

沙漠化防止 및 防沙技術開發에 관한 研究(IV)^{1*}

- 中國의 沙丘固定 및 防沙工法分析 -

禹保命^{2*} · 李景俊² · 崔炯太³ · 李相昊³ · 朴珠原³ · 王禮先⁴ · 張克斌⁴ · 孫保平⁴

Studies on the Desertification Combating and Sand Industry Development(IV)^{1*}

- Technology Development for Sanddune Fixation and Sandy Land Conservation in China -

Bo-Myeong Woo^{2*}, Kyung-Joon Lee², Hyung-Tae Choi³, Sang-Ho Lee³,
Joo-Won Park³, Lixian Wang⁴, Kebin Zhang⁴ and Baoping Sun⁴

要 約

이 연구에서는 지난 3년간 북경임업대학교와 공동연구과제로 중국의 사막화방지 및 방사기술개발을 위한 연구의 일환으로, 특히 중국의 사구고정 및 방사공법을 조사·분석·평가하고자 수행하였다.

사구의 주요 형태에는 관목총사구, 사랑사구, 지상사구, 봉소상사구, 격자상사구, 양설상사구, 초생달사구, 포물선상사구, 초생달사연사구, 초생달사릉, 피라미드상사구, 복합형초생달형사구, 복합형종사릉사구, 돛상사구, 불규칙한 사구·사지 등 매우 다양하다. 이들 사구의 분포비율은 높이 5m이하 13%, 6~10m 17%, 11~25m 18%, 26~50m 14%, 51~100m 28%, 100m 이상 10% 등이다. 중국 건조지역에서 사구의 이동방향은 주로 주풍방향에 따르나 지역·지형·사구의 크기 및 형태 등에 따라서 이동사구형태에 차이가 많다.

사막화지에서 주요 비사방지기술(방사공법)은 생물·생태적 방사공법(식물피복방법·식재에 의한 방법), 물리적 방사공법, 화학적 방사공법 등으로 구분할 수 있는데, 생물·생태적 방사공법에는 초생법(封沙育草), 관목·초생고사법(草生固沙法), 사구간 방사림대, 기간방사림대, 경지방풍림대조성 등이 있고, 물리적 방사공법에는 고방사원(高防沙垣) 및 저방사원 조성, 방사제방, 석력점토피복법 등이 있으며, 화학적 방사공법에는 고화제뿌어붙이기, 유사개량화학적제혼용법 등이 효과적인 것으로 분석되었다. 그 밖에도 관개·침사공법, 비사포착수로·구방사공법(溝防沙工法) 등이 효과적인 것으로 판단된다.

ABSTRACT

This study is aimed to analyze and to evaluate the technology development for sanddune fixation and sandy land conservation in China, resulting from the project of "Studies on the desertification combating and sand industry development".

¹ 接受 2001年 1月 11日 Received on January 11, 2001.

審査完了 2001年 3月 26日 Accepted on March 26, 2001.

² 서울대학교 농업생명과학대학 산림자원학과 교수 Professor, Dept. of Forest Resources, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea.

³ 서울대학교 대학원 산림자원학과 대학원생 Graduate student, Dept. of Forest Resources, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea.

⁴ 북경임업대학교 수토보전대학 교수 Professor, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, P. R. of China.

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

* 연락처자 E-mail : bmwoo@snu.ac.kr

There are various types of sanddunes, including shrub-bunch type, dendritic, honey combed lattice, crescentic, parabolic, pyramid, complex and irregular types, domed, and so on. The height distribution ratios of these sanddunes are 13% of less than 5m, 17% of 6~10m, 18% of 11~25m, 14% of 26~50m, 28% of 51~100m, 10% of more than 100m, and so on. In dry land of China, shifting direction of the sanddune is mainly varying with main direction of wind, but types of shifting sanddunes have many differences in accordance with region, topography, size and shape of sanddunes.

The main sanddune fixation technologies could be divided into the bio-ecological measures, physical measures and chemical measures. The bio-ecological measures include such vegetation measures as shrub-grasses measures, sandbreaks between sand dunes, sand fixation shelterbelts and establishment of farmland shelterbelts, etc. The physical measures include establishment of high-sanddune stabilization walls and low-sanddune stabilization walls, sanddune fixation levees and coverage method with sediment clay, etc. The chemical measures include fixation-materials spraying and synthetical liquid spraying methods, etc. Besides, irrigation and sand settlement measures, shifting sand trapping channel, ditch-sand fixation measures, etc. have been effectively applied.

Key words : sanddune fixation, sandy land conservation

緒 論

중국 정부는 「穀物生産을 중심으로 한 농업의 발전」이라는 방침을 수립하고, 임업은 이것을 달성하기 위한 강력한 보조지원으로 추진한다. 따라서 농업과 임업의 결합이 중요시되고 있으며, 농업, 임업, 목축업은 앞뒤 한 몸(表裏一體)이 되고 있다. 국가의 주요한 구성조직인 縣·鄉·鎮에서는 농업, 임업, 목축업, 수산업의 발전에 필요한 산지, 하천, 농지, 호소지, 도로, 통신 조직의 종합계획을 수립·실시하고 있다.

중국에서 “沙産業”(sand industry, desert culture)이라는 용어는 1984년 Qian Xueseng박사에 의해서 처음으로 사용되었는데, “Sand industry”는 “광합성을 위해서 태양에너지를 고정하기 위한 최신 과학기술을 이용하는 산업”이라고 하였다. 이 이론에 따르면, 사산업은 사막지역에서 사지(sand-land)개발, 온실기술, 플라스틱필름멀칭, 건조지역에서 절수관개기술, 경제작물·소득·현금작물의 재배 혹은 개발 등을 포함한다.

중국의 토지이용구분 현황 통계는 부처마다 발간연도에 따라서 다소 차이가 있으므로 인용에 유의할 필요가 있다. 중국의 토지이용은 1978년 당시에는 경지 10.5%, 임지 12.7%, 초지 40.0%, 내륙수문 1.7%, 개척가능황지 3.5%, 불모지(산악, 사막) 31.6% 정도이었다. 1991년에는 경지 9.9%, 산림(임지) 13.0%, 초지 33.2%, 사막지 15.9%, 기타면적 28.0% 정도이었다. 최근의 토지이용현황(吳, 1998)에 관한 한 자료에서 보면,

경지 14.21%, 園地 0.77%, 임지 17.97%, 목초지 41.58%(이상 농용지 소계 74.53%), 도시·주거지 및 광업용지 3.38%, 수역 및 습지 4.15%, 사막·기타 불용지 17.94%로 이용구분된다. 사막·기타불용지는 빙천 및 영구적설지 0.72%, 사막 6.66%, 광벽(戈壁) 4.79%, 고한황막 1.52%, 석산 4.24%로 구성된다.

중국의 산림(임지)면적은 1949년에는 전국토면적의 약 8.6%(8,222만 ha)로 매우 적었지만, 그 후 조림사업에 의하여 점차로 회복·증대되고 있으나, 그 진척은 매우 저조한 편이다. 1978년에는 약 12.7%(12,186만 ha)로 확대되고, 여기에 疎林면적 약 1.63%(1,563만 ha)를 포함하면 전체 산림면적은 약 14.33% 정도가 된다. 1991년에 산림면적은 약 13.0%(12,465만 ha)로 1978년에 비하여 약 0.3% 정도로 증가하였다(中國國家林業局編, 1999). 최근의 자료(吳, 1998)에 의하면 임지면적은 약 17.97%인데, 이것은 유림지 12.98%, 소림지 2.04%, 관목임지 2.93%로 구성된다.

중국은 세계에서 가장 심각하게 악영향을 받는 나라중의 하나이다. 중국의 서북부지역, 중북의 북부지역, 북동의 서부지역에는 건조(arid), 반건조(semi-arid), 건조반습윤(dry sub-humid) 지역이 널리 분포되어 있으며, 이 지역의 생태-환경은 매년 증가하는 인구압력에 대단히 위태로운 상황에 놓여 있다. 또한 토지사막화 현상은 점점 더 심화되고 있으며, 지역환경 및 사회경제적 개발과 지역주민의 생존에 심각한 피해를 주고 있다(Ci, 1997; Zhou, 1999). 중국에서는

약 4억명이 사막화에 의한 악영향을 받고 있으며, 사막화에 의한 연간 직접경제손실량은 약 65억달러(US\$)에 달한다(CCICCD, 1997; 1999).

UN사막화방지협약에서는 사막화방지에 관한 연구의 기본 방향을 “사막화를 방지하거나 이미 사막화된 지역을 회복시키기 위해서는, 우선 사막화가 어느 정도 진행되어 있는가에 대해 조사하고, 또한 사막화가 왜 일어나고 있는지, 효과적인 대책은 무엇인가를 결정하기 위한 조사연구를 수행해야 한다”라고 설정하고 있다(Ci, 1997).

현재 사막화지역 또는 사막화의 위험이 있는 지역을 장래에는 회복시켜 안정화하기 위한 토양개량, 관개, 녹화 등에 관한 기술개발에 관한 연구가 지금까지 많이 시도되고 있다. 각 지역특성에 맞고 생장이 빠른 수종을 선발하여 조림기술을 개발하고, 장기간 계속할 수 있는 농업방법을 확립하고, 등고선대상으로 조림하여 토사유실을 막는 방법 등에 관한 조사·연구가 수행되고 있다. 또한 상당한 수준으로 진전이 되고 있는 연구사례로는 흡수성이 높은 *合成樹脂* 등을 사용하여 토양의 보수성을 높이는 것과 염분 및 건조에 강한 식물의 종류를 개발하고 육성하는 성과 등을 들 수 있다(朱, 1999).

일본에서는 1980년대 중반부터 중국의 사막화현황 조사 및 방지에 많은 연구를 수행하고 있는데, 사구고정 및 방사공법연구에 관한 종합적인 보고(吉野와 社, 1994; 吉野, 1997; 遠山, 1989; 眞木, 1996; 清水, 1979)는 이 연구수행에 많은 학술적 자료로 인용하게 되었다. 중국에서는 사구고정 및 방사공법에 관한 연구문헌이 더욱 많지만 이 연구에서는 주로 1990년대의 문헌자료(Gao, 1993; Wang, 1996; 李主編, 1992; 朱와 朱, 1999; 朱, 1997; 朱等, 1994)를 인용하였다. 그리고 우리나라에서는 사막화방지에 관한 연구(Lee, 1999; Woo, 1999; 禹保命 等, 2000a; 2000b; 2000c; 2000d; 2000e; 2000f; 2000g; 이천용, 1999)가 그리 많지 않다.

이 연구수행의 목적은 중국토지에서의 사막화현상문제는 중국 한 나라에 국한된 환경·생존권문제를 넘어서 지구환경보전문제로 다루어져야 할 것이며, 특히 중국의 사막화·황막화현상의 결과로 한반도에 심각한 악영향을 미치고 있으므로 이와 같은 중국의 사막화의 현황, 그에 대한 과학기술적 대처방안 및 시책, 지속적인 농임업 생산기술적 토지이용방안, 황막지·사지녹화 이용방법 및 기술에 대한 개괄적인 조사·연구를 수행하

고자 함에 있다. 이 연구를 수행함으로써 중국의 사막화·황막화현황 파악 뿐만 아니라 사막화시대에서 防沙産業(sand industry)기술개발에 관한 기초적 시험·연구성과를 거두었으므로 향후 보다 더 진보된 연구추진에 필요한 연구정보·연구자료로 활용될 수 있을 것이다. 이 연구과제는 ① 중국의 사막화현황 및 방지대책(禹保命 等, 2000e), ② 중국의 경관생태방호림 조성기술 및 효과분석(禹保命 等, 2000f), ③ 중국의 황막사지 녹화기술 분석(禹保命 等, 2000g), ④ 중국의 사구고정 및 방사공법분석의 4편으로 구성되는데, 본고에서는 이 연구의 제IV보로서 주로 사구고정 및 방사공법에 관한 분야이다.

