984; 李濱生, 1992).

#### 5) 삼북방호림체계건설사업(三北防護林體系建設事業)

삼북(三北: 東北·華北·西北地域)지역에, 특히 헤이룽장성(黑龍江省)에서부터 내몽고자치구를 관통하여 쑤장(新疆)자치구까지의 남북 400~1,700km, 동서 6,000~7,000km에 미치는 대규모 방호(방풍)림대(防護·防風林帶: 「綠의長城」·「大그린벽」計劃): 그린벨트의 조성 계획을 국가사업으로 하여 1978년에 개시하였다. 본부는 링샤(寧夏)자치구의 인천(銀川市)에 위치하여 활동하고 있으며, 현재까지 큰 성과를 거두었다.

삼북방호림체계건설 제1단계사업은 3기공사로 구분되는데, 제1기공사기간(1978~1985), 제2기공사기간(1986~1995), 제3기공사기간(1996~2000), 그리고 2050년까지 공사기간은 73년간이다. 제1기공사기간에 인공조림 459만ha, 제2기공사기간에 인공조림 900만ha, 봉산봉사육림 433만ha, 항공과종조림 40만ha, 영성식수(零星植樹) 40억주의 실적을 거두었다.

이 사업은 만리장성(萬里長城: 6,700km)과 같은 명칭으로 「綠의長城: Green Great Wall」으로 불리게 되었다. 이 계획에 의해서 농지, 도로, 수로의 방호림을 조성하게 되었다. 동북부에는 성장이 빠르고 재목으로 이용할 수 있는 포플러를 주로 조림하고 있지만, 쑤장에서는 환경이 열악하여 여러 수종으로 조림하고 있

다. 농업한계지역에는 건조, 한냉(寒冷)·고온이 문제가 되므로 방풍림이 불가피하다. 녹화는 방풍림이 조성된 다음 단계에 가능하다.

방호림(防護林)은 방풍림은 물론 방재림(防災林), 수원함양림(水源涵養林), 경계림의 광범위한 내용을 포함하고 있다.

방호림계획의 목적은 ① 체계적 건설의 강화, ② 중요사업의 추진, ③ 치산·치수의 추진, ④ 생산활동과 주민생활의 결합, ⑤ 과학적 조림의 강화, ⑥ 경제적이익의 증시에 있다.

허이룽장성에서는 다음과 같은 성과를 얻었다.

- ① 조림면적의 대폭 증가 : 1978~1988년중 실시한 110만ha의 조림(97만ha 생존)은 1949~1977년의 실시량의 4배에 해당된다.
- ② 녹화추진 : 농촌과 농업용 도로의 총면적에 대한 녹화면적율은 1977년의 4.3%에서 1988년 11.3%로 증가하였다.
- ③ 생태적 효과의 실현 : 방호림에 의해 풍속은 20~25% 감소, 증발량은 90% 감소, 지온은 0.9~1.4℃ 상승, 무상기간(無霜期間)은 2~6일 증가했다.
- ④ 농작물의 증수 : 재배면적은 9.5% 증가, 총수량은 94.2% 증가, 평균수확은 77.6% 증가했다. 예로 고랭지의 극산농장(克山農場)에서는 평균수확이 3배로 증가했다.
- ⑤ 환경개선과 공업·부업생산물의 발전 : 과실생산 및 목재가공 등 산업이 발전되고, 농민의 평균수입은 1977년의 93원에서 1985년의 365원, 1989년에는 400원 이상 되었다.

구체적인 성과는 『中國10大林業生態建設工程』(張志達, 1997)에 보고되었다.

#### 6) 방호림조성 주요수종

이 연구대상지인 다싱현 쌍마팡(Sangmafang) 시험구에서는 방호림망의 방호효율에 대한 전면적인 조사연구가 수행되고 있다. 현재 이곳에서는 방호림의 조성에 적합한 수종(毛白楊 등)을 선발하여, 조정-경관-생태형 방호림 조성을 위한 배치·설계 방법에 대한 실험을 현지

에서 실시하고 있다(張克斌, 1996; 孫保平等, 1997).

현재 중국내에서 방호림을 조성하는데 주로 사용되는 수종은 북서지역에서는 *Populus alba* (銀白楊), *P. bolleana* (新疆楊), *P. nigra* var. *thevestina* (箭杆楊), *Fraxinus sogdiana* (小叶白蜡), *F. americana* (大葉白蜡), *Ulmus leavis* (大葉榆), *Elaeagnus angustifolia* (沙棗(香柳)) 등이고, 북동지역의 서쪽부에서는 *Populus simonii* (小叶楊), *P. pseudosimonii*, *P. canadensis*, *P. simonii* × *P. nigra* (小楊), *Ulmus pumila* (白榆), *Pinus sylvestris* var. *mongolica* (樟子松) 등이다(Xiang Kaifu, 1990; Maki et al, 1993a, 1993b, 1994a, 1994b).

한편 방호림의 보호 효과를 높이기 위해서는 *Amorpha fruticosa* (紫穗槐), *Tamarix chinensis* (檉柳, 紅柳)와 같은 관목류를 방호림 수림대의 양쪽에 식재하고 있다(朱震達, 1997).

또한 철로를 보호하기 위한 방호림을 조성하고, 철로변의 사구를 고정하기 위하여 사용되는 주요 수종은 *Elaeagnus angustifolia* (沙棗(香柳)), *Robinia pseudoacasia* (棘·刺槐), *Populus* spp. (楊類), *Hedysarum scoparium* (花棒), *Caragana microphylla* (小叶錦雞兒), *Salix* spp. (柳類), *Amorpha fruticosa* (紫穗槐), *Artemisia* spp. (油蒿類) 등이다.

## 2. 경관-생태-방호림의 기본유형 및 특징 분석

### 1) 방호림의 기본유형계획

① 방풍림의 배치와 갱신 : 주방풍림(主防風林·第1防風林)은 주풍향(主風向)에 대해 직각방향으로, 부방풍림(副防風林)은 주방풍림에 대해 직각으로 배치한다. 임대폭(林帶幅)은 8~20m, 4~10열 정도로 내풍성 수목이 식재된다. 관개농업(灌溉農業) 지역에서는 용수로에 대해 직각으로 배치하고, 그 용수로에 평행으로 부방풍림(副防風林)이 배치되기 때문에, 일반적으로 400×400m의 바둑판 모양으로 배치하게 된다. 또 강풍지역이나 풍식지역(風蝕地域)에서는 방풍림 간격은 100m 또는 200m정도로 하고 있다(Xiang Kaifu, 1990).

방풍림의 갱신방법에 있어서는, 신식방풍림(新植防風林)은 벌채한 방풍림의 8~10년 전에

8~10m 때어 식재하고, 신방풍림(新防風林)이 방풍효과를 발휘하게 되면 구방풍림(旧防風林)은 개별(皆伐)되고, 벌채한 목재는 이용된다.

② 방풍림의 구조 : 방풍림의 구조에는 다음의 세 가지 형태가 있다.

㉑ 풍식(風蝕; 風沙)이 심한 지역에서의 통풍형(通風型) 구조 : 이것은 방풍림의 밀폐도를 50% 이하로 하여 하층(下層)은 바람이 통과하고, 모래의 퇴적이 그다지 많이 일어나지 않도록 한다. 보다 고밀의 경우에는 매몰해 버리지만, 퇴사용의 목적으로는 고밀폐도의 수목을 이용한다. 나무가 모래로 덮이기 때문에, 신장수종(伸長樹種 : *Tamarix* 등)이 아니면 성장하기 곤란하다.

