

# 일본 아시오(足尾) 銅鑛山地域의 삼림황폐와 삼림환경 복구사업에 관한 분석<sup>1</sup>

박종민<sup>2</sup>

## Forest Environment Degradation and Rehabilitation of Copper Mine Area in Ashio, Japan<sup>1</sup>

Chong-Min Park<sup>2</sup>

### 요 약

1880년대에 이미 대기오염물질에 의한 대규모 삼림이 황폐되었고, 그 후에 이를 복구하기 위해 막대한 예산을 투자하고 있는 일본 아시오(足尾) 지역을 대상으로 삼림황폐와 황폐산지 복구사업 현황을 분석하였다. 삼림황폐의 원인은 구리 제련과정에서 배출되는 아황산가스, 제련과 광산용 목재의 남벌, 대형 산불, 험준한 지형, 불리한 기후조건 등의 복합적인 작용으로 분석할 수 있다. 1897년부터 3년 동안 2,399ha의 식수사업을 비롯한 황폐삼림의 복구사업이 지속적으로 추진되었으나, 삼림황폐와 재해발생이 계속되어 1956년에 황폐산지의 총면적은 2,400~3,000ha이었다. 1945년부터 1996년까지 「인력에 의한 방법」, 「헬리콥터에 의한 방법」, 「인력과 헬리콥터 조합방법」에 의한 시공으로 산복 828.19ha와 계간 133개소에 복구공사를 실행하였다. 예산은 약 800억 엔이 투자되었다. 주요 복구공법은 기초공사로서 사방댐과 흙막이공사, 녹화공사로서 식생반공법과 식생대공법 및 식재공법이며, 인력에 의한 3단계 시공으로 장소별 완전복구를 목표로 하고 있다. 전반적으로 시공지의 녹화율은 약 49% 정도이며, 완전히 녹화된 비율은 전체 시공지의 10%에도 미치지 못한 실정이다. 남아 있는 황폐산지에 대하여 향후 25년 동안 약 213억 엔을 투입하여 산복공사 564ha, 계간공사 183개소를 복구할 계획이지만, 완전히 복구하는 데에는 몇 년이 걸릴지 예측할 수 없는 상황이다.

이곳에서의 황폐산림 복구공법은 우리 나라의 폐광지 산비탈을 복구하는 데에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 아황산가스, 삼림황폐, 복구공사

### ABSTRACT

This report surveyed degradation of forest environment and rehabilitation in Ashio of Japan. Since 1880, a large scale forestry in this area has been destroyed by sooty smoke, and the local government invested heavily to rehabilitate the damaged forestry and denuded mountains. These degradations are due to complex operations, such as sulfurous acid gas from copper refinery, forest fires, steep slope and disadvantageous climate. The rehabilitation works on degraded forestry(2,399ha) were undertaken by tree planting for three years from 1897. However, forest degradation and disasters were continued, and the total damaged areas were about 2,400~

1 접수 6월 1일 Received on Jun. 1, 2001

2 전북대학교 산림과학부(농업과학기술연구소) Faculty of Forest Science, Chonbuk Natl. Univ.(IAST), Chonju, 561-756, Korea(cmpark@moak.chonbuk.ac.kr)

3,000ha in 1956. A Manual labor method, a Helicopter method and also Combination of manual labor and helicopter method had been adopted to rehabilitation works from 1945 to 1996, while 828.19ha of the degraded mountains was rehabilitated. Total investment for those projects was 80 billion yen. A debris control dam, a soil arresting structure, a vegetation-block, a vegetation sack measures and tree planting have implemented significantly for the method of rehabilitation. An objective of manual labor works is a complete rehabilitation on each place through 3 stage working. The revived green areas accounted for 49% of the total, and the entire afforest areas are less than 10%. In coming 25 years, an amount of 21.3 billion yen will be invested to rehabilitate 564ha of degraded mountain lands. However, it is impossible to estimate that how long it will take until the whole degraded mountain lands are completely rehabilitated. Rehabilitation works in Ashio may be applicable to environmental restoration and revegetation in the abandoned coal-mine lands of Korea.

**KEY WORDS : SULFUROUS ACID GAS, FOREST DEGRADATION, REHABILITATION**

## 서론

과거에는 삼림황폐의 주요 원인이 임산물의 무분별한 채취이용 때문이었다고 한다면, 최근에는 공업화에 따른 오염물질의 배출에 의한 직접 또는 간접적인 피해와 대형 산불 등에 크게 기인하고 있다. 그 가운데서 오염물질에 의한 직접적인 삼림피해는 주로 광역공업도시 주변에서 발생하고, 간접적인 삼림피해는 산성비에 의해 불특정 지역에 광범위하게 발생하고 있다. 이러한 피해현상은 세계의 선진 공업국들뿐만 아니라 우리나라에서도 이미 문제가 되고 있다. 또한 우리나라의 경우는 국내의 오염물질 증가와 더불어 앞으로 중국 대륙의 공업화 정도에 따라서 피해가 더욱 가중될 것으로 전망된다.