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, 선바오평(孫保平)교수, 장계빈(張克斌)교수, 허경탕(賀慶棠)교수(전임 교장)님들과 황과시험장(黃窪苗圃) 직원님들, 그밖에도 이 연구수행에 많은 협조를 해주신 분들께 깊은 감사를 드린다.

研究 方法

沙丘의 규모와 높이, 이동속도, 고정상태, 식생 피복상태 등을 파악하는 것은 사막화방지 뿐만 아니라 사막의 개발, 농림목축업 및 다른 산업의 개발, 교통·통신시설 등에 대한 피해방지 등에 필요한 일이므로, 중국에서는 사막화현상 및 사구형태에 관해서 많은 연구를 수행한다. 또한 이와 같은 사구의 고정 및 녹화공법의 개발에 관한 시험·연구사업도 활발하게 진행되고 있다.

이 연구에서 사구의 형태와 녹화기술, 사구고정 및 방사공법 등을 파악하기 위하여 5대 사막·사지(騰格里沙漠, 烏蘭布和沙漠, 庫布齊沙漠, 毛烏素沙漠, 科爾沁沙漠)를 답사하였으며, 또한 기존 연구논문을 분석·인용하였다. 사막·사지를 답사하면서 사구조사를 실행한 대사막·사지에 대한 기존 연구문헌은 “引用文獻”에 기술되어 있다. 따라서, 이 연구는 사구고정 및 방사공법에 관한 기존 연구논문을 인용하고, 직접 현지 5대 사막·사지를 답사하여 조사한 결과로서 수행되었다.

結果 및 考察

1. 沙丘의 形態 및 移動特徵

1) 沙丘의 주요 形態

沙丘의 크기와 높이, 이동속도, 고정상태, 식생상태를 파악하는 것은 사막의 개발, 사막화방지, 농림목축업 및 다른 산업, 교통 등에 대한 피해방지 등에 필요한 것이다.

사구의 형태와 고정·반고정사구(①~⑥), 유동사구(⑦~⑮)의 일반적인 특징은 다음과 같다(邱, 1991; 治沙造林學編委會, 1984; 姚等, 1998; 吉野와 社, 1994; 眞木, 1996).

① 관목총사구(灌木叢沙丘: 沙壘): 飛沙가 식물(장해물)에 저지되어 퇴적된 사총(沙塚: 植物堆沙塚)이다. 식물의 생육과 함께 높이와 크기가 증대한다. 위성류 및 梭梭 등의 사퇴(沙堆)가 많으며, 한 그루의 관목의 경우에는 높이가 1~5m로 높지만 높이가 10m 이상이 되는 것도 있다. 또한 타커라마칸사막 남부에서는 모래의 공급이 많고, 複數의 수목에서 형성되는 경우에도 높이 20~30m 또는 그 이상의 사구도 있다.

② 사롱사구(沙壘: 縱列沙丘): 관목총사구에서 변하기도 하고, 주로 두 방향의 풍향에 관련되어 서로 관련이 있는 형태를 나타낸다. 풍향(진행) 방향에 평행하게 늘어난 발두족 모양의 縱列沙丘이다. 구얼판통구터(古爾班通古特)사막, 타커라마칸사막, 차이담분지사막에 많다.

③ 수지상사구(枝狀沙壘: 樹枝狀沙丘): 구얼판통구터(古爾班通古特)사막에 많고, 사롱(沙壘)에서 형성되기도 한다. 사롱은 끊임없이 늘어나기 때문에 부근의 사롱이 겹쳐졌던 것으로 樹枝狀의 종열사구를 이룬다. 길이는 수백~수km에 이르며, 높이는 5~10m로 높지만, 높은 것은 30~50m나 되기도 한다. 사롱간격은 구얼판통구터(古爾班通古特) 북서부에서는 1~2km, 동부에서는 100~300m 정도이다.

④ 봉소상사구(蜂窠狀沙丘: 蜂窩狀): 구얼판통구터(古爾班通古特)사막 남서부에 많이 분포한다. 많은 방향의 바람이 작용해온 횡열사구(橫列沙丘) 때문에 중심부가 낮고 주변이 높은 원형이나 타원형을 이루고 있다. 점재(點在)하는 것이 많지만 구얼판통구터(古爾班通古特)사막 남부에서는 밀집된 높은 복합 蜂窠狀沙壘이 형성된 것도 있고, 格子狀沙丘와 유사한 사구도 있다.

⑤ 격자상사구(格子狀沙丘: 格狀): 중형으로 교

차한 사양(沙梁: 畦狀의 沙丘)에 의해 형성된다. 사구연(沙丘鏈: 風紋과 비슷한 橫列沙丘)의 사이를 낮은 휴상(畦狀)의 사구가 분할하는 격자상의 횡열의 사구이다. 텡거리사막(騰格里沙漠) 남동부, 구부치사막(庫布齊沙漠) 중부에 분포한다. 구얼판통구터(古爾班通古特)사막 중남부에는 식물이 살아있는 반고정사구도 있다. 이것은 또한 사롱-봉소상 복합사구(沙壘-蜂窠狀 複合沙丘)인 것이다.

⑥ 양설상사구(梁窩狀沙丘): 구얼판통구터(古爾班通古特)사막의 동부에 분포하고, 밀집한 초생달사구(新月形沙丘)와 사구연군(沙丘鏈群)이 식물에 의해 고정되는 형태이고, 철상(凸狀)으로 된 호형(弧形)의 사양(沙梁)과 요상(凹狀)의 沙地가 있다.

⑦ 초생달사구(新月形沙丘: 三日月形: 半月): 활동사구로서 가장 넓게 분포하는 것으로 큰 사막의 주위와 오아시스내에서 볼 수 있다. 사구의 양 날개는 빠르게 이동한다. 이것은 사구의 양측에서 발생하는 수직방향의 회전축을 갖는 소용돌이에 의해 형성되는 것도 있다. 풍속이 크면 사구의 양쪽 날개가 이루는 각도는 작으며, 사구단면은 바람받이쪽(風上側)이 완만하고, 하층부는 5~10°, 상층부는 10~15°, 바람의지쪽(風下側)은 급한 33~35°이다. 사구의 높이는 일반적으로 1~5m가 많지만, 10m 이상의 것도 있다. 모래의 공급이 적은 경우에 많이 형성되고, 강풍으로 모래가 적으면 독립된 사구 간격이 넓다. 사구 주변지역에 피해가 많고, 농업 및 각종 산업에 대한 영향이 크다. 타커라마칸 남부의 피산(皮山)에서는 연간 50m 정도로 이동하고, 투루판(吐魯番)에서도 1년에 60m 정도로 빨리 이동한다.

⑧ 포물선상사구(拋物線狀沙丘: 舌狀): 半月과 반대 방향의 풍향에 의해 형성되는 사구이고, 반월과 유사하지만 반월의 바람의지쪽의 급경사 정도에서는 약하다. 중국에서는 반월과 포물선상을 함께 가지는 것이 있지만, 형성과정이 분명히 다르기 때문에 구별해야 하는 것이다. 포물선상사구의 양날개가 향상되고, 중앙부의 연결부분이 소실된 종열사구(縱列: 沙壘沙丘)도 있다.

⑨ 초생달사구(新月形沙丘鏈沙丘): 이것은 모래의 공급이 비교적 많은 경우는 단독의 초생달사구(新月沙丘)가 서로 연속되어 형성되는 것으로서, 보통 3~4개이고, 10개 이상의 것도 있다. 각각 개별의 초생달사구의 형태를 조금 남겨두고 있지만, 역풍이 작용하는 경우에는 상층부는 미끄러지게 된다. 단독의 초생달사구 보다도 높고, 이동

속도도 비교적 빠르다. 횡열사구이고 대형의 것은 「도라」라고 한다.

⑩ 초생달사릉(新月形沙壘: 三日月形沙丘): 이것은 2방향의 예각의 바람이 작용하여 끊는 종열 방향의 휴상(파상), 또는 물고기의 등비늘모양(背鰭狀)의 사구이다. 한쪽의 바람이 강할 때에는 초생달사구의 한쪽 날개가 전방에 길게 늘어나고, 다른 쪽의 날개는 상대적으로 뒤로 물러선다. 낚시바늘모양(釣針狀)의 형태를 나타내고, 바람의 지 쪽으로 신장한다(투루판(吐魯番)에도 소규모로 형성되어 있다). 그리하여, 두 방향 바람의 합성력 방향이 신장하지만 이 연장방향은 두 방향에 대해서 일정한 각도로 교차한다. 또한 경사가 교차한 바람이 작용하는 경우에는 사체부(斜體部)의 경사를 넘는 기류가 바람의 지 쪽 사면으로부터 사릉(沙壘)이 신장하는 방향에 따라서 흐르게 된다. 한편, 사면 기슭의 기압이 정상부 보다 높아지고, 측면을 흐르는 기류는 정상부에 흡수된다.

이 결과 모래는 신장하는 방향으로 운반되고, 모래의 공급이 충분해지며, 사구는 높고 길게 된다. 높이는 보통 3~5m, 길이는 500~1,000m이지만 때로는 5km 이상의 것도 있다. 또한 이동속도도 빠르다. 구루반통구토 중·북부 및 타커라마간(塔克拉瑪干)사막 남부, 타커라마간 남동부, 파단지린(巴丹吉林)사막 동부, 텡거리(騰格里)사막 서부에 분포한다.

⑪ 피라미드상사구(金子塔·星型): 피라미드와 유사하기 때문에 붙여진 이름이고, 타커라마간 남부의 차말(且末)과 간전(干田) 사이에 주로 분포하고, 또한, 남서부의 마탁탑격산(麻扎塔格山)의 북사면, 나포박(羅布泊)의 남부(庫姆塔格沙漠), 선선(鄯善)의 남부(庫姆塔格沙漠)에도 분포한다. 일반적으로 산악의 바람받이사면에 분포한다. 3~6개의 다방향에서의 바람에 의한 능면(稜面)을 갖는 사구에서, 하방에서 상방을 보는 경우의 삼각형의 사면(한 방향의 바람에 대응), 첨예한 정상, 예각의 능선을 가진다. 사구의 이동은 느지만 대부분 상당히 높은 것이 많고, 50~100m, 높은 것은 200m, 파단지린사막(巴丹吉林沙漠) 남부·북동부, 텡거리(騰格里)사막에서는 300m 이상의 것도 있다. 둔황(敦煌)의 鳴沙山은 이러한 유형으로 유명하다. 일반적으로 독립적인 것이 많지만 겹쳐지고 합쳐지는 피라미드 사구군을 형성하는 것도 있다.

⑫ 인상사구군(鱗狀沙丘群): 타커라마간 북서부·서부에 분포한다. 물고기의 비늘(鱗片)과 유

사한 형태로 주로 단독이 아닌 군집상으로 나타난다. 개개의 사구형태를 보아도 사구는 주풍향에 대하여 수직방향에 서고, 그 양측은 바람의 방향에 연접하여 확장되어 전방의 사구의 바람받이쪽 사면에 연결되고 있다. 다수의 반월형을 어느 정도 규칙적으로 배치한 형태와 유사하다. 높이는 10~30m이고, 이동속도는 완만하다. 사구와 사구 간에는 바람의 지 쪽에 신장하는 밧고랑모양(畦狀)의 사구를 형성한다.