㉒ 하천부근에서의 모래날림에 의한 피해가 심한 지역에서의 엷은 틀 구조 : 풍식(風蝕)의 정도는 약해도 광범위한 모래가 이동된다, 방사(防沙)를 목적으로 하기 때문에, 임대폭(林帶幅)은 좁고, 밀폐도는 50% 정도로 한다.

㉓ 농지 및 과수원에서의 사구피해가 심한 지역에서의 폐쇄형(閉鎖型) 구조 : 오아시스 방풍림의 배치에서는 밀폐도를 70% 정도로 비교적 높게 해, 100~200m 마다 격자상(格子狀)으로 배치한다.

③ 방풍림의 수종 : 동북부[하얼빈, 내몽고 츠핑(赤峰)현 등]의 방풍림에는 小葉楊, 北京楊, 鑽天楊, 馬里蘭楊(加拿大楊), 黑楊 등의 포플러가 주체를 이룬다. 기타 활엽수 및 침엽수가 이용되는데, 버드나무屬 수종, 油松, 榆, 다릅나무, 아까시나무, 오동나무(桐) 등이 식재된다. 이들 수종은 연료용 수목, 경제성 수목, 간작(間作)용 수목 등과도 혼용된다(眞木太一, 1996).

## 2) 방호림에 관한 시험연구

① 방풍림 연구의 필요성 : 1948년 이후, 국민들은 농지의 풍수해를 방지하지 않고는 농업의 목적을 달성할 수 없다는 것을 인식하고, 농업 관계 부문의 농업부, 임업부, 수리부, 농간부(農墾部)로부터 성(省)·인민공사(人民公社)와

같은 여러 관계부처에서 방풍림에 대한 연구가 실시되고, 또 방풍림 시험장(예; 樟古台)이 설치되었다(眞木太一, 1987, 1989, 1993, 1996).

② 樟고우타이(樟古台) 시험장의 설치 : 료우닝성(遼寧省) 樟고우타이(樟古台)는 쉐양시(瀋陽市)의 북서 200km의 내몽고 구계(區界) 가까이 있고, 시험장은 커얼沁사지(科爾沁沙地) 동부에 위치한다. 이 지역은 커얼沁사지(科爾沁沙地)의 동쪽 끝에 있고, 풍사(風沙)가 격렬한 곳에서, 300년전엔 농지였지만, 40년전까지는 모래땅이 되고 있어, 농지가 유사(流沙)에 매워지고 있는 마을에서는 100년간에 3회 이상 이동하지 않을 수 없었다. 이 시험장의 임무는 모래의 이동에 대한 방지책과 방풍림을 건설하는 것이다.

설립 당초는 실패한 것도 있었지만, 그 후, 방풍림의 건설에 의해서, 620ha의 유동사구(流動沙丘)가 고정되고, 1,580ha의 모래땅에 숲이 조성(植林)되었다. 1980년경에는 183ha의 방풍림을 조성해, 1,121ha의 농지가 보호되었다. 이와 같은 방풍림으로 농업 생산은, 좋은 곳에서는 2.5배가 증가되고, 또 포도, 배, 사과나무의 과수원도 조성할 수 있었다.

③ 수목에 의한 사지(沙地)의 안정화 : 관목(灌木)이 사지(沙地)에 활착한 뒤에, 수목이 식재되고, 또한 관목과 병행하여 수목이 식재되는 방법이 있다. 유효한 관목은 싸리, 小葉錦雞, 箬屬(差巴復蒿), 다릅나무, 버드나무屬(黃柳)의 5종이고, 사질고지(沙質高地)에서는 樟子松, 油松, 小青楊포플러(靑楊과 小葉楊의 친연교잡종), 개물푸레나무 등의 5가지 수종이었다. 저지대에서는 느릅나무와 北京楊이 선정되었다. 장고대(樟古台)에서는 小青楊이 방풍에 가장 효과적이고, 임대폭(林帶幅) 8~12m의 방풍림대(防風林帶)를 300m의 간격으로 주풍향에 직각으로 설정하면 효과가 가장 높았다. 부방풍림(副防風林)은 폭 6m로 500m 간격으로 조성되고, 300×500m의 격자상(格子狀)으로 오아시스가 조성되었다(Maki et al, 1993, 1994; 眞木太一, 1996).



3. 경관-생태-방호림의 주요기능 및 효과분석

1) 방호림의 일반적인 효과 및 편익

방풍림이 특히 필요한 곳은 삼림파괴가 심한 지역이며, 이곳에서는 방풍림조림에 의한 효과는 대단히 크다. 물론 조림효과 이외에도 수리 시설(水利施設), 토지개량, 시비 등에 의해 생산량이 배가되기도 한다. 따라서, 각지에서 가장 농업생산을 감소시키는 제한요인을 찾아내 개량하면 좋을 것이다. 예를 들면, 강풍, 비사(飛沙), 한풍(寒風) 등의 방지가 필요하다면, 그것은 방풍림이고, 가뭄인 경우에는 관개·용수시설인 것이다.

방풍림에는 농업생산량의 증가를 농민 자신이 구체적으로 평가할 수 있는 것과 동시에, 조림을 통한 일체감과 녹화로서의 적극적인 태도의 표현이 가능하고, 또한 농촌환경의 개선, 미화 등 생활환경에 미치는 효과·이익도 대단히 큰 것이다.

방풍림의 효과의 수량화, 이익의 정량적 평가는 어렵지만, 그것은 농림축수산업 전반에 걸쳐서, 생태계의 바란스, 연료, 환경보전(氣象, 土壤, 水) 등의 지극히 큰 다양한 효과가 있다. 방풍림의 효과로서, 토지의 개량, 사구지(沙丘地)의 감소, 농업생산의 급증 등 많은 사례가 조사되고 있다. 료우닝(遼寧省)의 장국태 인민공사(張國泰 人民公社)에서는 곡물(穀物) 및 과수생산 6~14배 증가, 가축 2~5배의 증가, 또 후난성(湖南省) 주주현(株州縣)은 5만ha에 7,400만분의 조림을 하고, 농업생산의 2배 증가, 가축의 증가, 또 쑤장(新疆)의 투루판(吐魯番)에서도 1,400km의 방풍림의 조성에 의해서, 오아시스 면적의 2배 증가와 식량, 목화, 피혁의 3배 증가 등이 1980년까지의 성과로서 보고되고 있다(眞木太一, 1996).

중국에서는 연간 1m<sup>3</sup>/인의 연료재가 필요하지만, 삼림면적은 1949~80년에 2,600만ha 증가했다고는 하여도, 0.12ha/인 밖에 없어, 생산량은 2.6m<sup>3</sup>/인이기 때문에, 연료만으로도 그 40%의 삼림생산량을 소비하고 있는 것이 된다(野村, 1988). 그런데, 방풍림에는 부족한 목재, 연료재를 상당한 정도 보급할 수 있는 자원기능

이 있다.

방풍림은 농업생산의 미기상 환경을 개선하고, 생산성을 높인다. 또한, 방풍림에 의한 농산물의 성장기간을 연장시키고, 종자와 묘목이 모래에 메워지거나, 비산하는 것을 방지하고, 작물의 풍해(風害)를 방지하는 기능 등을 가진다.

2) 방호림에 의한 사막화지에서의 기상개량 및 완화효과 분석

방풍림의 주요한 기능인 기상개량 및 완화효과를 조사하기 위하여 중국 서북부의 투루판(吐魯番)에서의 시험자료를 인용하였다. 투루판 사막에서는 카레주(KAREZ)의 지하집수·도수 방식에 의한 관개방법을 개발하여, 작물을 재배할 수 있고 인간이 생활할 수 있게 되었다. 그러나 관개를 하지 않으면 작물의 재배는 불가능해지고, 충분한 관개를 행한다면 목화, 수수, 포도 등이 생육할 수 있다.