대기오염에 의한 생태계에의 영향에 대한 기록은 1920년대부터 시작되었다. 즉 1924년 대기오염물질의 피해로 영국 런던 Kew 식물원 일부의 이동, 1925년 캐나다의 한 제련소에서 배출한 유독오염물질이 미국에까지 영향을 미쳐 수목과 농작물에 피해가 발생하는 등의 사례가 대기오염물질에 의한 생태계 피해의 심각성을 국제적으로 인식하게 된 계기가 되었다. 또한 1980년대 초에 독일 Schwarzwald의 피해 이후, 1980년대의 대기오염에 의한 생태계 피해에 관련한 연구는 산성강하물질이 수목생리 및 생태계에 미치는 영향을 중심으로 진행되었다(이경재 등, 2001).

우리나라에서도 1980년대에 들어와 대기오염물질이 생태계에 미치는 영향에 대한 연구가 시작되었으나, 아직 대기오염물질에 의한 대규모 삼림황폐의 사례가 없어 피해의 심각성에 대한 인식과 연구가 미약한 실정이다.

이 논설은 1880년대에 이미 대기오염물질에 의한 대규모 삼림황폐와 그로 인한 막대한 자연재해를 경험하였고, 그 후에 이를 복구하기 위해 막대한 예산을 투자하고 있는 일본 아시오(足尾) 지역의 사례를 분석한 것이다. 또한 여기에서 시행하였거나 시행하고 있는 황폐삼림복구 기술체계를 우리 나라 폐탄광지의 환경복구 분야에의 적용가능성을 고찰하였다.

## 조사범위 및 방법

### 1. 조사범위

조사범위는 일본 枋木縣 上都賀郡 足尾町에 위치한 구리광산 개발과 구리 제련소에서 배출한 유해 대기오염물질에 의한 삼림황폐 지역을 대상으로 하였다.

### 2. 조사방법 및 내용

조사는 문헌과 관련기관의 자료를 참고하였고, 현장을 답사하여 내용을 확인하였다. 조사내용은 조사지의 자연환경 및 인문환경, 구리광산의 발달과정, 삼림황폐 원인 및 현황, 황폐삼림 복구실태 및 기술체계, 향후 복구계획 등이다.

### 3. 아시오촌(足尾町)의 개황

#### (1) 위치 및 면적

足尾町은 지리적으로 동경에서 북쪽으로 110km 떨어져 있고, 枋木縣 최서부에 위치하며 日光국립공원

의 일부를 차지한다. 유역으로는 일본 북관동 지방의 중앙을 흐르는 利根川の 지류인 渡良瀬川の 최상류에 해당한다. 경위도상으로는 동경 139° 20' ~ 139° 32', 북위 36° 34' ~ 36° 43' 에 위치한다. 足尾町の 총면적은 185.79km<sup>2</sup>인데, 그 가운데 95%가 산림이고 임야의 82%가 국유림이다(足尾町郷土誌編集委員會, 1993; 枋木縣足尾町, 1996; 前橋營林局, 1997).

## (2) 지형 및 지세

足尾町은 전역이 산지로서 주위는 해발 600m 내지 2,150m 범위의 험준한 산들로 둘러싸여 있는데 크게 중앙산지, 동부산지, 북부산지, 남서부산지 등 4구역으로 나누어진다. 대표적인 산으로는 중앙부의 備前橋山(1,273m), 皇海山(2,144m), 庚申山(1,901m), 太平山(1,960m), 杜山(1,827m), 半月山(1,753m) 등이 있다(足尾町郷土誌編集委員會, 1993; 枋木縣足尾町, 1996).

## (3) 인구

인구는 1916년에 최대로 38,428명을 기록하였으나, 1968년 11,202명, 1975년 6,948명, 1992년 4,521명으로 감소하였고, 1995년 9월 1일 현재는 4,267명에 불과하다(足尾町郷土誌編集委員會, 1993; 長岡, 1997).

# 조사 결과

## 1. 足尾町 및 구리광산의 발달과정

### (1) 원시시대~중세

이곳에는 BC 5500년경부터 사람이 정주하였고, 645년에 下野國 安蘇郡 足尾郷이 되었다. 1315년에 足尾 5姓이 足尾에 이주했다고 전하며, 이때까지는 인구가 적은 전형적인 조용한 산촌이었다(足尾町郷土誌編集委員會, 1993; 長岡, 1997).