⑬ 복합형 초생달형 사구(複合型新月形沙丘): 타커라마간 중심부, 巴丹吉林沙漠 등, 중국에서는 대단히 넓게 분포하는 횡열사구(橫列沙丘)이다. 모래의 공급이 풍부한지역에서도 장기간이 걸리지만 바람을 저지하는 산의 존재도 관련되어 있다. 타커라마간 남서부 근처의 내부에는 무쯔타크산(木孜塔格山)과 로오스타크산(羅斯塔格山)이 큰 사막의 가운데에 직립하고, 북동·북서풍을 차단하기 때문에 바람받이쪽 사면에는 이러한 사구가 형성된다. 산지에 가까운 쪽이 고도차가 크다. 거대한 초생달사구(新月沙丘) 및 사구연군(沙丘鏈群)의 위의 하중으로도 겹쳐졌던 보다 작은 사구연군이 있고, 風紋에서 잇달아 크게 성장하는 상황을 나타낸다. 또한 쇄상(鎖狀)의 호(弧)가 명료하기 때문에 복합형 사구연, 쇄상사구로 모두 일컬어진다. 일반적으로 높이는 50~100m, 길이는 2~3km, 가장 긴 것은 30km이고, 폭은 300~1,000m이다. 최고는 巴丹吉林沙漠에 420m의 것이 있다.

⑭ 복합형 종사릉사구(複合型縱沙壘沙丘): 타커라마간 남서부, 로오스타크산(羅斯塔格山)의 북측, 타커라마간 중앙부·동부(동경 82~86도)의 대면적에 분포한다. 배열방향은 탁월풍의 방향에 평행(縱列) 또는 30도 이하의 각도를 유지한다. 사릉체(沙壘體)의 표면은 많이 다른 퇴적층이 있는 초생달사구연(新月沙丘鏈)으로 덮여져 있다. 사릉(沙壘)은 길이 신장이 10~20km에서 최장 45km에 달한다고 한다. 높이는 50~80m, 폭은 500~1,000m, 사릉(沙壘) 사이의 폭은 400~600m이고, 그 사이에는 낮은 사릉(沙壘)과 사구연(沙丘鏈)의 작은 것들이 겹쳐져 있다.

⑮ 돔상사구(窩狀, 塊狀): 타커라마간 북부의 타리무(塔里木)강의 오래된 하천바닥과 우란부허(烏蘭布和)사막 남서부에 분포한다. 양측의 사면은 비교적 대칭이고, 그 위에 작은 사구가 하중으로도 겹쳐진다. 복합체의 길이와 넓이는 대개 비례한다. 높이는 40~60m, 평면의 모양은 만두의

두상(頭狀)으로 원형 또는 타원형이다. 둠상의 모양을 유지하면서 불규칙적 또는 연속적으로 분포한다.

⑩ 불규칙한 사구·사지: 지형 및 식생 등에 의해 형성되는 불규칙한 것, 또는 시간적으로 사구의 형태가 고정되지 않은 미발달한 것, 또는 도중에 조건이 변화에 의해 변화의 과도기의 사구 또는 사지이다. 그러나 광범위한 風紋이 발생하는 데에서는 장기간 경과하면 일정한 형상을 나타내게 된다.

이상에서와 같이, 중국 최대의 타커라마칸 사막의 사구는 높은 것이 많고, 그 분포비율은 5m 이하가 13%, 6~10m가 17%, 11~25m가 18%, 26~50m가 14%, 51~100m가 28%, 101m 이상이 10%이다(邱, 1991; 朱와 朱, 1999).

2) 沙丘移動의 特徵

(1) 중국북부사막에서의 사구 이동

중국 북부 건조지역의 사구의 이동방향을 알기 위해서는 중국자연재해지도집(中國人民保公·北京師大, 1992)에 있는 風沙流線과 沙丘活性도를 인용할 수 있다. 이 지도집에서는 전체적인 일반풍의 풍향을 나타내고 있다. 주풍향에 따라서 사구는 이동하지만, 실제로 개개의 사구는 지형 및 사구의 형태 등에 따라서 이동방향을 달리한다. 강풍역은 몽고국경지역의 내몽고와 간쑤성(甘肅省)의 강풍지역과 일치한다. 특히, 주풍향에 연결한 계곡 등의 지형성의 국지풍에 의한 강풍역이 포함된다. 沙風일수는 바단장린사막의 강풍역과 반대로 약풍역에서는 타커라마칸사막에서의 沙風일수가 많다. 후자의 지역은 특히 건조한 가는 입자의 모래가 많이 날린다. 중국사막화지역에서의 사풍영향이 우리나라에서의 황사현상에 영향을 미친다는 여론도 적지 않다.

(2) 신장(新疆)사막에서의 사구 이동

1989년부터 신장(新疆)지역의 사구 이동방향을 5년간의 현지에서의 조사와 인공위성에서의 면상(面像)조사(眞木, 1996)에 의하면, 풍향과의 관계, 강풍(8m/s 이상)지의 주풍향 등이 구명된 바 있다.

구얼판통구터(古爾班通古特)사막에서는 북서풍, 타커라마칸사막의 남동부에서는 북동~동풍이 많고, 남서부에서는 북서~서풍이 많다. 민풍의 동부(야툰구스란카)부근에서는 바람이 집중하기 때문에 사구는 피라미드형의 사구가 많고 지나치게 이동하지 않는다. 남부의 툼판(崑崙)산맥 부근의

일부에서는 남~남남서풍이 분다. 이곳은 사구의 최종집결지이고, “沙의 墓地”라고 알려져 있다. 케리아강 부근에서의 胡楊樹林을 20~30m의 사구가 덮친 상황을 조사할 수 있는데, 이것은 사구의 이동에 의한 전형적인 사막화이다.

텐산(天山) 북부에서는 북서풍이 山系에 이어지는 풍향이 되고, 동단부에서는 산계를 도는 풍향이 변하여 북동풍이 되는 특징을 나타낸다. 또한, 투루판(吐魯番)분지 서부에서는 텐산(天山)산맥의 곡간에 부는 바람이 많기 때문에 서~서북서풍이 불고, 그 분지 동부(하미동부) 등 타커라마칸사막 동부에서는 대체로 북동풍이 부는 등의 특징이 현저하다.

(3) 투루판(吐魯番)사막에서의 사구 이동

투루판(吐魯番)사막연구소 부근에서 지난 5년간 연속적인 사구이동에 관한 조사보고서(眞木, 1996)에 의하면, 투루판(吐魯番)에서는 높이 약 7m의 사구가 많지만, 그것은 해마다 서~서북서의 강풍에 의해 동~동남동으로 이동한다. 관측에는 높이 7m의 한쪽의 날개가 긴 반월형 변형사구를 이용했다. 1990년 8월부터 1991년 8월까지의 이동거리는 9.5m이다. 또한 1991년 여름에서 1994년 여름까지의 3개년간의 이동거리는 각각 9.0m, 12.0m, 11.0m가 되고 4년 평균은 10.4m가 되었다.

투루판(吐魯番)의 1991~1992년의 사구의 이동 방향은 서~서북부의 바람에 의해 동~동북동으로 이동한다. 또한 이동시간은 주로 춘계~하계의 4~8월이고, 추계, 특히 동계는 거의 이동하지 않는다. 또한 1973~78년의 연간 이동거리는 빠르게는 연간 67.5m, 느리게는 연간 10.0m이고, 평균 28.1m이었다는 자료도 있으며, 약 20~30년 전의 이동거리와 비교하면 그 후에는 이동거리가 짧아지고 있다.

사구의 이동은 풍속과 사구의 높이, 형태에 의해 변화된다. 즉, 높이가 높으면 느려져, 작은 半月型沙丘에서는 이동이 상당히 빠르고, 피라미드형 사구에서는 결과적으로 스케일도 크고 이동이 늦어지는 등의 특징이 있지만, 일반적으로 규모는 상당히 작아지고 있다. 또한 半月型和 같은 활발한 사구는 감소하였다. 그러나 소규모 사구의 활발화(급한 安息角을 나타내는 사구)현상이 많이 나타난다. 1993년의 이상기후(低溫, 多雨)에 의한 영향은 사막식물을 활성화시키고 사구이동의 감소에 큰 역할을 하는 것으로 생각되며, 1994년 7월에도 사막식물의 활성화는 왕성하였다(眞木, 1996).

(4) 비사·사구이동에 미치는 풍속

모래는 높이 2m에서 풍속(이동개시 풍속: 起沙風)이 5m/s 이상일 때 이동이 시작된다. 8m/s를 넘는 것도 상당히 많지만, 평균풍속 10m/s 이상에서는 보통 사진(沙塵)이 부유(浮遊)하게 된다. 평균풍속 15m/s 이상에서는 하늘이 어둡고 주간에 태양이 떠도 그늘지게 된다(眞木, 1996).

2. 沙丘固定 綠化技術

1) 중국 중·서북부지역에서의 사구고정기술

내몽고의 우십기의 우반공사(烏審公社)는 1,600 km²의 토지를 소유하는데, 약 반은 사구로 매몰되었다. 연강수량은 317mm의 하우형(夏雨型)으로 7~9월에 호우형태로 내리며, 최대풍속은 25m/s이다. 사구는 북서풍에 의해서 남동으로 이동하며 1/3정도로 남아 있는 경지를 침식했지만, 1958년에 대규모 농지개량을 시행하여 경지를 조성하였다. 이 방법은, 최초로 각 사구의 바람받이쪽의 1/3에 건조에 강한 쭉쭉(黑沙蒿)과 버드나무속(小紅柳, 沙柳)을 열상으로 식수하고, 그들 나무 사이에 관목과 초류를 심어서 지면피복율을 50%로 하였다. 그 결과 바람에 의한 모래의 운동량이 1/20로 감소하였다. 사구의 높은 곳의 모래는 이동해서 2~3년만에 토지가 평탄화되면 같은 종류의 관목을 식재한다. 이와 동시에 사구와 사구간(지하수가 낮은 곳)에 沙柳, 旱柳를 5m 간격으로 식재한다. 그 다음에 토지개량과 가축용의 사료용으로 목초 등을 심는다. 그 결과 5년후에는 70%의 식피복율을 얻고, 사구의 이동이 감소되었다.

이렇게 하기 위해서는 수년간의 관리가 필요하게 된다. 사구의 바람받이쪽의 관목은 고사해서 풍구(風口)가 되며, 이것이 확대할 위험성이 있으므로 이것을 방지하기 위하여 다음과 같은 과정을 밟는다. 즉, 黑沙蒿와 小紅柳를 식재하고, 나무사이에 다시 식수해서 피해의 확대를 방지하기 위하여 수년간의 방목, 연료재의 벌채를 금지한다.

이 결과 1975년까지 1.6만ha의 사구가 안정화(고정)되고, 목초생산의 증대와 연료용과 타용도용의 수목의 성장이 증대되었다. 속성버드나무는 경제 가치가 있고, 1,300본/ha이 6~8년마다 벌채된다. 이러한 사구고정 프로젝트는 목재생산의 안정화에도 기여할 수 있게 되었다(眞木, 1996).