사막에서 농업을 영위하기 위해서는 방풍림이 필요하고, 방풍림의 질이 우수하지 않다면 작물의 다수확을 기대할 수 없다. 여기에서는 방풍림에 의한 기상개량·완화, 즉, 오아시스화에 의한 기초적 데이터를 제시하고 있다(眞木太一 等, 1994a, 1994b, 1995a, 1995b, 1995c, 1996).

① 사례조사 1 : 여름철 위성류 나무 1열 방호림에 의한 기상개량 효과 :

여름철 극고온·극건조기(예 : 1990년 7월 1~2일)에 투루판(吐魯番)에서 실시한 방풍시설에 의한 농지개량 및 광역의 기상완화사례를 보면, 여름철 위성류방풍림(높이 4.6m, 밀폐도 85%)에 의한 바람의 감쇄·기상개량(측정고도 : 풍속 1.5m, 기온·습도 1.0m)효과에 있어서, 일반적으로 감풍(減風)범위는 방풍림 높이의 5~20H(높이의 배수 거리, 방풍시설의 높이는 H의 배수가 표시된 거리, -는 바람받이 風上側, +는 바람의지 風下側) 정도이었는데, 몇 관측사례는 다음과 같다(眞木太一, 1996).

- 7월 2일 6시 : 상대풍속(Ur)(풍상 - 20H지점의 높이 1.5m의 풍속을 기준치로 함)의 감소가 크며, 효과범위는 넓다. 방풍림에 바람이 불기 직전의 그늘이 저온이 되었으

며, 바람이 분 직후는 일사에 의해 고온이 되었다. 또한 수목의 있으므로 증발에 의하여 가습효과가 현저하였다. 기온(Ta)은 지표면온도(표면지온)(Ts)의 변화가 적고, 방풍림의 직전·직후의 양지·음지에서 변화를 나타내고 있었다.

- 7월 2일 12시 : 상대풍속의 변화 범위는 약간 협소하였으며, 15H(배)까지 나타났다. 지표온도는 방풍림 이후, 특히 바람받이쪽에 80℃가 되며, 방풍림내에는 그늘로 28℃까지 내려갔다. 상대습도는 바람이 분 직후에 높고, 방풍림에 의해 온도의 상승이 현저하였다.

건조지의 여름철의 방풍림 효과는 방풍림부근에의 감풍, 증산작용에 의하여 가습, 야간의 온도하락이 나타났다. 주간의 온도상승은 불리하지만, 종합적으로 볼 때 식물생육에 대한 방풍림의 효과는 컸다.

② 사례조사 2 : 봄철의 위성류 2열 방풍림에 의한 기상개량 :

2열의 위성류 방풍림과 퇴사(堆砂)상황 및 이의 단면형상은 그림 1(眞木太一 等, 1994a)에서와 같다.

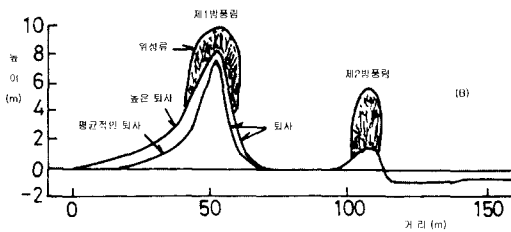


그림 1. 사막에 2열 위성류 방풍림의 배치와 퇴사상황

여기에서 관측선상의 수림대 폭은 제1방풍림(1열, 광풍림)은 넓게 19m, 제2방풍림(2열, 협풍림)은 13m로 좁게되어 있다. 넓은 폭, 좁은 폭의 방풍림대의 전체 높이는 각각 10.0m, 5.5m이었으며, 평균수고는 각각 2.5m, 4.0m이었다. 밀폐도는 모두 상층부는 50%, 중·하층부는 100%이다. 1992년 4월 24~25일에 방풍림에 의한 관측결과(측정고도 : 풍속 1.5m, 기온·습도

1.0m)는 다음과 같다.

- 4월 25일 15시반 : 풍속의 약화가 현저하고, 방풍림에 의한 풍속의 약화 현상이 증가되었다. 지표온도는 임내의 경우 음지에서 낮고, 보통 정상부는 일조에 의하여 온도가 높다. 습도는 매우 낮고, 바람의지쪽 숲에 습도가 올라갔다. 기온은 상승하는 것이 보였다.
- 4월 25일 18시반 : 강풍에 모래먼지가 극심하며, 전형적인 방풍효과가 나타났다. 풍속은 바람받이쪽의 7~8m/s가 임내에서 약 1m/s(정상부에는 최강)로 감소하며, 임간에는 3~4m/s로 회복되며, 다시 바람의지쪽에 감풍된 후 6~7m/s로 회복되었다. 이 풍속의 회복은 매우 빨랐다.

③ 사례조사 3 : 여름철 위성류 2열림에 의한 기상개량 :

여름철 극고온·건조기(1992년 7월 14~16일)의 2열의 위성류 방풍림에 의한 기상개량 효과는 다음과 같다. 전술한 춘기와 같은 방풍림을 이용하였으며, 방풍림에 대한 풍향은 역풍이었다.

- 7월 14일 13시 : 바람받이쪽의 강한 바람이 방풍림내에 들어오면 급격히 감소하고, 통과 후에는 적게 회복되며, 바람의지쪽의 방풍림에 의하여 다시 감소한다. 지표온도는 방풍림내에는 음지에서 20℃ 이상 낮아진다. 방풍림내의 퇴사의 정상(점선부)에는 70℃를 넘는다. 기온은 임내에 적게 감소하고, 습도는 높다(眞木太一, 1996).
- 7월 15일 5시 : 바람받이쪽 방풍림내에는 무풍상태가 되며, 2열의 방풍림대 사이에는 약간 강한 바람이 분다. 지표온도는 바람받이쪽 방풍림에서 보온된 것으로 높고, 임간에는 23℃로 낮다. 또한 바람의지쪽 방풍림내에는 25~26℃이며, 이것의 바람의지쪽에는 다시 저하된다. 기온은 역으로 바람받이쪽 방풍림내에는 1℃가 낮고, 또한 바람의지쪽 방풍림내에는 2℃가 낮다. 습도는 바람받이쪽 방풍림에 5% 정도이며, 바람의지쪽 방풍림에는 13%로 가습되어

62%를 나타낸다. 이 방풍림의 바람의지족(입외)의 수치는 고습한 공기가 바람에 의해 바람의지족으로 유입된다. 특히 아침, 저녁의 가습효과가 컸다.

방풍림에 의한 기상개량효과에 관한 요지는 다음과 같다.

- 위성류 방풍림의 감풍에 의한 기상개량 및 완화효과는 현저하였다.
- 방풍림에 의한 봄철, 가을철의 승온 및 여름철과 야간의 강온은 적절히 조절된다.
- 위성류나무 방풍림은 밀폐도가 높으므로 감풍이 현저하다. 또한, 지엽이 가늘므로 정류작용(整流作用)으로 감풍효과범위가 넓다.
- 앞에서의 증산에 의한 가습효과가 크고, 건조지에는 유효하다.
- 여름철과 한낮의 기온, 지온의 방풍림에 의한 과잉승온은 방풍벨트의 경우보다 적고, 겨울철과 야간의 보온효과도 큰 특징이 있다.
- 복수열의 방풍림(50m 간격)에서는 바람받이쪽(風上側)의 방풍림의 영향을 받는다. 특히, 습도의 경우에는 가습효과가 크다.

### 3) 방호림에 의한 농경지에서의 기상개량 및 효과분석

① 관측시험사례 1: 1994년 6월 15일에 胡楊·榆(느릅나무)·沙囊방풍림(높이 7m, 평균 밀폐도 70%: 상층 70, 중층 80, 하층 60%, 방풍림은 3열)에 의한 풍속(측정높이 1.5m), 지표면온도·지표온(지표면), 기온, 습도(측정높이 1.0m)에의 영향은 다음과 같다(眞木太一等, 1994a, 1995c, 1995d).