### (2) 근대

1610년에 備前橋山에서 구리가 발견되어 江戸幕府의 직할 구리광산으로 채굴이 시작되었다. 생산된 구리는 내수용으로 널리 사용되었을 뿐만 아니라 외국에 까지 수출되었고, 구리광산의 부흥에 따라 인구가 증가하여 1676년경에는 “足尾千軒”이라고 부를 정도로 마을이 번창하였다.

한때 구리 산출량이 감소하여 거의 폐광상태에 이르렀으나, 1877년부터 古河市兵衛에 의해 경영되면서

새로운 기술과 장비가 도입되고, 1881년부터 양질의 새로운 광맥이 발견됨으로써 광산이 다시 부흥하여 일본 전체 구리생산량의 약 40~50%를 생산하였다. 1884년에는 지금의 장소에 제련소가 건설되었고, 1889년 足尾村이 足尾町으로 승격되었다(足尾町郷土誌編集委員會, 1993; 長岡, 1997; Hideaki, 1994; YWCA of Japan, 1995).

## (3) 현대

구리자원의 고갈로 1973년 足尾銅鑛山이 폐광됨으로써 구리광산 발전 이래 360여 년에 걸친 발전역사가 끝나게 되었다. 구리광산 폐광 이후에 足尾町는 도로를 개선하고, 기업과 관광객을 유치하여 마을의 환경개발과 소득증대를 위한 계획을 수립하고 실행하였다. 그 결과 1978년 日光과 足尾町를 잇는 日足터널(2,765m)이 개통되었고, 1980년에는 足尾觀光의 상징으로서 “구리광산 관광”이 개시되었으며, 1989년 “Watarase-gawa강 Gorge 철로”가 운행되기 시작하였다. 지금도 아시오는 구리광산의 유적지를 아름다운 자연경관과 조화시켜 관광자원화함으로써 그것을 기반으로 번영을 모색하고 있다(Hideaki, 1994).

## 2. 아시오(足尾)의 삼림황폐 개요

### (1) 황폐지 위치

황폐지는 足尾 구리제련소 안쪽에 위치한 松木川, 久藏川, 仁田元川の 유역을 따라 형성된 Y자 모양의 삼림지대에 위치한다(林野廳, 1997).

### (2) 삼림황폐의 원인

足尾 지역의 산들은 松木溪谷이라는 지명대로 明治時代까지는 제련소의 뒷산에도 아름답리 소나무가 울창하였는데, 지금 이곳은 토양이 유실된 암벽과 돌부스러기, 고사목과 뿌리가 뽑힌 그루터기들이 가득한 황폐지로 변하였다. 그 원인은 구리 제련과정에서 배출되는 매연(아황산가스), 제련과 광산용 목재의 남벌, 대형 산불, 지형, 기후 등의 복합적인 작용 때문으로 분석되고 있다(西堀, 1993; 足尾町郷土誌編集委員會, 1993; 林野廳, 1997).

#### 1) 매연

삼림황폐의 주원인은 구리를 제련할 때에 배출된 매연에 있다. 이 지역에는 항상 아황산가스가 함유된 바람이 하류에서 상류로 불어 올라갔고, 아황산가스는 공기보다 비중이 크기 때문에 이 일대의 하천을 중심으로 아황산가스가 정체하여 직접 식물을 고사시키거

나 토양이 강산성화되어 식물의 성장에 막대한 지장을 초래하였다.

1880년대부터 구리의 생산량이 급격히 증가하기 시작하였고, 1884년에는 지금의 장소에 제련소가 건설되었고, 더구나 1894년에 이제까지 약 한 달 정도 걸리던 제련작업을 이틀 정도로 단축할 수 있는 고성능 제련법(벤티세마제련법)을 도입한 뒤부터는 제련량이 비약적으로 증가하였다. 이에 따라 아황산가스의 배출량이 급격히 증가하여 그나마 남아 있던 식물들에 대해서도 파멸적인 피해를 주게 되었다.

2) 삼림자원의 남벌

1676년경에 “足尾千軒”으로 전할 정도로 마을이 번창했으므로 제련용 신탄재, 구리광산의 갱목, 건축 및 생활용재 등을 조달하기 위해 주변 삼림의 벌채가 성행하였다. 그 후 구리광산은 급속히 쇠퇴하여 율창했던 삼림으로 회복될 가능성도 있었으나, 1881년부터 양질의 새로운 광맥이 발견되고 구리생산량이 증가하여 막대한 목재를 소비하게 되면서 또다시 주변 삼림의 벌채가 성행하게 되었다.