2) 중국 동북부지역에서의 사구고정기술

내몽고 츠핑(赤峰)의 동방홍생산대와 태평리인민

공사(東方紅生產隊·太平里人民公社) 지역은 연강수량 300~400mm, 하계에는 남서풍, 동계에는 북서풍이 불고, 연평균 풍속은 4m/s, 연간 100~150일의 강풍일이 발생한다. 일최대 풍속 17.2m/s 이상의 바람이 45~71일 불고, 동방홍생산대는 크기 0.1~0.5ha의 사구가 2만개나 있다. 200만m²의 모래를 이동해서 사구를 평탄화하고, 토지를 비옥화하기 위하여 관개수로서 관개하고, 또한 토지의 주변에는 방풍림을 조성하였다. 토지의 토층은 10년에 0.3~1.0m에 이르고, 질소 4.1배, 인 1.3배, 가리 1.4배가 증가했다. 이 결과 풍해는 감소하고, 곡물수량은 3배 이상으로 증가하였다(朱, 1997). 또 료우닝성(遼寧省義縣)에서도 이와 같이 80만m²의 모래를 이동한 결과, 츠핑지역에서의 비슷한 성과를 거두었다(朱, 1997; 吉野, 1997; 眞木, 1996).

3) 중국 동남부지역에서의 사구고정기술

광둥성(廣東省)의南沙諸島の南山島는 비사와 사구로 거의 불모지화된 무임목지역이었다. 1929~1949년에는 해안 2km까지 침식되고, 120만ha의 농지가 모래에 매몰되어 농업생산의 진도는 암울하였지만, 1953~1976년의 나무심기사업으로 너비 1~5km, 길이 57km, 면적 4,000ha의 해안방풍림을 조성하여 북동의 바람을 막았으며, 또한 태풍해(강풍, 고온)와 파도피해로부터 경지를 보호하였다. 섬은 아열대기후이므로 연평균기온 23.6℃, 최고기온 37.0℃, 최저기온 2.0℃, 강수량 1,400~1,600mm, 10~4월은 건기, 5~8월은 우기의 건우기가 있다.

이 결과 풍속은 60%, 일평균기온은 0.2~8.3℃, 지표온도는 1.3~2.0℃ 감소하였다. 또한, 상대습도는 7% 증가하고, 농작물은 1949년의 1.27t/ha에서 4.35t/ha으로 증가하였다. 10개 섬에서 약 2,200ha의 토지가 재이용할 수 있게 되었으며, 1,200ha가 농지로 이용되었다. 또 연료림은 충분히 조성되고, 판매도 할 수 있게 되었다. 벌기(伐期)는 10~15년으로 짧고, 생산량은 45m³/ha로서 연간 3~5m³/ha가 되었다. 목재는 주택, 선박의 건조재와 가구제작에 활용할 수 있게 되었다(朱, 1997; 眞木, 1996).

4) 타끄라마칸사막에서의 녹화기술

타끄라마칸사막(타림분지)에서 석유개발 목적으로 사막도로를 건설중에 있으나, 사구지역에서는 아직도 비사·퇴사를 방지할 필요가 있다. 그래서

트루팡에서 실시한 방풍림, 특히 방풍넛트에 의한 효과가 좋다고 평가되었으므로 윤태(輪台)의 남쪽 100km 부근에 2km의 시험도로를 건설할 때에 방풍림, 방풍넛트, 방풍울타리, 초방격(草方格), 아스팔트, 소금산포, 식생구 등에 의한 사막보호실험을 실시하였다. 그 중에서, 방풍넛트의 효과를 평가한 결과 폴리에틸렌넷트9G망(밀폐도 30~40%, 100m 정도)으로 된 넛트의 효과가 우수하였다.

석유중계기지가 있는 거얼라(庫爾勒)로부터 타림 분지 중앙의 탑중유전(塔中油田)까지 남북 219km를 연결하는 공사, 즉 타림분지 석유도로 건설공사는 1994년 7월에 개통되었으나 녹화공사는 도로 양쪽에 초방격(草方格)으로 비사방지 공사를 실시한 후 3년간의 돌관공사(突貫工事)로 완성하였다(眞木, 1996).

3. 沙漠化地域의 綠化工法

1) 土壤浸蝕에 기인하는 沙漠化防止技術

(1) 수식(水蝕)에 의한 사막화의 방지기술

투루판의 연평균강수량은 16.4mm이지만, 하루에 36.0mm가 내리는 해도 있으며, 한편 연간 2.9mm밖에 내리지 않는 해도 있다. 이와 같은 건조지에서는 평균적으로는 강우가 거의 없지만, 연변화 또는 장소에 따른 변화가 크다. 건조지에서는 식생이 거의 없으므로 산지에서 비가 10mm만 내려도 사막에서는 홍수가 되어 토막(土漠), 모래사막(沙漠), 고비사막(石·漠)을 사행(蛇行)하면서 흐르게 된다.

수식을 방지하기 위해서는 산지에 식생을 회복해야 한다. 썬장(新疆)에서는 천산산맥(天山山脈)의 표고 1,500~2,500m에 있는 삼림의 벌채는 극히 일부를 제외하고는 금지해야 할 필요가 있다. 토막(土漠)과 모래사막·자갈사막에서는 하천과 수로를 토목공학적으로 정비해서 일정한 장소를 물이 흐르도록 해야 한다. 이와 같은 흙, 모래, 자갈의 하원(河原)에 식생의 정착이 없고 환경개량이 곤란하므로 인공적으로 방풍림과 토사방지림을 조성해야 한다.

지표면을 고정하기 위해서는 아스팔트유제, 라텍스유제 등으로 피복해야 하며, 수로에 대해서는 흙을 파내지 말고 초생(草生), 돌 깔기(敷石), 콘크리트, 관(토관, 콘크리트관, 철관) 등으로 정비한다.

농경지에서는 지표면의 식물피복율을 높이고, 밀식, 목초도입, 혼작, 동·춘계의 나지화 방지,

덜칭(짚, 필름)을 하고, 또한 등고선재배를 실시한다. 또, 퇴비의 사용, 염집적지에서는 석고 등의 사용과 객토 등으로 토양개량을 실시해야 한다.

(2) 풍식(風蝕)에 기인하는 사막화의 방지

풍식의 방지는 수식방지와 비슷한 방법으로 대응하지만, 풍식방지에서는 방풍림, 방풍넛트와 우물정자모양(井桁狀)으로 벧짚(밀짚)을 세워뒀은 초방격(straw checkerboards, 草方格), 점토방격(粘土方格)의 설치와 스프링클러·구(溝)·밭고랑관개기법 등이 효과적이다.

모래사막(沙漠·沙丘)의 녹화(固定化)에는 바람의 힘을 약화시키거나, 사구표면을 보호하는 등의 조치를 취해야 한다. 따라서, 비사(飛沙)를 방지해야 되는 곳에서는 우선 사구를 녹화해야 한다.

2) 沙漠化防止를 위한 綠化技術

(1) 오아시스 방호림조성기술

건조지의 오아시스(oasis, 沙漠綠洲)의 전형적인 것은 방풍림이나 防沙林 숲으로 둘러싸인 토지로써, 사막의 오아시스(綠洲, 綠地)는 대단히 좋은 정신적 위안을 줄 수 있는 휴양지로서의 이미지가 있지만 넓은 오아시스에서도 주변의 건조지, 즉 사막의 영향을 받게 되므로 항상 자연환경변화에 민감하게 된다. 이와 같은 건조사막지역에서는 강풍이 풍식을 일으키고, 상공에 沙塵을 말아올려 태양을 볼 수 없도록 하는 일이 많지만, 그 때에는 오아시스내에서도 사진이 하강하고, 고온시에는 고온, 저온시에는 저온이 된다. 다만, 이와 같은 정도가 비교적 적은 것이며, 풍식의 발생이 감소하게 된다. 즉, 이와 같은 오아시스는 사막기후·기상을 개량하는 결과, 오아시스가 넓게 확대되면 기후가 한층 개량될 수 있게 된다.

중국에서는 1950년 전후로부터 사막의 경계지역과 腹地를 개발하고, 많은 고정 및 반고정 사구를 농지로 조성해서 콩, 목화, 麻類, 糖類, 해바라기, 담배, 참깨 등을 재배하여 작물생산을 높인다. 또, 사막의 개발에는 댐(水庫)을 건설하는데, 시호즈(石河子)에서는 8개소의 댐을 완성해서, 목화, 밀, 사탕무 등 많은 작물이 재배된다. 이것을 중국에서는 「人進沙退」, 즉 녹화(綠化)·오아시스화라고 한다.

「사막화방지」는 사막화된, 또는 사막화되는 지역을 방지·보호하는 것으로, 소극적인 의미가 있는 것에 대하여, 「녹화」 혹은 「오아시스화」는 사막화되었거나 되고 있는 지역 혹은 사막을 합해서

조립하여 녹지(綠地)·오아시스로 만드는 것으로 적극적인 의미가 강하지만, 보통은 이들을 구별하지 않고 사용한다(吉野, 1994, 1997). 녹화·오아시스화로서 대표적인 지역에는 하서회랑(河西回廊; 甘肅省), 셴장의 마나스(瑪納斯)강유역, 타림강유역, 투루판분지, 내몽고의 하루평원(河套平原; 包頭附近, 黃河北側), 닝샤(寧夏)의 중위(中衛: 黃河가 북쪽으로 구부러지기 시작하는 지역) 등이 있다.

오아시스와 사막과의 기후의 차이를 보면, 오아시스의 기온·지온은 사막보다도 하계에는 낮고, 동계에는 높고, 낮에는 낮고, 야간에는 높고, 또 연변화·일변화가 작다. 오아시스에서는 풍속은 반감한다. 사막에서는 강우 후 기온·지온의 상승은 급격하지만, 오아시스에서는 토양수분과 습도의 증가 때문에 완만해지므로 기후완화효과가 크다. 건조지의 식물은 열악한 환경하에 있으므로 내건, 내풍, 내열, 내한, 내염성 등을 가진 식물이 아니면 생육이 잘될 수가 없다. 건조지에서 기상개량을 하기 위해서는 방풍림대, 방풍원대(防風垣帶), 초생대 등으로 환경개선을 해야 한다. 이와 같은 것을 조성하지 않으면 작물재배가 곤란하게 된다. 그러므로 조직적인 환경·기상개량을 하지 않으면 광범위한 오아시스를 보전할 수 없을 것이다.

그러므로 과잉으로 개발하게 되면 「沙進人退」가 되지 않을 수 없을 것이다. 인구증가조건하에서도 「人進沙退」를 기대하려면 이용가능수량의 평가와 사용수량 및 이용가능(개발)토지의 평가, 즉 환경평가를 할 필요가 있다. 강수량, 유량, 취수량, 이용량, 이용효율, 건설비, 생산량, 생산가격, 수익, 수송비 등을 고려한 종합적인 평가가 필요할 것이다. 금후, 자연과학과 사회과학의 양면적 연구가 기대된다.

(2) 항공파종에 의한 사지(沙地)녹화가술

중국에서 항공파종은 沙地(sandy land)에서 모래고정·녹화를 위한 새로운 방법 중의 하나로, 1950년대 후반에 처음으로 실험이 시작되었다. 이것은 주로 연강우량이 400mm/yr를 초과하는 지역에 적용된다(Zhang and Zhao, 1988). 사용되는 종자는 발아가 잘 되고, 생장이 빨라야 하며, 가치 있는 생산품을 생산하는 것은 물론, 풍식과 매립에 강해야 한다. 어느 식물이 이러한 모든 조건을 갖추기는 쉽지 않다. 중국의 임업과학원, 북경 임업대학, 그리고 유린(Yulin), 샤안시(Shaanxi)

성과 다른 지역에서의 지난 10년간의 실험에서 몇 종이 선발되었는데, 특히 스텝(steppe)지역에 사용되는 식물종은 *Hedysarum mongolicum*, *H. scoparium*, *Artemisia spaerocephala* 등이다.