- 6월 15일 14시: 풍속은 방풍림에 의하여 풍상측 -5H의 전방에서 감소하여, 방풍림 부근에는 80% 가까이 감소하며, 방풍림의 중앙부에는 94%까지 회복된다. 통과하는 바람은 1H의 30%까지 감소하다가 회복되며, 2열의 바람받이쪽 -2H에 88%가 회복되며, 다시 2열 및 도로를 만드는 것은 3열의 방풍림보다 약하지 않았다.
- 6월 15일 20시: 방풍림에 의한 야간의 기

상변화를 보면, 감풍효과는 앞에 나온 주간의 결과와 같으며, 1열의 방풍림내에는 하층을 통과하는 바람이 강하게 나온다. 상당히 강한 바람이 야간에 불고, 지표면, 기온, 습도의 변화는 적었다. 지표온도, 기온이 방풍림 전후에서 약간 높은 것은 감풍에 의하여 난류수송의 감소에 의한 보온작용 때문이었다. 한편, 방풍림에 의하여 가습효과가 인정되며, 방풍림의 바람의지족에는 기온강하에 의한 습도상승 현상이 나타났다.

○ 방풍림에 의한 농작물에 대한 효과분석사례: 건조지인 투루판(吐魯番)지역에 있어서, 오아시스를 만드는 여러 가지 방풍림에 의한 작물의 초장에 미치는 효과를 규명하고, 여름철 생육기의 초장과 가을철에 작물의 생장이 정지할 때까지의 최고의 초장을 조사해본 결과, 방풍림으로부터의 거리에 의한 목화의 초장의 변화를 측정하여 방풍림의 효과를 다음과 같이 평가하였다.

#### ② 목화밭에 대한 방풍효과

㉑ 목화의 초장: 胡楊, 榆, 沙囊방풍림에 의한 목화의 초장(1994년 6월) 변화를 볼 때 바람의지족 직후에서는 낮고, 2~9H에서 높고, 3H에서 가장 높았다. 또한, 2열의 방풍림의 전방 -2H 부근에서 상당히 높고, -1H에는 양·수분의 경합, 일조 등의 영향에 의해 낮았다. 또한 10~13H(바람받이쪽 -3H) 부근에는 낮았고, 이 부근에의 방풍림의 감풍효과의 저하와 관개수의 감소가 작물에의 효과를 저하시켰다.

㉒ 목화의 초장: 沙囊·胡楊 방풍림(높이 6m, 폭 11m, 밀폐도 70%)에 의한 목화의 생육상황(1991년 11월)을 볼 때, 초장에 대한 효과는 4~5H에서는 높고, 10H에서는 비교적 낮았다. 또한 2열의 沙囊·포플러방풍림의 경우에는 16H(2열의 풍상 -1H) 부근에 초장이 높았다. 방풍림지역에서 목화의 초장은 50~80cm 정도이었다. 건조조건하에서 환경이 열악하므로 방풍림에

의한 작물에 주는 효과범위가 협소하다. 또한, 수수의 초장의 변화는 목화와 유사하였다.

㉔ 목화의 수량 : 방풍림에 의한 목화의 수량에의 영향정도는 초장의 경우보다 현저하였으며, 건조지와 같이 기후가 열악한 지역에서는 효과범위가 그리 넓지 않지만, 기상개량에 의한 작물의 수량에의 영향정도가 명확하다고 평가된다.

③ 옥수수밭에 대한 영향

㉕ 沙囊, 위성류 방풍림(높이 6m, 폭 4m, 밀폐도 70%)의 관측결과는 방풍림의 바람반이쪽 1.5H 부근에서 상당히 높으며, 그 후 초장 220cm부터 감소하여 6.5H에서 170cm로 저하되었다.

㉖ 약간 낮은 포플러방풍림(높이 4m, 폭 1m, 밀폐도 50%)의 관측결과는 2H 부근에서 높고, 6H 부근까지 감소하였지만, 그 후 10H까지 대략 일정하게 된다.

㉗ 옥수수의 초장은 2H 아래에서는 상술한 방풍림의 효과와 대부분 같은 변화를 나타낸다. 이것은 옥수수 자체가 방풍과 기상개량의 역할을 하고 있으며, 건조지에 있어서 균락의 효과를 보여주고 있다.

더구나, 투루판(吐魯番)에는 옥수수를 봄에 파종하는 경우에는 여름철에 극단적으로 고온(45℃ 이상)에 의해 수정되지 않기 때문에 여름 파종재배를 실시한다(眞木太一, 1993, 1994).

#### 4) 방풍넛트에 의한 비사방지효과

가) 방풍넛트의 기상개량 및 완화효과 분석  
방풍넛트는 PE9G망(밀폐도 40%, 높이 1.9m, 길이 30m)을 이용한다. 이 망의 하층은 약 10cm가 열려 있다. 평행한 2열의 방풍넛트 간격은 50m(26H)이며, 강풍시의 주풍향(서풍)에 직각이 되도록 남북으로 설치하였다. 1992년 7월 14~16일의 기상변화(중앙부 측정높이 1.0m)를 관측하였는데 약풍때의 관측결과를 요약하면 다음과 같다(眞木太一, 1996).

• 7월 15일 5시 : 상대풍속의 최저는 1열에서 30%, 2열에서 50%이며, 풍속의 회복은 빠

랐다. 지표온도는 1열에서는 감풍에 의한 방사냉각으로 저온이 되며, 넛트 바로 밑에서는 회복이 되고 있다. 기온은 1~2열 간에서 0.5℃가 낮고, 상대습도는 기온의 변화와는 달리 4%가 높아 이른 아침의 특징을 보였다.

• 7월 16일 14시 : 풍속의 최저는 25~30%, 2열에서는 감풍이 10%로 크지만, 풍속의 회복은 빠르고, 7H에서 80%이며 15H까지 효과가 있다. 이것은 감풍상태의 간혹 2열의 넛트에 영향을 받았다고 볼 수 있다. 지표온도는 상당히 고온으로 81℃이며, 넛트의 전후에 온도가 상승되며, 바로 밑에는 음지와 강풍화가 일어나서 1열에서는 20℃, 2열에서는 10℃ 저하된다. 기온은 최고 46.8℃가 되며, 넛트 전후에서 상승하고, 직전·직후에서 낮아진다. 습도는 기온과 반대로 변화한다. 이러한 방풍넛트에 의한 기상개량효과는 다음과 같다.

① 방풍넛트의 감풍에 의한 기상개량·완화효과는 상당히 크다.

② 방풍넛트에 의한 감풍, 봄·가을의 온도상승과 여름, 야간의 온도 하강의 각 효과는 매우 적당하다.

③ 그늘에 의한 온도상승 억제효과는 적고, 여름, 주간에는 과다하게 온도 상승이 있다.

④ 방풍림에 의한 가습효과는 적지만, 감풍에 의한 풍식방지, 비사방지 효과는 기대할 만하다.

⑤ 방풍림의 생육은 장기간이 소요되지만, 방풍넛트는 단기간에 효과가 발휘되며, 방풍림 자체의 생육보호용으로도 이용할 수 있다.

⑥ 복수열의 방풍넛트는 바람반이쪽의 넛트의 영향이 2열 이하의 바람의지쪽의 넛트에 영향을 미치지만, 2열의 경우(27H, 고배거리의 간격)에는 2열의 바람의지쪽의 감풍범위는 좁게 된다.