종자의 순도, 발아력, 파종 후의 곤충과 새에 의한 해와 같은 많은 요소들이 항공파종에 요구되는 종자의 양에 영향을 미친다. 이동사구를 안정시키기 위해서는 충분한 밀도로 식물군락을 형성하는 것이 필요하다. 항공파종에 이용되는 대부분의 식물종은 바람에 의해 쉽게 날릴 수 있는 작고 가벼운 종자를 가지고 있다. 종자들은 때로는 발아력을 증진시키기 위하여 동위원소나 고분자 화합물로 처리하기도 한다.

항공파종의 시기는 기상조건이 비행에 적합해야 하고, 사막화지역에서는 발아와 생장에 부적합하기 때문에 강한 바람이 부는 때를 피해야 한다. 유린(Yulin), 샤안시(Shaanxi)성에서는 항공파종 시기가 보통 5월과 6월 사이이다. 파종된 지역에는 울타리를 설치하여 잘 보호하는 것이 인간과 가축들에 의한 피해를 방지하는 최선의 방법이다. 이때에 어떤 곤충들은 때로 다른 해충을 구제하는데 천적으로 이용되기도 한다.

(3) 인공조립에 의한 녹화가술

연간강수량이 200~400mm/yr 정도로 적은 건조(arid), 반건조(semi-arid)지역에서 이동사구를 안정하고 이동하는 모래를 고정하기 위해서는, 수목, 관목 및 초류로서 인공식재하는 것이 필수적인 방법인 것이다. 묘목과 파종이 모두 필요하다. 모래를 고정하기 위한 인공식재에 사용되는 방법에는 다음과 같은 것이 있다.

- 사구간(inter-dune) 및 낮은 지대(low-lying land)에 수목, 관목 및 초류를 심는다.
- 바람침식에 높은 저항력을 가진 관목을 사구의 바람받이쪽 사면의 전면 혹은 중앙부에 식재한다.
- 사질토양(sandy soil)에서 내한발성이 있는 수종(예 : *Salix* spp., *Artemisia* spp., *Caligunum* spp.)의 묘목, 때로는 삼목/삼수는, 사구의 모래 표면을 고정하기 위하여 사구의 바람의지쪽 사면에 심는다. 이러한 인공식재는 비관개, 속성생장 및 가축의 사료용으로 쓰이는 특징이 있다.
- 철로와 고속도로의 선로에 따라서 양쪽에 있는 사구를 어떻게 효과적으로 처리할 수 있는가, 교통의 안전성이 확보될 수 있도록 철로노선을 바람침식과 모래퇴적으로부터 어떻게 방지할 수 있는

가 하는 것은 사구를 고정하고 모래를 안정하기 위한 과제를 수행하는 동안 해결해야 할 문제인 것이다(李 主編, 1992; 治沙造林學會編委會, 1984; 朱와 朱, 1999).

생물학적 접근기술이 중국북부지역의 사질사막(Sandy desert)에서 철로와 고속도로에 있는 이동 모래를 안정하기 위하여 널리 사용된다.

• 모래날림과 모래퇴적을 방지하기 위하여 관개(灌溉)없이 철로/고속도로에 따라서 녹화(revegetation)하고, 또한 풍속을 감소하고, 모래에 의한 재해로부터 교통선을 보호하기 위하여 지표조도를 증가하기 위해서는 철로/고속도로에 따라서 수목 및 관목의 식재가 필요한데, 이러한 사례는 샤파토우(沙坡頭)시험장, 中衛(Zhongwei)현, 닝샤회족자치구(寧夏), 셴장 타크라마칸사막 횡단고속도로에서 볼 수 있다.

• 이동하는 모래를 고정하기 위한 초기단계에서, 수직벽을 설치하기 위한 방법은 주어진 경우에 사구이동 및 모래이동으로부터 사구표면을 방지함에 적용할 수 있다. 모래장벽(sand barrier)에는 두 가지 유형이 있다. 하나는 나무가지로 만든 수직벽(vertical barrier)이고, 다른 하나는 사각형으로 된 벧짚격자정사울(straw checkerboard: 草方格)이다. 나무가지로 만든 수직벽은 높이 1~1.5m이고, 밀짚정사울은 1×1m에 높이는 15~25cm 정도이다.

• 이동사구표면이 위의 정사울로서 안정된 이후에는 묘포에서 양성된 선발된 수종의 묘목을 식재한다. 식재한 묘목은 동물이 뜯어먹거나 바람전조해를 방지하기 위하여 마른 나무가지로 보호해 준다. 이러한 조림지는 가축피해로부터 피하기 위하여, 또한 식생으로 된 사구표면위에 토사층(silt crust)을 증가시키고, 풍속을 감소하기 위하여 몇 년동안 울타리를 쳐준다.

• 모래고정수종의 선발: 샤파토우 시험장은 건조한 기후, 강한 바람에 날리는 모래, 기온의 잦은 변화, 토양의 척박성 및 건조성이 뚜렷한 지역에 있다. 1956년부터 수목, 관목 및 반관목(semishrubs)의 식물종이 시험적으로 도입되어 시험장에 있는 바르한사구(barchan dune)에 식재되었다. 시험식재한 식물종은 *Pinus tabulaeformis*, *Pinus sylvestris* var. *mongolica*, *Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia* 등인데, 이들 수종은 활착이 불량하고 곧 시들었다. 그리고 *Populus simmonii*, *Populus nigra* var. *thevestina* 수종이 시험식재되었으며, 바

람의지쪽(leewind) 사면에서 활착되었다. 그러나 이들 수종은 내한발성(drought-tolerant)인 *Elaeagnus angustifolia*와 같은 재래수종(native species)까지도, 왜소한 관목(dwarf shrubs)처럼 활착하였다. *Ammopiptanthus mongolicus*와 같은 수종 및 *Amorpha fruticosa*, *Artemisia halodendron*과 같은 관목·반관목은 비사에 의하여 묻히거나, 생장이 불량하였다. 오랜 기간동안 연구결과를 종합해보면, 사구고정을 위한 좋은 수종/개척적인 수종은 다음과 같은 특성을 가진 것을 선발해야 한다.

• 뜨거운 기온, 건조성 및 토양의 척박성에 대한 저항성;

• 속성 성장하고 강한 발아력이 있으며, 모래에 의한 매몰에 대항하여 생존할 수 있는 생존력;

• 사구를 고정하고 모래속에서 수분보지하기 위한 수평적인 측근의 잠재능력과 잘 발달된 근계시스템;

• 수종의 분포가 풍부하고 도입 및 번식이 용이해야 한다.

1950년 이후 장기간의 시험연구를 통해서 개척식물종으로 선발된 식물종은 *Hedysarum scoparium*, *Hedysarum fruticosum*, *Caragana korshinskii*, *Caragana microphylla*, *Calligonum arborescens*, *Calligonum caput-medusae*, *Atriplex bracteata*, *Atriplex pungens*, *Salix flavida*, *Artemisia ordosica*, *Artemisia sphaerocephala* 등이다.

• 식재배식 및 밀도: 식물종들은 모래를 고정하는 특성 및 성장형태가 종마다 서로 다르고 차이가 있다. 적절한 배치방법은 모든 식재수종이 잠재능력을 충분히 발휘할 수 있도록, 방사림(sand breaks)을 조성하려는 곳의 지역특성에 맞도록 선발되어야 한다. 어느 수종도, 다른 수종과의 적절한 혼식없이, 단독으로는 좋은 기능을 발휘할 수 없는 것이다. 단일 수종조림지는 병해충피해를 심하게 받기 쉽다.

일년생 및 2년생 식물은 단엽식물이고, 사구고정과정에서 제한된 역할을 할 뿐이다. 다년생 숙근초류(perennial herbs)는 천근성 근계를 가지므로, 그들은 사지의 상부층에서 수분을 소비하고, 특별히 강우가 잦은 해에는 잘 자란다. 그러므로, 수목과 관목을 식재할 때에는, 어느 정도의 다년생 숙근초류를 동일지에 혼식해야 한다. 이렇게 함으로서, 사질토양에 있는 수분과 유기물 이용에 대한 경쟁을 완화할 수 있으며, 또한 식생피복율을 증가할 수 있다. 결과적으로, 모래고정과정은

촉진할 수 있다. 선발된 개척식물의 번무에 필수적이고 합리적인 배식과 적절한 밀도선정에 유의해야 한다.

바르한사구(barchan dunes)에서 곳에 따라 다른 입지조건은 모래고정식물의 성장에 영향을 준다. 식물의 성장에 영향을 주는 2대 요인은 풍식과 모래에 묻히는 것이다. 바람받이쪽사면(침식된 부분)에서의 모래층은 더욱 굳고 식물근계발달에 적절하지 못하다. 바람의지쪽사면(모래로 매몰되는 부분)의 모래층은 굳지 않고 뿌리의 성장에 적절하다. 식물종에 따라서 각각 특성이 다른데, *Salix flavida*, *Calligonum arborescens*, *Atriplex bracteata*, *Artemisia sphaerocephala* 등은 모래층이 굳지 않고 모래매몰이 있는 곳에서 적응할 수 있으며, *Caragana korshinskii*, *Hedysarum scoparium*, *Artemisia ordosica* 등은 사층이 굳은 곳에서 사이심기(inter-plantation)에 적절하다. 따라서 적지적수원칙이 지켜져야 한다.

• 바람받이쪽 사면 : 이곳은 바람침식지이고, 벧짚겨자정사울을 설치한다해도, 그곳에는 바람침식이 심하여 모래층이 더욱 굳어진다. 이곳에 비교적 적당한 식물종은, *Hedysarum scoparium*, *Caragana korshinskii*, *Caragana microphylla*, *Artemisia ordosica* 등이다.

• 사구의 정상부 : 이곳은 모래매몰과 바람침식의 분계점이며, 모래층은 조송하고, *Artemisia sphaerocephala*, *Calligonum spp.*, *Atriplex bracteata*와 같은 식물에 적당하다.

• 바람의지쪽사면 : 이곳은 모래가 쌓이는 부분이다. 모래층이 조송하다할지라도, 모래층은 건조하고 깊고, 이식은 단지 강우 후에 가능하다. 이곳에 적당한 식물은 *Salix flavida*, *Calligonum spp.*, *Atriplex bracteata* 등이다. *Artemisia ordosica*, *Artemisia sphaerocephala*는 우기에 직접 파종할 수 있다.

• 바람의지쪽 비탈밀 : 이곳은 모래매몰지이며, *Salix flavida*, *Calligonum spp.*와 같은 모래매몰 저항성이 큰 식물을 심어야 한다.

모래고정식물의 생존을 위한 합리적인 관리기술이 필요하다. 모래매몰부분은 소규모이며, 특별한 혼식대책이 없어도 되지만, 바람받이쪽 사면은 전체사구의 약 80%를 차지하며, 몇 수종의 혼식방법이 단일종 식재보다 적절하다. 샤파투우(沙坡頭)시험장에서 시험결과를 보면, 가장 실천가능한 혼식은 관목과 반관목의 혼식, 즉 *Caragana*

korshinskii 혹은 *Caragana microphylla*와 *Artemisia ordosica*의 혼식, 혹은 *Hedysarum scoparium*과 *Artemisia ordosica*의 혼식이 우수하였다. *Artemisia ordosica*의 근계의 밀생층은 20cm 깊이에 분포하였으며, *Hedysarum scoparium* 근계는 주로 20cm로부터 80cm 깊이에 있으며, *Caragana korshinskii* 근계는 40cm로부터 90cm 깊이에 있었다. 이와 같이 뿌리깊이가 다른 식물의 혼식방법은 뿌리가 짧은 토층에서 수분과 유기물을 충분히 이용하여 표토위에 있는 줄기생장에 유익하게 한다.

적절한 식재밀도는, 또한 이동하는 모래를 고정하기 위한 식생의 활착을 확보함에 매우 중요한 요인이 된다. 관목식재에서는 식재열간격과 식재묘목간격은 0.3×0.5m, 0.5×0.5m, 0.5×1.0m, 1.0×1.0m 이었으며, 반관목식재에서는 0.3×0.5m, 0.5×0.5m, 0.5×1.0m로 하였다. 이러한 식재밀도는 대단히 높은 것이며, 식재된 식물은 수분부족으로 시들거나 생장이 불량하였다. 1964년부터 대상식재방법(strip form of revegetation)이 적용되었으며, 대(strip)간에 어느 정도의 공간을 두어 보다 많은 수분과 유기물을 확보할 수 있도록 조정하여 좋은 결과를 얻게 되었다.

3) 山地環境保全 綠化技術

(1) 인구증가에 의한 산지의 황폐화

인구증가에 의해서 과도한 토지이용이 토양손실과 토지의 악화, 경지의 열화를 가져와서 수백만 km²의 토지를 사막화시킨다. 또, 植被率의 저하는 토양의 저수능력의 저하를 가져와서 분수령의 저수능력이 수량·수질의 보전과 침식방지에 큰 영향을 미친다. 저수능력이 저하되면 홍수의 증가와 하천바닥의 변동을 유발하게 되고, 또 농지, 관개시설, 저수지, 주거지, 통신망 등에 수해를 발생시키게 된다. 그러므로 조림에 의해서 수해, 토양침식해의 방지에 노력하게 되었다.

조림의 주요목적은 수질정화, 침식방지, 목재생산 이외에도, 중국에서는 토양과 물의 보전을 대단히 중요시하고, 각종 개발계획에 있어서도 명확히 조림계획을 명시하도록 한다. 식량생산에 가장 관계가 깊은, 물에 관한 많은 계획은 대부분 관개와 홍수방지에 초점을 두며, 대규모 조림계획은 합리적인 조림기술과 임업경영방식에 의해서 분수령의 장기수문수지조정에 유효한 효과를 주고 있다(眞木, 1996).

(2) 황토고원의 토양침식방지기술

산지와 하천에 관련해서, 2대 분수령인 황하와 장강(長江), 특히 75.2만km²의 황하유역은 중대한 문제를 포함한다. 황하는 매년 1.6조의 토사를 운송하고, 하류의 하상은 매년 약 10cm 정도로 상승하며, 하상은 이미 주변지역보다 3~8m 정도가 높아 天井川이 된 곳도 있다. 황하의 중앙부의 40%의 지역에 해당하는 黃土(loess)지대로부터 유출하는 토사(침전물)는 전체의 90% 정도를 차지한다. 특히 산시성(山西省) 북부의 8만km²의 지역은 황하전체의 50%의 황토를 유출시킨다고 추정되며, 주로 1.5만km²의 황토고원으로부터 유출된다. 여기에는 깊이 150~200m, 1km² 당 5km의 구곡이 있고, 7~8월에 많이 발생하는 홍수는 구곡(gully)을 합류해서 계곡을 만들어, 침식력을 급격히 가속시킨다(野村, 1988).

황하부근의 황토고원의 원생림은 약 3% 정도밖에 남아있지 않다. 본래 이 지역에 번무했던 삼림은 수도보전작용을 담당했지만, 곡물생산을 위하여 심하게 개간한 결과 삼림이 거의 없는 황막지역으로 확대되고, 이 지역에는 대부분이 암·석(암막·석막지대)의 불모지로 되었다.

또, 사구침식과 수목·초지파괴가 원인이 되어 발생한 황하 상류 고지의 사면침식에 의한 홍수침전퇴적물은 광대한 사막화에 악영향을 주고 있으므로 황토고원지역의 침식방지대책은 매우 중요한 사막화방지 사업의 일환인 것이다(眞木, 1996).

(3) 분수령지대의 토지이용기법

토양과 물의 보전을 위하여 456개소의 수리시험소와 토양보전시험소에서 기상과 수리자료를 수집하였다. 나지 분수령, 농업한계지에서의 조림에 대한 토양보전을 실시하기 위하여 농지와 임지·초지의 식생피복지를 선별하기 위하여 토지능력분류를 실시하였다. ① 토지의 경사도가 15도 이하로서 토양이 농업생산에 적당한 지역은 농업용지로, ② 경사도가 15도 이상 또는 15도 이하라도 토양이 농업에 적절하지 않은 지역은 삼림으로 구분하며, 여기에 토양침식이 격심한 지역에서는 조림을 우선 실시한다. 불모의 토지를 삼림과 초지로 회복하는 것은 침식방지와 하천유량의 제어에 있다. 불량농업한계지에서의 임업과 목축업에 의한 기대수익은 농업에 의한 수익보다 많다. 특히 건조지역에서는 이와 같이 되고 있으며, 농지로부터 초지, 임지로 회복하는 사업은 황토고원 등에서 광범위하게 진척되고 있다.

곡물은 35도의 경사지로부터 계단조성지, 구릉지까지 재배하며, 자연식생은 급경사지에 남아있는 것을 볼 수 있다. 황토지대의 토양의 점토함유량은 15~20% 정도이다. 토양의 침식율은 1분당 0.5~1.0mm, 흡수능력은 44~48%이지만, 보수능력은 약 20% 정도이다(野村, 1988). 그러므로 흡수한 토양은 팽창하고, 토지는 침식되기 쉽게 되며, 계곡의 형성도 대단히 빠르게 된다. 토양침식을 방지하기 위해서는 생물적·기계적 방법, 혹은 다음에서와 같은 전체적인 토지이용계획을 수립할 필요가 있다.

황토고원의 농지, 임지, 초지의 토지이용의 전환 목표로서, 농지는 62%로부터 26%로 감소, 임지는 27%로부터 41%로 증가, 목초지는 11%에서 33%로 증가하고자 하는 계획을 수립하였다(眞木, 1996).

(4) 산지의 토양보전대책

경사도 15도 이하의 토지에서는 경사지에서 물보전을 위하여 테라스모양으로 정지하여 산사태붕괴를 방지하고, 물을 농작물에 공급하도록 한다. 삼림이나 초지의 황토유역으로부터 토사유출량은 계곡을 낀 황토유역으로부터의 유량보다는 적다. 테라스계단 등의 농업보전과 삼림화는 홍수를 분산하고 사면에서 식취작용을 감소시키며, 계곡의 침식을 완화시키게 된다.

생물적으로는 식생회복이 되지 않는 지역에서는 소형 사방댐을 계곡의 입구에 건설하는 기계적 대책을 강구해서 댐의 상류부에 토사를 퇴적하여 경사를 완화하게 되면, 식생을 회복하게 된다. 사방댐, 소규모의 저수지, 침식구곡에 저수지와 댐의 건설과 같은 대책을 강구하게 되면, 이로서 수로의 저수능력을 높이고, 수로의 경사를 완만하게 하여 홍수를 감소할 수 있게 된다. 그러나 현실적으로는 워낙 지역이 광범위하여 실현하기에 그리 쉽지 않은 상태에 놓여 있다.

4. 沙漠化防止를 위한 防沙工法 및 技術

비사(風沙)를 방지하기 위해 과거부터 실시되어 온 구체적인 사막화방지(녹화) 기술에 관한 연구 보고는 매우 다양하다(蘭州沙漠研究所, 1979; 朱等, 1980; 朱와 朱, 1999; 朱震達等, 1989; 眞木, 1996; 吉野, 1997).

1) 生物·生態的 防沙工法(식물피복방사업·식계에 의한 방사공법)

주요한 공법은 다음과 같다.

- ① 초생법(草生法; 封沙育草, 초류로서 피복하여 모래를 막아내는 植生被覆法)
- ② 관목·초생고사법(灌木·草生固沙法: 사구표면의 초본·관목군에 의한 固沙法)
- ③ 사구간 방사림대(丘間片林, 沙丘間低地の 植栽林)
- ④ 기간방사림대(幹線防風·防沙·固沙林)
- ⑤ 경지방풍림대(耕地防護林帶網)

사구이동방지 및 사구고정방법(固沙法)은 그 결과를 나타내기에 많은 시간이 소요되는데, 여기에는 자연력을 빌려 사막화를 방지하는 방법, 초본, 목본식물에 의한 사구고정법, 사구주변에 방사림의 조성법, 농지내의 방호림(保護林)의 조성법 등이 있다. 이 방법은 교목, 관목, 초본식물을 식재 및 파종하고 모래표면을 피복하여 지표의 풍속을 약화시켜 모래의 이동을 방지하는 것이다.

①의 공법에서는 내건성의 초본을 사막과 오아시스간의 모래·사력사막에 식재한다.

②의 공법에서는 유동사구의 바람받이쪽 사면의 기슭에 내건성의 수목(沙柳, 旱柳 등)과 초본성식물(沙米, 羽茅, 三芒草 등)을 식재한다.

③의 공법에서는 유동사구의 바람의지쪽과 사구군의 와지(窪地)에 집단적으로 조성한다.

④의 공법에서는 췌장(新疆)에서의 예(그림 1의 A)에서와 같이 방호림은 사막과 농지의 경계선에 배치하며, 이것은 방사·교사기간방풍림대(防沙·

固沙基幹防風林帶)와 방풍·방사기간방풍림대(防風·防沙基幹防風林帶)로 구분한다. 전자는 모래의 공법이 많은 타커라마간사막 등의 사구의 전선에 임대너비(林帶幅) 100~200m로 설정한다. 주요 수종은 沙棗, 榆, 위성류(紅柳), 沙拐棗, 梭梭 등이며, 주열간(株列間) 1×1m로 내건성의 관목·초지를 앞쪽에 조성한다. 후자는 일반적인 防沙林을 시공하고 모래의 공급이 비교적 적은 앞쪽(前線)에 설정한다. 사막의 앞쪽에 200m 정도의 초지와 1~2열의 관목림을 조성한다. 基幹林帶幅은 200m로 한다. 수종은 포플러(新疆楊, 白銀楊), 榆, 桑(뽕나무), 紅柳를 주열간(株列間)은 1×2m로 배치한다. 灌溉용으로 2~3m의 도랑을 만들기도 하고, 투루판(吐魯番)의 流動沙地에 조성하는 오도림(五道林) 방사림(그림 1의 B)이 전형적인 것이다.

風蝕이 심한 장소와 강풍지역에 이러한 방사림을 다열(多列)로 배치하면 한층 효과적이 된다. 수종은 교목으로 胡楊, 沙棗, 榆, 관목은 沙拐棗, 紅柳, 白刺, 梭梭 등을 혼효 식재한다. 灌木林帶는 0.5×1m, 혼효의 경우는 관목 0.5m, 喬木 1m로 列間은 1m로 한다. 방사림의 앞쪽에는 200~300m의 초지(風瓜, 駱駝刺 등)를 조성한다.