#### 나) 방풍림의 비사방지 효과분석

① 1열 방풍림 : 1열의 위성류 방풍림에 의하여 1991년 8월의 퇴사상황조사에서 퇴사는 방

풍림내의 높은 장소에서 2.5m, 평균적 장소에서 1.5m, 낮은 장소에서 0.5m가 쌓였다.

퇴사범위는 방풍림의 전후 -6H~6H로 대체적으로 대칭된다. 이 이상 방풍림으로부터 분리된 풍식·퇴사의 혼합역에 변화가 있지만, 이는 주풍향, 역풍향시의 풍식에 의한 것이다.

② 2열 방풍림 : 1994년 4월의 2열의 위성류 방풍림에 의한 퇴사는, 전술한 그림 7의 단면도에 표시한 바와 같이 2열 방풍림에서도 퇴사가 인정된다. 강풍시의 주풍방향 W~WNW에 대한 바람받이쪽 숲이 되는 광폭방풍림대의 퇴사는 6.5~8.5m이며, 평균적으로는 7.5m이었다. 수림대의 바람받이쪽에는 퇴사가 많고, 바람의 지쪽 직후에 퇴사가 있으나, 감소가 빠르다. 한편 바람의지쪽 숲이 되는 협폭방풍림대의 퇴사는 1.5m 정도이다. 또한, 퇴사위의 위성류 숲은 바람받이숲에 2.5m, 바람의지숲에 4.0m로서 퇴사가 적은 쪽이 수고가 높다. 또한, 바람의지숲의 후방은 동계의 관개용수로 때문에 낮고, 퇴사는 제거된다.

다) 1열 방풍넷트의 효과

2종의 방풍넷트(밀폐도는 A넷트 40%, B넷트 45%)에 의해 1990년 11월~1991년 4월의 퇴사 상황은 높은 곳은 3H에 이르며, A넷트는 30cm, B넷트는 40cm이다. 넷트의 아래쪽을 5cm 정도 열게 되면, 퇴사가 없고, 상대적으로 강한 바람이 불게 되므로, 오히려 풍식이 발생한다. 또한 이 방풍넷트는 방풍과 풍식방지를 주목적으로 하며, 모래가 많이 퇴적된다고 생각되어 설치하지만, 설치후에 흙먼지와 식물의 종자 등이 부착되어 밀폐도가 높게 되고, 결과적으로는 상당히 많이 퇴적된다.

4. 경관-생태-방호림의 경관평가 분석

북경임업대학교에서는 베이징(北京)시 다싱(大興)현 황파(黃峁試驗區)에 생태-경제-조경-경관형 방호림 체계의 요구에 맞추어 방호림 계획·설계를 진행하고, 개조(改造)방안을 연구하고 있으며, 이미 착수된 기존 연구를 본 연구계획에서 그 결과를 측정한다.

이 시험지에서는 포플러 방호림대(楊樹防護林帶)에서의 개별 및 맹아갱신을 조사하고, 개별과 맹아갱신을 촉진하는 기술을 제시하며, 수림대(林帶網)의 점차적인 갱신에 대한 연구를 수행중에 있다. 또한 80년대 후기에 조성된 毛白楊(*Populus tomentosa*) 시험림의 임목생장과정에 대한 조사를 통하여, 적합한 방호림 수종선발실험을 실시하고 있다.

이 연구에서는 현재 조성된 방호림의 특성 및 효과를 측정하고 있다. 황파시험구내에 모백양, 족제비싸리, 아까시나무, 버드나무의 4수종을 식재하여 조성한 경지방호림대의 구조는 그림 2, 3, 4에서와 같으며, 수림대의 폭은 15~20m 정도로 조성하였다. 수림대 하부의 하층식생은 양(羊)을 방목함으로써 하층식생의 조절 효과를 거두고 있다.

방호림을 조성하는 방법으로서 바람의 영향을 신중히 고려하여 배치하였다. 우선 주풍방향(서북풍, 간수성에서 오는 바람)에는 수목의 식재간격을 줄여서 밀하게 식재하고, 전체 수림대의 폭은 넓게 조성하여 바람에 의한 모래의 이동을 방지하고 있다. 또한 주풍방향이 아닌 곳은 상대적으로 얇은 층의 방호림대를 조성하였다.

현재 조성된 방호림대에 의하여 사구고정의 효과는 조금씩 나타나고 있으며, 지속적으로 측정을 하고 있다.

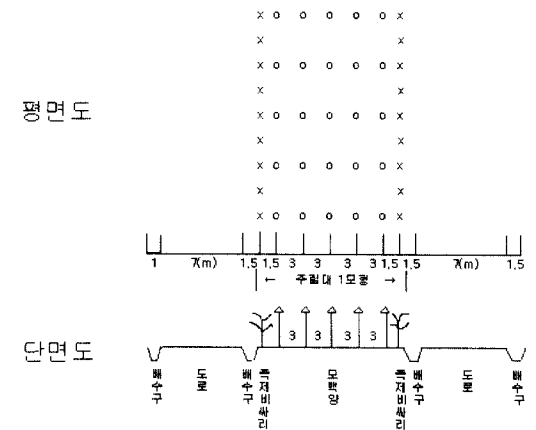


그림 2. 방호림대의 전형적인 모형도(주림대 1 모형도)

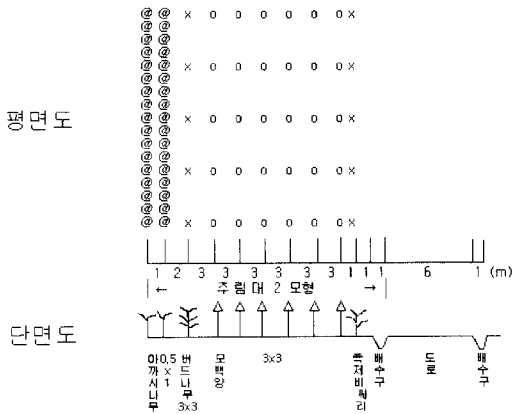


그림 3. 방호림대의 전형적인 모형도(주림대 2 모형: 변계림대)

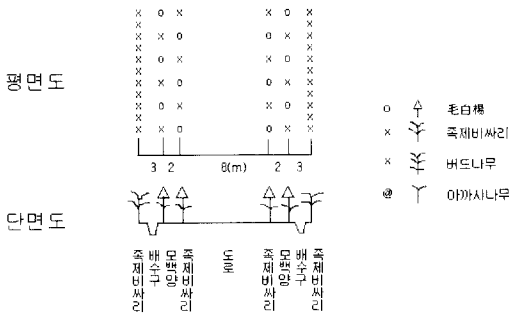


그림 4. 방호림대의 전형적인 모형도(부림대 모형)

주방호림대에는 변계림대(邊界林帶)와 내부주림대가 있는데, 내부주림대는 그림 2에서와 같이 주목으로 毛白楊나무를 사용하고, 관목·보조목으로 죽제비싸리를 사용하였다. 毛白楊 식재는 5열인데 식재나무간격 및 식재줄간격은 각각 3m(3×3m 식재)로 하였다. 그리고 毛白楊 식수대의 양쪽가장자리에는 죽제비싸리를 1.5×1.5m 간격으로 식재하였으며, 그 양쪽 끝부 위에는 배수구를 설치하였다.

한편, 변계림대는 내부주림대보다 그 폭을 더 넓게 조성해야 하므로 毛白楊 6열(식재간격 3×3m)식재를 하고, 한쪽 변계에는 죽제비싸리를 毛白楊에서 1m씩 떨어져서 심고, 다른쪽에는 버드나무를 3×3m 간격으로 식재하고 그 옆에 다시 2m 떨어져서 1×1m 간격으로 아까시나무를 식재하였다.