⑤의 공법에서는 농경지 및 오아시스내에는 방풍림을 바둑판 모양으로 배치하고, 간선용수로와 도로변에도 조성하면 더욱 효과적이 된다(眞木, 1996). 방풍림수종은 포플러, 胡楊, 沙棗, 榆, 桑

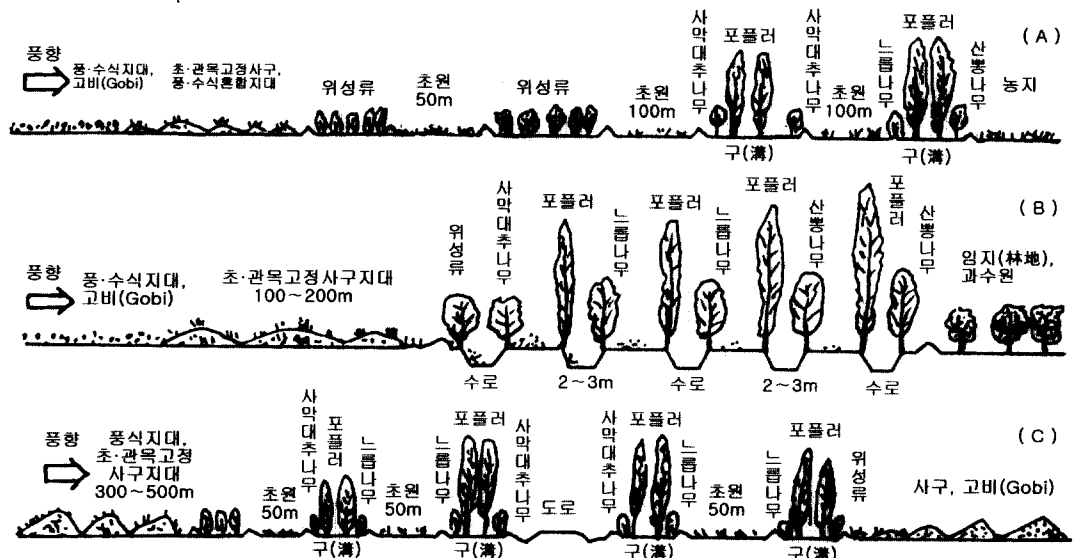


그림 1. 사사막 및 고비사막을 오아시스하기 위한 초생대, 사방림대 및 방풍림대의 조성.

(뽕나무) 등이 효과적이며, 방풍림유형은 여러 층의 혼효림으로 하는 것이 한층 효과적이다. 또한 農道를 보호하기 위한 防風林帶는 그림 1의 C에서 보는 바와 같다.

2) 物理的 防沙工法(공학적 피복방사공법)

주요한 공법은 다음과 같다.

- ① 고방사원·벽(高防沙垣·壁：高立式防沙壁·沙障)
- ② 방사제방(防沙堤防：人工沙丘)
- ③ 저방사원·벽(低防沙垣·壁：半隱蔽式防沙壁·沙障)
- ④ 석력점토피복법(石礫粘土被覆法：石·礫·土에 의한 사구의 피복법)

방사원(防沙垣)·망·벽, 초방격(草方格), 점토방격, 낮은 방사울(沙障)을 이용하는 방법 및 점토, 자갈 등에 의한 피복법 등이 있다. 이들을 다시 더 구분하면, ①, ②의 공법은 식물에 의존하지 않고 1~5m 정도 높이의 (防風)방사(담)울타리, 방사넛트, 방사토벽, 방사돌담, 판자울타리, 펜스 등을 사용하는 경우와, ③의 공법은 식물을 식재하지 않고 보리짚·벼짚과 점토로서 1m 이하의 낮은 장벽(防沙壁)을 만드는 경우가 있고, 열상(列·帶狀) 또는 격자상(格子狀; 井型; 바둑판모양)으로 배치하여 방풍·방사를 하는 방법이 있다.

①, ②, ③의 공법은 眞木(1996)에 의하면, 방사장벽(沙障)에는 매입부분보다 지표에 노출된 부분이 많은 고립식(高立式)과 노출된 부분이 적은 반은폐식이 있는데, 사구의 바람받이쪽의 사면에 격자상으로 매입해서 모래의 이동을 방지하는 것이 은폐식장벽인 것이다.

시공예를 보면, 초방격에는 짚의 중앙을 삼으로 모래속에 눌러 넣어 묻는 방법과 짚을 거꾸로 해서 모래속에 묻는 방법이 있다. 지상부는 20~30cm, 지하부는 15~20cm로 하는 것이 많고, 너비는 0.5~2m이지만 1m로 하는 것(1×1m)이 많으며, 짚 무게는 4.5~6.0t/ha 정도로 시공한다. 경사지에서는 아래쪽의 짚의 상단이 위쪽의 짚의 접지면보다 5cm 정도 높게 해서 짚의 높이가 겹쳐지도록 해야 효과가 더욱 커진다.

②의 공법에서는 고립식 방사벽(①의 공법은 높은 방사담)을 설치해서 퇴적된 모래를 방사제방으로 된 인공대사구로서 바람받이쪽으로부터 비사를

막고, 소사구의 이동을 방지한다. 사구, 사지, 석력고비에서는 우선 먼저 주풍향에 직각으로 방사담을 설치하고, 그 방사담이 모래로 묻히면, 다음에 바람의지쪽의 최고부에 별도의 방사담을 설치한다. 사구가 높아지면 이동속도가 느려지므로 결과적으로는 비사해를 방지하게 된다. 피해가 심한 곳에서는 다열(多列)로 한다. 고비사막에서는 최초로 높이 2m의 인공사력제방을 쌓고, 그 위에 방사담을 쌓아서 방지한다. 이 방법을 관리를 잘 해야 한다. 남쑤장(南新疆)의 차말(且末)의 남동 40km 지점에서는 도로의 보호용으로 바람받이쪽 400m에 길이 12km의 인공제방·사구를 쌓아 비사를 방지하였다.

또한, ①, ②, ③의 공법에서는 인공의 방풍담, 방풍망·넛트, 방사벽을 사용하기 때문에 단시간에 조성이 가능하다. 이와 같은 자재는 보리짚, 벼짚, 갈대, 썩(柴, 雜木의 지엽), 점토, 자갈 등을 사용한다. 또, 사구로부터의 비사를 방지하기 위하여 초본을 식재하는 격자상의 사장도 있다.

퇴사의 효과범위는, 예를 들면 완전히 밀폐된 토벽(土壁)에서는 바람받이쪽에서 2~3배, 바람의지쪽에서 4~5배이지만, 통풍성의 방풍울타리에서는 바람의지쪽에 7~10배가 된다. 또 지표면에서의 감풍범위는 최대로 바람받이쪽에서 5배, 바람의지쪽에 20배정도가 되지만, 통풍성의 방풍울타리에서는 적어도 바람받이쪽에 7배, 바람의지쪽에 30배 정도 이상으로 효과가 있다. 투루판에서는 민가의 주변에 토벽으로 둘러쌓는 경우가 많은데, 방풍·방사의 목적으로는 문제가 없고, 또 가축의 진입·도망방지, 도난방지 등 기타의 목적에도 좋다.

④의 공법에서는 돌, 자갈, 모래, 점토, 소금덩이, 광재(鑛滓), 아스팔트로 사구를 덮는 방법으로, 돌, 자갈, 모래로써는 2~5cm, 흙으로는 10~15cm로 하는 것이 효과적이다. 또, 풍식에 강한 점토 등으로 객토해서 방지하는 방법과 소면적인 곳에서는 넛트, PE멀칭 등의 피복법도 있다.

샤포투우(沙坡頭)사막연구소는 텡거리사막의 남동부 하단에 위치하는데, 포란철도(包頭-蘭州鐵道)를 매몰하는 사구를 고정하는 사구고정녹화기술을 개발하는데 성공하여 큰 업적을 이루어냈다. 퇴사는 전방으로 이동하는 사구를 방지하기 위한 "수직벽(vertical barriers)"을 설치함으로써 확보될 수 있다. 최초 단계에서는 "수직벽"은 높이 1~1.5m로 설계하였으며, 수직벽의 전면에 이동하는 모래가 퇴적되도록 한 당초의 목표가 달성되었으나, 열

마가지 아니해서 수직벽이 완전히 매몰되어 소용이 없게 되었고, 날리는 모래가 수직벽위로 넘어서 통신선에까지 연결되었다. 그 후에, 수수대로 높이 1.5~1.8m의 수직벽(발)을 수목방호림대의 주위에 설치하였는데, 이동하는 모래를 고정함에 매우 효과적이었다. 1년 후에 높이 0.7~1.0m, 너비 10~12m의 종사구(longitudinal dunes)가 새로 설치한 장벽(barriers)에 따라서 형성되었고, 수목방호림대(tree shelterbelts)는 모래퇴적으로부터 효과적으로 방호되었으며, 매몰되지 아니하였다.

철로에 따라서 어느 정도의 너비로 “자갈플랫폼”을 만들어서 모래날림을 억제하여 철로선에 직접적인 피해를 방지하고, 또한 모래가 퇴적됨이 없이 풍력에 의하여 자갈플랫폼(pebble-cemented platforms)을 넘어서 이동사구가 날릴 때에 모래가 자갈플랫폼에 접근하여 모래더미(sand mound)가 형성되지 못하도록 하였다. 통신선의 양쪽에 어느 정도의 너비로 수목, 관목 및 초류로서 생물학적 띠(식재지대)를 조성한다.

최소의 경비와 자재의 확보 및 수송의 편리성을 감안할 때에, 이동사구 및 비사를 고정하기 위한 “벗짚격자정사울(straw grid sand barrier : checker board)”을 만드는데 지방산 벗짚이나 밀짚이 가장 적합하였다. 오랜 기간동안 여러 가지 공법의 비교 시험에서 얻은 결과는, 1×1m 벗짚격자정사울구조가 기계적으로 비사(shifting sand)를 고정하기 위하여 가장 경제적이고 효과적인 설계이었다. 사구에 설치한 1×1m 벗짚격자정사울은 바르한사구(barchan dunes)의 기초바닥(base cushion)의 성질을 크게 변화시켰으며, 지표조도(surface roughness)는 200배 이상 증가하였고, 풍속은 감소되고 지상 515cm 공기기류에 토사함유량은 현저하게 감소하였다.

모래흐름(sand flow)의 구조가 개선되었는데, 모래흐름의 활동성은 대부분 모래표면으로부터 10cm 범위내에서 활동적이며, 공기흐름(air flow)에서 모래함량이 67~71.7%나 되는 곳에서 특히 높이 3cm 이내에서 활동적이었다. 지상에서 높을수록 공기기류에 모래함유량이 적었으며, 지상 9~10cm의 높이에서, 모래함량은 단지 0.98~1.11%까지 감소하였다.

수목방호림대 전면에 높이 15~25cm의 벗짚격자정사울은 충분히 모래날림을 방지할 수 있다. 벗짚격자정사울은 그 크기가 매우 다양하다. 정사울의 규모가 클수록 바람에 의한 패임방지효과가 커

진다. 관측에 의하면, 정사울사이에서 바람에 의한 패임(wind blow)의 최대 깊이는 주풍방향에 수직인 정사울사이의 거리의 1/10정도가 된다. 바람에 의한 침식의 최대 깊이는, 정사울사이의 거리가 1.0m인 곳에서는 10cm를 초과하지 않았으며, 거리가 2.0m인 곳에서는 20cm, 3.0m인 곳에서는 25cm에 가까웠다. 더욱이, 벗짚격자정사울은 유출수의 침투량에 심각하게 영향을 주지 않고, 겨울철에 적설에 도움이 되어, 이것은 기계적으로 처리된 땅에서 식물생장에 유익한 물을 공급하게 된다. 벗짚격자정사울은 5~7년 동안 지속할 수 있으나, 자주 주의하여 관리해야 하고, 특히 바람부는 겨울철과 봄철에는 주의해야 한다. 파손된 부분은 즉시 보수해서 진전을 막아야 하고 또한 철도에 이동하는 모래의 퍼짐을 방지해야 한다.

3) 化學的 防沙工法(化學物質 피복방사공법)

화학적 방사공법에는 화학적 固化劑 뿔어붙이기(地表面 凝固法)와 유사개량화학약제(流沙改良化學藥劑)의 혼용공법(地表面 改良法) 등이 있다. 화학물질인 아스팔트·고분자 섬유제 등으로 사면을 피복하고, 모래를 고정하는 고사방법(固沙方法)으로 속효성이지만 경제적으로 무리한 경우가 많다.

4) 기타 防沙工法

① 관개·침사공법(沈沙法 : 洪水灌溉) : 하천 물을 관개해서 지표면을 습하게 해서 방지하는 방법, 하천 물로서 소사구(팅거리사막, 황하 부근의 낮은 단구상의 이동사구)를 붕괴시켜 평탄화하는 방법, 황하 등의 이수(泥水)를 끌어들이어 관개하고 흙가루(泥)를 침전시켜 토양을 개량하는 방법 등으로, 옛날 나일강의 자연홍수와 같은 의미가 있는 것이다.

② 비사포착수로·구방사공법(飛沙捕捉水路·溝防沙法) : 큰 규모의 구(溝)와 작은 구를 파고 모래를 유치하는 방법으로, 사막내에서의 간선수로로부터 농지내의 관개수로까지 그 역할을 감당하지만 무관개에서도 비사방지기능이 있다. 방사림으로서의 오도림(五道林)의 수로·구는 이와 같은 효과도 있다.

장기적·영속적인 사막화방지대책으로서서는 오랜 기간이 요구되지만 식물의 식재·파종에 의한 식생의 조성에 의한 방법이 가장 적절한 것이다. 이렇게 해서 농업, 임업, 목축업과 연관하여 다각적·종합적인 농임목업이 가능해진다.

결론

① 사구의 형태 및 이동특징: 사구의 주요 형태에는 관목총사구, 사랑사구, 지상사구, 봉소상사구, 격자상사구, 양설상사구, 초생달사구, 포물선상사구, 초생달자연사구, 초생달사릉, 피라미드상사구, 복합형초생달형사구, 복합형중사릉사구, 돛상사구, 불규칙한 사구·사지 등 매우 다양하다. 이들 사구의 분포비율은 높이가 5m이하 13%, 6~10m 17%, 11~25m 18%, 26~50m 14%, 51~100m 28%, 101m 이상 10% 등이다. 중국 건조지역에서 사구의 이동방향은 주로 주풍방향에 따라나 지역·지형·사구의 크기 및 형태에 따라서 이동사구형태에 차이가 많다. 이동사구고정을 위한 주요 공법에는 식생조성공법(黑沙蒿 및 沙柳, 芣柳의 列植, 관목 및 초류 혼식 등), 방풍림네트워 크조성, 방풍넛트설치공법 등이 있다. 또한 황토 고원(loess)지역보전기술개발에 관한 시험연구도 많이 발전되고 있지만, 황하는 매년 약 16억톤의 토사를 운송하고 하류하상이 매년 약 10cm정도 상승하여 천장천을 형성함에 대한 근본적인 대책은 미진한 상태에 있다.

② 사막화지역의 녹화기술분석: 수식지역에 대해서는 식생조성, 방풍림 및 토사방비림조성, 아스팔트유계피복, 수로보호공사, 농경지표면의 녹화율 및 피복율 증진, 등고선 경작 및 멀칭, 유기질 퇴비시용, 토목시공 등이 필요하며, 풍식지역에 대해서는 수식방지공법외에도 방풍림 및 방풍넛트 설치, 벧짚정사울(草方格沙障), 점토방격, 관개기술 등 비사방지대책이 필수적으로 필요하다. 사막화방지를 위해서는 오아시스(沙漠綠洲)와 방호림조성이 매우 중요하며, 특히 「沙進人退」에서 「人進沙退」가 되도록 사막화지역의 환경을 개선해야 한다. 광대한 사지녹화를 위한 신기술·신공법개발에 중점을 두며, 특히 항공파종에 의한 사지녹화기술개발은 이미 1950년대 후반부터 국소적, 간헐적, 실험적으로 실시된다. 항공파종에 의한 사지녹화 및 사구고정기술에 있어서는 파종 식물종의 선정 및 종자의 발아상태, 지형 및 토질상태, 파종시기 및 파종방법, 곤충 및 조류피해, 사후관리기술 등이 함께 분석·개발되어야 한다.

③ 사막화방지를 위한 방사공법 및 기술: 사막화지에서 비사방지기술을 요약하면, 생물·생태적 방사공법(식물피복방법·식재에 의한 방법), 물리적 방사공법, 화학적 방사공법 등으로 구분할

수 있는데, 생물·생태적 방사공법에는 초생법(封沙育草), 관목·초생고사법(草生固沙法), 사구간방사림대, 기간방사림대, 경지방풍림대조성 등이 있으며, 물리적 방사공법에는 고방사원(高防沙垣) 및 저방사원 조성, 방사제방, 석력점토피복법 등이 있으며, 화학적 방사공법에는 고화제뿌어붙이기, 유사개량화학적제혼용법 등이 효과적인 것으로 분석되었다. 그 밖에도 관개·침사공법, 비사포착수로·구방사공법(溝防沙工法) 등이 효과적으로 적용된다.

引用文獻

1. 禹保命·全起成·金慶勳·崔炯太·李承炫·李炳權·金素蓮. 2000a. 中國의 沙漠化防止 및 防沙技術開發에 관한 研究(I) - 沙漠化現狀이 지구환경에 미치는 영향. 韓國林學會2000年定期總會學術發表文集. pp. 149-153.
2. 禹保命·全起成·金慶勳·崔炯太·李承炫·李炳權·金素蓮. 2000b. 中國의 沙漠化防止 및 防沙技術開發에 관한 研究(II) - 內蒙古自治區 毛烏素 - 庫布齊 - 烏蘭布和沙漠의 綠化技術. 韓國環境復元綠化技術學會2000年定期總會學術發表文集. pp. 17-19.
3. 禹保命·全起成·金慶勳·崔炯太·李承炫·李炳權·金素蓮. 2000c. 中國의 沙漠化防止 및 防沙技術開發에 관한 研究(III) - 건조·반습윤 지역 사지의 녹화 및 이용. 韓國林學會2000年夏季總會學術發表文集. pp. 185-188.
4. 禹保命·崔炯太·李相昊·李承炫. 2000d. 中國의 沙漠化防止 및 防沙技術開發에 관한 研究(IV) - 中國의 沙漠化防止對策. 韓國環境復元綠化技術學會2000年夏季總會學術發表文集. pp. 85-88.
5. 禹保命·李景俊·全起成·金慶勳·崔炯太·李承炫·李炳權·金素蓮·李相昊·金正壹. 2000e. 中國의 沙漠化防止 및 防沙技術開發에 관한 研究(I) - 中國의 沙漠化現況 및 防止對策 -. 韓國環境復元綠化技術學會誌 3(3): 45-76.
6. 禹保命·李景俊·全起成·金慶勳·崔炯太·李承炫·李炳權·金素蓮·李相昊·金正壹. 2000f. 中國의 沙漠化防止 및 防沙技術開發에 관한 研究(II) - 中國의 景觀 - 生態 防護林造成技術 및 效果分析 -. 韓國環境復元綠化技

- 術學會誌 3(3): 81-99.
7. 禹保命·崔炯太·李相昊·朴珠原·王禮先·張克斌·孫保平. 2000g. 中國의 沙漠化防止 및 防沙技術開發에 關한 研究(III) - 中國의 荒漠沙地 綠化技術分析 - . 韓國林學會誌 90(1): 90-104.
 8. 이천용. 1999. 사막화협약의 개요와 대처방안. 동북아시아의 사막화방지 및 한발완화에 관한 세미나 발표문집. 동북아산림포럼. pp. 129-144.
 9. 吉野正敏·社明遠. 1994. 中國沙漠化とその防止. 愛知大學. 79pp.
 10. 吉野正敏. 1997. 中國の沙漠化. 大明堂. 300pp.
 11. 野村勇. 1988. 中國の森林資源と林業. 農村文化社. 298pp.
 12. 眞木太一. 1996. 中國の沙漠化·綠化と食料危機. 信山社. 190pp.
 13. 清水正元. 1979. 沙漠化する地球. 講談社. 240pp.
 14. 遠山枉雄. 1989. 沙漠綠化への挑戰. 讀賣新聞社. 228pp.
 15. 邱華盛. 1991. 沙漠の開發と利用. 新疆人民出版社. 486pp.
 16. 孫保平·岳德鵬·趙廷寧·程堂仁. 1997. 北京市大興縣北藏鄉農田林網景觀結構的度量與評價. 北京林業大學學報 19(1): 18-50.
 17. 吳傳鈞主編. 1998. 中國經濟地理. 科學出版社. 482pp.
 18. 姚云峰·王林和·姚洪林·馬玉明·馬世威. 1998. 沙漠學. 內蒙古人民出版社. 441pp.
 19. 李濱生主編. 1992. 治沙造林學. 中國林業出版社. 243pp.
 20. 慈龍駿. 1995. 全球變化与荒漠化, 荒漠化及其防治. 林業部防治荒漠化辦公室編. 260pp.
 21. 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.
 22. 張志達. 1997. 全國10大林業生態建設工程. 中國林業出版社. 190pp.
 23. 朱俊風·朱震達. 1999. 中國沙漠化防治. 495pp.
 24. 朱震達. 1997. 治沙工程學. 中國環境科學出版社. 380pp.
 25. 朱震達·吳正·劉恕. 1980. 中國沙漠概論(修訂版). 科學出版社. 107pp.
 26. 朱震達·劉恕. 1981. 中國北方地區的沙漠化過程及其治理區劃. 林業出版社. 83pp.
 27. 朱震達·劉恕·邱醒民. 1989. 中國的沙漠化及其治理. 科學出版社. 126pp.
 28. 朱震達·陳廣庭. 1994. 中國土地沙質荒漠化. 科學出版社. 250pp.
 29. 中國國家林業局編. 1999. 中國林業五十年(1949-1999). 中國林業出版社. 868pp.
 30. 中國人民保險公社·北京師範大. 1992. 中國自然災害地圖集. 科學出版社. 169pp.
 31. 中國林業科學院內蒙古磴口林業實驗中心. 1988. 林業治沙論文集. 沙漠林業實驗中心. 261pp.
 32. 治沙造林學編委會. 1984. 治沙造林學. 中國林業出版社. 323pp.
 33. 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.
 34. CCICCD. 1999. Desertification Rehabilitation and Ecology Restoration in China-Highlight. 21pp.
 35. Ci, Longjun. 1997. Land Evaluation and Expert System for Combating Desertification. China Forestry Publishing House. 201pp.
 36. Gao, Shangwu, Shiwei Zhou et al (edited). 1993. The Desertification Control in China. Beijing Science and Technology Press. 285pp.
 37. Lee, Jong-Hak. 1999. Yellow Sand Fixation by Control Works. In Proc. China-Korea Joint Seminar on Desertification Combating and Sand Industry Development. pp. 67-84.
 38. 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.
 39. Wang, Lixian (edited). 1996. Combating Desertification in China. China Forestry Publishing House. 408pp.
 40. Woo, Bo-Myeong. 1999. Importance of China-Korea Joint Research Project for Combating Desertification in view point of Global Environment Conservation. In Proc. China-Korea Joint Seminar on Desertification Combating and Sand Industry Development. pp. 37-66.
 41. 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.
42. Zhang, Kebin and Kaigo Zhao. 1988. Afforestation for sand fixation in China. *Journal of Arid Environment*, Beijing Forestry University 16 : 3-10.
43. 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.
44. Zhu, Guangyao. 1996. Desertification Combating in China. In Proc. of the Asia-Africa Forum on Combating Desertification(Beijing. 5-11 August, 1996). pp. 5-11.