부림대는 도로 양쪽에 조성하는데, 제1열과 2열은 毛白楊과 죽제비싸리를 2m 간격으로 교호배치하고, 제3열은 제2열에서 3m 떨어져서 죽제비싸리만을 1m 간격으로 식재한다.

1) 경관-생태-방호림의 경관평가 분석요인

북경시 다싱현내 대표성이 있는 3종 유형의 방호림을 연구대상으로 하여 설치유형, 방호림 구조, 임분연령이 다른 방호림대를 선정하고 표준지대비법과 고정 plot법을 동시에 이용하였다. 야외조사내용은 다음과 같다.

① 기상인자: 표준지와 그 주위에서 두 곳을 선정하여 풍속, 풍향, 기온, 저온, 습도, 증발량 및 증산량을 측정하였다.

② 토양인자: 표준지에서 토양시료를 채취하여 N, P, K 및 토양유기물함량을 측정하고 토양의 pH, 수분함량, 밀도, 공극도 등을 측정하였다.

③ 입지인자: 표준지를 대상으로 지형, 지세, 지리적 위치 등을 조사하였다.

④ 방호림대 주위의 조사내용: 농작물(과수, 특용농작물 등)의 종류, 산량, 생장, 경작방법 및 집주변, 마을주변의 임목 등을 조사하였다.

⑤ 방호림대: 방호림대의 구조, 구성, 설치방법, 수관, 수고, 속밀도, 바람투과정도, 식재거리, 식생 및 임령 등을 조사하였다.

⑥ 전반적인 구조: 방호림대의 분포, 지리적 위치, 토지이용상황, 수로, 자연역사적 변천, 주민 분포상황, 교통통신, 사회경제상황 등을 조사하였다.

야외조사와 고정 plot 조사 결과를 토대로 수확분석과 컴퓨터 모니터링을 결합하여 지속가능한 발전을 원칙으로 경관생태학 이론을 이용하였다. 또한, 다싱현(大興縣) 베이창향(北藏鄉)을 중점연구대상으로 하여 조정경관형 방호림체계를 건립하기 위한 모델을 제공하고자 하였다.

2) 농지 방호림망에 대한 경관측정 및 평가 분석

지금까지는 주로 방호림망내 방호림대의 수종, 방향, 줄간격 및 방호림대의 투과정도 등

규모가 작은 지표를 이용하여 농지 방호림에 대해 평가를 하였다. 큰 규모하에서 농지 방호림에 대한 전반적인 평가는 이루어지지 않았다. 농지 방호림망의 현황에 대한 평가는 반드시 방호림대의 수종구성, 방향 및 줄간격, 바람 통과정도 등 구조적 지표에 대한 정확한 평가를 토대로 현존 방호림망의 경관구조에 대한 평가를 하여야 한다. 이렇게 하여야만 경관적 측면에서 농지 방호림에 대한 주요 경영방향을 결정할 수 있고 농지 방호림의 건설과 경영을 위한 전면적이고도 과학적인 근거를 제시할 수 있다.

**가) 농지 방호림망 측정의 경관 지표**

농지 방호림망은 그물모양의 판의 특징을 갖는 경지경관에 있어서 경관요소의 일종이다. 농지 방호림망의 경관 패턴은 경관생태학에서 네트워크 형상 지표로 측정할 수 있다. 농지 방호림망의 중심점은 연결점 또는 둘 혹은 그 이상의 지대사이의 교차점, 그리고 하나의 지대의 끝점이다. 경관규모에서 이 네트워크의 공간패턴을 측정하기 위하여 사용된 지표들은 주로 연결성, 회로, 지대와 작물의 비율, 우세도 등이다.

**나) 농지 방호림망의 평가와 구조 측정**

① 농지 방호림망의 이론적인 구조 결정 : 특정지역에서 하나의 식물 종 또는 여러 식물 종들에 대한 농지 방호림망의 구조와 범위는 이론적으로 일정해야 한다. 그러므로 몇몇 네트워크 구조 변수들(지대의 넓이, 거리, 길이 등) 또한 일정하며, 몇몇 경관지표들(연결성, 우세도 등)은 이론적으로 계산될 수 있다.

② 농지 방호림망의 현재 구조의 결정 : 현존하는 이 네트워크의 구조는 조건의 한계에 기

인하는 이론적 구조(최적화된 구조)와 다르지 않다. 네트워크 구조 변수는 현지조사와 항공사진해석을 조합하여 얻을 수 있으며 현존하는 산림 네트워크의 경관지표들도 계산될 수 있다.

③ 구조 측정과 농지 방호림망의 평가 : 이 네트워크의 최적화된 구조와 현존하는 구조사이의 경관지표의 비교에 기초하여 구조 측정과 평가는 완성되었다.

**다) 다싱현(大興縣)의 베이창(北藏)에서의 실연성과**

**① 농지 방호림망의 최적화 구조**

최적화 구조 변수는 1960년대에 중국에서 완성된 통합계획에 따라 결정되었고, 그에 따라 주요 지대의 길이는 동에서 서로 500m이고 추가 지대의 길이는 남에서 북으로 300m이고, 식재한 나무는 毛白楊 포플러(*Populus tomentosa*)이다. GIS를 이용하여 계산한 결과, 베이창(北藏市 Beizang)의 전체 경관 지역은 41개의 작물로 구성된 4,649.63ha이었고, 그곳에 총 348 종의 작물을 시험 재배하였는데 실제로는 166 종의 작물이 경작 가능한 것으로 나타났다. 최적화된 구조 변수는 농지 방호림망의 최적화 계획과 GIS에 의한 계산 결과로부터 얻어질 수 있었다. 현존하는 구조 변수는 1990년의 1 : 25,000 항공사진에 기초한 GIS에 의해 계산될 수 있으며 현재의 지위지수는 1995년에 조사되었다(표 1).

농지방호림망의 전체의 지위를 반영하기 위하여 두 개의 전형적인 마을(텐궁원 天宮院 Tiangongyuan과 루우허쥡 六合庄 Liuhezhuang)이 각각 이 네트워크의 좋은 지위와 나쁜 지위를 나타내는 것으로 선택되었고 그들의 최적화된, 그리고 현존하는 구조 변수들은 위에서 언급한 방법에 의해 계산되었다(표 2)(孫保平等, 1997).

표 1. 베이창시(北藏市)에서 농지 방호림망의 최적화된 구조와 현존하는 구조의 변수 가치

대조항목	벨트수 (林帶/條)	방호림망 면적(ha)	노드수 (接點/個)	폐합 메쉬(mesh)수 (閉合網格數)
최적화구조(合理值)	947	421.536	640	348
현존구조(實測值)	586	241.440	558	108

표 2. 텐궁원(天宮院 Tiangongyuan)과 루우허좡(六合庄 Liuhezhuang)마을에서 농지 방호림망의 최적화된 구조와 현존하는 구조의 변수 가치

마을명	대조항목	벨트(Belt)수	방호림망 면적 (ha)	노드(Node)수	폐합되는 메쉬(mesh)수
루우허좡 (Liuhezhuang)	최적화구조	49	23.400	30	20
	현존구조	21	6.380	23	1
텐궁원 (Tiangongyuan)	최적화구조	117	53.016	83	42
	현존구조	109	42.332	83	21

② 다싱(大興縣)의 베이창市에서 농지 방호림망의 경관지표

최적화된 또는 현존하는 이 네트워크의 경관 지표들(연결성, 회로, 지대와 작물의 비율 그리고 우세도)은 표 1, 2의 자료에 의해 계산되었다. 결과는 표 3과 4에 나타나 있다.

③ 농지 방호림망의 평가

위에서 언급한 경지 산림 평가 방법에 따라서, 베이창市에서 이 네트워크의 경관 구조가 평가되었다. 최적화된 구조와 현존하는 구조사이의 경관지표들이 근접하면 할수록 현존하는 구조는 더 좋아진다. 경험과 연구결과에 따르면, 현존하는 구조와 최적화된 구조사이의 경관지표의 상대적인 오류값이 0.15보다 커지지 않는 한 현존하는 네트워크는 상대적으로 완전

한 구조이며, 상대적인 오류값이 0.15보다 커지면 커질수록 네트워크 구조는 더 나빠진다(孫保平等, 1997).

표 4에서 보면, 4개의 경관 지표들의 상대적인 오류값들이 모두 0.15이상임을 알 수 있는데 이것은 베이창市의 경관 패턴에 있어 현존하는 네트워크 구조가 완전하지 않음을 보여주고 있다. 지대와 작물의 비율의 상대적인 오류값이 0.428이고 우세도의 상대적인 오류값은 0.333임을 알 수 있는데 이것은 현존하는 산림지대가 충분하지 않음을 의미한다. 즉, 현존하는 지대의 수가 현지 조사에 의해 입증된 최적화된 수보다 작다는 것을 의미한다. 산림지대의 부족으로 인하여, 설계된 길이는 500m임에 비해 이 도시의 대부분의 지역에서 주요 지대의 길이는

표 3. 베이창市에서 농지 방호림망의 최적화된 경관 지표와 현존하는 경관지표의 비교

비교항목	연결성 (連接度)	회로성 (環度)	지대와 작물의 비 (帶班比)	우세도 (優勢度)
최적화구조	0.7380	0.5898	0.0928	45.76%
현존구조	0.5108	0.2109	0.0531	30.51%
상대오차	0.3079	0.6421	0.4280	33.33%

표 4. 텐궁원(天宮院 Tiangongyuan)과 루우허좡(六合庄 Liuhezhuang)마을에서 농지 방호림망의 최적화된 경관지표와 현존하는 경관지표의 비교

마을명	대조항목	연결성	회로성	지대와 작물의 비	우세도
루우허좡 (Liuhezhuang)	최적화구조	0.9795	0.9500	0.1508	45.76%
	현존구조	0.5675	0.1300	0.0446	32.32%
	상대오차	0.7349	0.0677	0.7040	0.2937
텐궁원 (Tiangongyuan)	최적화구조	0.8170	0.7482	0.1054	45.41%
	현존구조	0.7625	0.5385	0.0841	33.73%
	상대오차	0.1050	0.2000	0.2020	0.2572



1,000m이다. 이것은 방어 유효성에 심각하게 영향을 끼친다. 연결성과 회로의 상대적인 오류값은 각각 0.3079, 0.6024인데 이것은 네트워크에서의 지대분리(파괴)는 매우 심각하며 닫힌 네트워크는 완전히 형성되지 않으며 또한 농지 방호림망의 기능을 약화시킨다.

텐궁웬 마을을 보면, 연결성의 상대적인 오류값은 0.15보다 작으며 나머지 세 가지 경관지표들의 값은 0.15보다 약간 크다(표 4). 네트워크 구조가 보여주고 있는 것은 주요부분에 있어서는 완전하나 더 완벽함을 필요로 하고 있다. 루우허쥘 마을을 보면, 4개의 모든 지표들의 상대적인 오류값이 0.15보다 훨씬 크나 회로는 0.067이다. 이것은 네트워크 구조가 극히 불완전하며 지대의 분포가 평형에서 벗어나 있으며 농지 방호림망의 구성을 서둘러야 한다.

**라) 경관측정 및 평가방향**

일반적으로 베이창市の 현존하는 농지 방호림망은 경관패턴의 관점에서 볼때 완전하지 않으며, 지대의 부족은 조식을 인공적으로 확대되도록 하며, 이것은 전체적인 방어 유효성에 심각하게 영향을 끼치므로 네트워크 구성에 대한 강조는 방풍림의 수적 증가에 초점이 맞추어져야 한다. 이것은 네트워크 구조를 점차적으로 완전하게 할 것이다.

베이창市の 산림지대의 분포는 평형에서 벗어나 있으며 거기에는 열악한 네트워크 구조를 가진 루우허쥘 마을과 더 나은 구조를 가진 텐궁웬 마을이 있다. 루우허쥘 마을이 바람과 모래에 영향을 받는다. 산림 네트워크의 전체 구성을 강화하는 근거에서 보면 열악한 네트워크 구조와 모래에 의해 영향을 받는 대상을 가진 마을들에 있어서의 산림지대의 구성은 강화되어야 한다.

네트워크 구조를 전체적으로 정확하게 평가하기 위하여 다른 공간 평가 규모가 결정되어야 한다. 즉, 지대의 수, 지대의 분포, 더 큰 규모로부터의 지대 조형들을 평가할 뿐만 아니라 방향, 나무 종, 작은 규모부터 모든 지대의 나무의 나이도 평가를 한다.

**IV. 결론**

① 경관-생태-방호림의 중요성 및 조성방법 : 사막화지역에서 방호림(Shelterbelts)은 사지(沙地)와 식생, 농지와 가축, 그리고 인간생활을 보지하기 위하여 대단히 중요한 수립대로서, 방호림은 사막화지역에 적응성이 큰 수종으로 몇 줄로 모아서 식재하는 수립대(tree belts)로 조성한다. 방호림은 건조지역에서 농지보전을 위한 방호림대, 반건조 초원지역에서 보호방호림대(모래침입저지용 방풍림대, 식생조성에 의한 인공적인 사구고정, 풍식으로부터 농지와 방목지를 보호하기 위한 수립대조성 등), 사구고정을 위한 오아시스 및 마을주변의 방호림, 철로보호를 위한 방호림 등의 조성 등 그 조성목적이 매우 다양하다. 방호림조성수종은 지역에 따라 매우 다양하지만, 일반적으로 널리 조림하는 수종은 胡楊(*Populus euphratica*), 小葉楊(*P. simonii*), 新疆楊(*P. bolleana*), 箭杆楊(*P. nigra* var. *thevestina*), 銀白楊(*P. alba*), 毛白楊(*P. tomentosa*), 黃柳(*Salix flavida*), 蒙古柳·沙柳(*Salix mongolica*), 大葉榆(*Ulmus leavis*), 沙棗(香柳)(*Elaeagnus angustifolia*), 紫穗槐(*Amorpha fruticosa*), 檉柳(*Tamarix chinensis*), 刺槐(*Robinia pseudoacacia*), 樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*), 花棒(*Hedysarum scoparium*), 小葉錦雞兒·檸條(*Caragana microphylla*), 油蒿類(*Artemisia* spp.) 등이다.

② 경관-생태-방호림의 기본유형 및 효과 : 방풍(호)림은 주방풍(호)림과 부방풍(호)림으로 구성되는데, 주방풍림은 주풍향에 수직으로, 부방풍림은 주방풍림에 수직으로 배치·조성한다. 방풍림대 너비는 8~20m, 4~10열, 구획은 400×400m, 300×500m, 100×200m 등 지역특성에 따라 다양하며, 통풍형이나 폐쇄형 등이 있다. 중국에서는 「녹의 만리장성: 대 그린 벽 조성」이라 하여 “三北防護林體系建設事業”에 많은 정부투자자와 국민적 노력을 경주한다. 방호림의 주요 효과는 주로 강풍 및 한풍방지, 비사방지 등과 같은 기상개량 및 완화에 있으며, 또한 조림효과 및 농업생산량의 증대, 녹지대·푸른 숲의 조성 및 생태-경관-풍경-수립대의 조

성, 농산촌 미화 및 환경의 개선, 연료재 및 농용재의 공급, 토지의 개량, 사막화토지의 복원, 녹화효과 등 다양한 편익·효과가 발휘된다.

③ 경관-생태-방호림의 경관평가: 중국 베이징시 다싱현 황과시험장에서 생태-경제-조경-경관형 방호림체계에 관한 시험연구를 수행하며, 주로 포플러(毛白楊)방호림대의 설계, 조성, 관리, 개별 및 맹아갱신기술개발 등에 초점을 두고 있으며, 현재까지는 주로 조성상태에 있으나 기존 방호림대에서의 사막화방지 및 농지보전, 농산물 증수 및 풍경림효과 등이 나타나고 있다. 본 연구에서는, 특히 1998년 봄에 모백양묘목을 사지보호 및 경관생태방호림조성을 목적으로 식재하였으며, 그 밖에도 아까시나무, 죽재비싸리, 버드나무 등 여러 수종으로 수림대벨트를 조성하고 관찰하고 있다.

## 인용문헌

- Maki, T., M. Du, and B. Pan. 1993a. The effect of windbreaks on meteorological improvement and the prevention of wind erosion. *Agric. Met.* 48(5) : 683-686.
- Maki, T., B. Pan, and B. Du. 1993b. Effects of windbreak on the improvement of adverse meteorological conditions and prevention of wind erosion. *Climate, Environment and Geophysical Fluid Dynamics.* 358-363.
- Maki, T., B. Pan, and B. Du. 1994a. Effects of the windbreaks on climatic elements in a dry land. *Proc. Japan-China Inter. Symp. on Study of Mechanism of Desertification.* S.T.A., 315-322.
- Maki, T., Pan, B., Nakai, M. and Uemura, K. 1994b. Effects of forest windbreak deployed in arid lands, Turpan, Northwest China 1 & 2. *JIRCAS.* 1(1) : 29-45.
- 野村勇. 1988. 中國の森林資源と林業. 農村文化社. 298pp.
- 國際農林業協會. 1991. 中國乾燥地域の氣象·蒸發散特性の解明と防風施設による風蝕防止. *國際農林業協會情報.* 14(3) : 31-40.
- 眞木太一. 1991a. 中國乾燥地域の氣象·蒸發散特性の解明と防風施設による風蝕防止. *國際農林業協會情報.* 14(3) : 31-40.
- 眞木太一. 1991b. 第2回國際防護林シンポジウム 第3回國際沙漠開發會議に出席して. *農業氣象* 46(4) : 245-249.
- 眞木太一. 1993. 沙漠化防止のための防風施設の役割. *沙漠研究.* 3(1) : 55-61.
- 眞木太一·潘伯榮·社明遠·上村賢治. 1993a. 中國トルファンの乾燥地における防風ネットによる微氣象改良と飛沙防止. *農業氣象* 49(3) : 159-167.
- 眞木太一·中井信·高畑滋·北村義信·遠山枉雄. 1993b. 沙漠綠化の最前線. 新日本出版社. p.214.
- 眞木太一·潘白榮·社明遠·上村賢治. 1994a. 中國トルファンの乾燥地における2列の防風林による微氣象, 堆沙, 作物への影響. *農業氣象* 49(4) : 247-255.
- 眞木太一等. 1994b. 中國西北部の乾燥地トルファンにおける沙漠·オアシス氣候と蒸發散特性. *農業氣象.* 50(3,4) : 185-195.
- 眞木太一等. 1995a. 冬季のトルファン盆地における風および逆轉層の氣象と濕度の特性. *農業氣象.* 51(1) : 1-10.
- 眞木太一等. 1995b. 中國トルファンの乾燥地における複數列の混交防風林による農地の微氣象改良. *農業氣象.* 51(3) : 229-238.
- 眞木太一等. 1995c. 中國西北部の乾燥地トルファンにおける沙漠·オアシス氣候と蒸發散特性. *沙漠研究.* 4(2) : 91-101.
- 眞木太一等. 1995d. 中國新疆の乾燥地トルファンにおける防風林による農作物生育環境の微氣象改良. *沙漠研究* 5(1) : 21-32.
- 眞木太一. 1996. 中國の沙漠化·綠化と食料危機. 信山社. 190pp.
- CCICCD. 1997. China Country Paper to Combat Desertification. China National Committee for the Implementation of the United Nations Convention to Combat Desertification. China

- Forestry Publishing House. 40pp.
- CCICCD. 1999. Desertification Rehabilitation and Ecology Restoration in China-Highlight. 21pp.
- Ci Longjun. 1997. Land Evaluation and Expert System for Combating Desertification. China Forestry Publishing House. 201pp.
- Wang Lixian. 1999. Important Problems and Solutions of Desertification in China. In Proc. of China-Korea Joint Seminar on Desertification Combating and Sand Industry Development. pp. 1-10.
- Wang Lixian et al. 1996. Combating Desertification in China. China Forestry Publishing House. 408pp.
- Wang Tao. 1994. Preliminary Assessment on Development of Desertification in North China. Proc. Japan-China Inter. Symp. on Study of Mechanism of Desertification, S.T.A., 364-371.
- Xiang Kaifu. 1990. Protective Plantation Technology. Pub. House of Northeast Forestry Univ. 470pp.
- Zhang Kebin. 1999. Results and Prospects of the China-Korea Joint Research Project for the Desertification Combating and Sand Industry Development. In Proc. of China-Korea Joint Seminar on Desertification Combating and Sand Industry Development. pp. 11-28.
- Zhang Kebin, Zhao Kaigo. 1988. Afforestation for sand fixation in China. J. of Arid Environment 16 : 3-10.
- Zhou Guolin. 1999. China's Current Desertification Status and its Combat Method. In Proc. of Seminar on Combating Desertification and Mitigating Drought in Northeast Asia. Northeast Asian Forest Forum. pp. 21-35.
- 羅佛祥 等. 1995. 黃土高原渭北生態經濟型防護林體系建設模式研究. 中國科學出版社. 175pp.
- 馬文元. 1991. 西北沙區薪材樹種選拔及栽培經營技術的研究. 沙漠林業論文集. vol.3 : 66-85.
- 馬世威, 秦詮. 1992. 治沙學. 內蒙古教育出版社. 295pp.
- 龐慶榮主編. 1992. 中國三北防護林體系建設. 中國林業出版社. 150pp.
- 孫保平, 岳德鵬, 趙廷寧, 程堂仁. 1997. 北京市大興縣北藏鄉農田網景觀結構的度景與評價. 北京林業大學學報 19(1) : 18-50.
- 王北 等. 1990. 寧夏沙地立地分獎評價和適地適樹研究報告. 寧夏農林科學院林業研究所. 195pp.
- 王北, 李生寶. 1991. 塩池干旱風沙區林種合理布局的研究. 甘肅科學技術出版社. pp. 120-127
- 姚云峰 等. 1998. 沙漠學. 內蒙古人民出版社. 441pp.
- 李濱生主編. 1992. 治沙造林學. 中國林業出版社. 243pp.
- 張克斌. 1996. 永定河沿岸沙地改造利用研究. 北京林業大學學報 18(1) : 15-21.
- 張志達. 1997. 全國10大林業生態建設工程. 中國林業出版社. 190pp.
- 朱俊風. 1989. 三北防護林區自然資源與綜合農業區劃. 中國林業出版社. 1174pp.
- 朱俊風, 朱震達. 1999. 中國沙漠化防治. 495pp.
- 朱震達. 1997. 治沙工程學. 中國環境科學出版社. 380pp.
- 中國樹木志編委會主編. 1983. 中國主要樹種造林技術. 中國林業出版社. 1342pp.
- 中國林業科學院內蒙古噶口林業實驗中心. 1988. 林業治沙論文集. 沙漠林業實驗中心. 261pp.
- 治沙造林學編委會. 1984. 治沙造林學. 中國林業出版社. 323pp.

接受 2000年 9月 8日