3) 대형산불

1887년에는 대형 산불이 발생하여 1,100여 ha의 삼림이 소실되었다. 더구나 산화적지에 발생한 맹아림과 풀들은 그 후에 유해가스에 의해 고사되고 말았다.

4) 지형과 기상

지표의 초목을 상실한 산들은 이 지역 특유의 지형, 지질, 기상 등에 의해 황폐가 가속화되었다. 즉 험준한 지형과 지질(토양화되기 어려운 기암)에 따른 산사태와 토양침식, 여름철의 집중호우, 심한 한파 등의 악조건은 매연피해를 증폭하는 결과를 초래하였다.

(3) 삼림황폐의 현황

1956년 구리제련소에 아황산가스 탈취시설이 완성될 때까지 발생한 황폐산지의 면적은 총 2,570ha(西堀, 1993), 2,400ha(林野廳, 1997), 2,048ha(足尾町郷土誌編集委員會, 1993)로 문헌에 따라서 약간의 차이를 보이고 있는데, 이곳을 일본의 Grand Canyon이라 부르고 있다.

3. 아시오(足尾)의 삼림환경 복구사업

(1) 삼림환경 복구사업의 전개과정

1) 문제의 제기

황폐산지로부터 鑛毒이 함유된 토석이 유출되어 하

Table 1. Forest degradation situation in Ashid

Classification	Hillside(ha)	Torrent(ha)	Total(ha)
National forest	1,089	39	1,128
Non-national forest	830	90	920
Total	1,919	129	2,048

자료: 足尾町郷土誌編集委員會(1993)

류지역에서 홍수·범람과 독성으로 인해 막대한 재산과 인명피해가 반복됨으로써 足尾町는 “공해의 원점”으로 인식되고 사회문제화되기 시작하였다. 따라서, 1891년에 枋木縣 출신의 田中正造 의원이 제국의회에 鑛毒에 관한 질의서를 제출하여 이 지역의 문제가의회의 심의대상이 되었다(長岡, 1997).

2) 복구사업 추진과정

1897년 농상무성훈령에 의해 東京大林區署(현 임야청)가 「足尾官林復舊事業」을 개시하여 3년 동안 식수사업 2,399ha, 방화선 154m, 수십 곳의 치산공사를 실행하였다. 그 후 「足尾國有林經營事業」, 「足尾國有林復舊事業」으로서 황폐삼림의 복구사업이 계속되었으나, 동시에 재해발생도 빈발하였다. 1947년 東京영림구에서 분할된 前橋영림국이 사업을 관할하였고, 1950년 前橋영림국 직할 足尾치산사업소를 신설하였다.

1952년 산복공사에 인공조제한 식생반을 도입하였고, 1955년에는 足尾댐을 건설하였다. 1956년에는 분출가스로부터 아황산을 탈취하는 시설이 완성되어 피해가 감소하였으며, 이에 따라 足尾댐 상류지역에 대한 본격적인 복구사업이 시작되었다. 1957년에 건설성과 前橋영림국은 국유림을 담당하고, 枋木縣은 민유림을 담당하는 것으로 시공구역을 분담하였다. 1964년에는 식생대, 1965년에는 헬리콥터를 이용한 녹화공법을 도입하였다.

그 결과 1992년에는 황폐산지의 46%에 푸르름이 재생되었고, 足尾町과 건설성 공동으로 “足尾댐 부근환경개선 기초계획”을 수립하였으며, 그 계획에 따라 현재 복원사업은 계속 추진 중이다(林野廳, 1997).

(2) 삼림환경 복구사업 시행상의 제약조건(西堀, 1993)

① 험준한 지형으로서 작업현장에의 접근이 곤란하고, 작업상에 어려움과 위험이 따른다는 점.

② 산기슭이 붕괴하기 쉬운 지질조건이어서 파종한 초류와 식수한 나무가 무너져 내려 유실되는 점.

③ 내륙고지대의 산악성 기후로 인하여 식물의 생육 기간이 짧고, 여름철의 집중 호우로 급경사지에 심은 나무와 겨우 발아하기 시작한 풀들이 유실되어 버리는 점. 또한, 겨울에는 심한 추위와 강풍으로 흩이 바람에 날리고 나무뿌리를 들뜨게 하여 식물을 고사시키거나 동결과 융해의 반복으로 뿌리가 들떠 산사태를 일으키는 점.

④ 오랜 세월 동안 민등산이 지속되어 토사가 유실되었기 때문에 표토가 거의 없는 점. 또한, 남아 있는 토양도 양분과 유기질이 극히 결핍되고, 아황산가스의 영향으로 강산성화되어 있으며, 많은 암석이 표층을 구성하고 있어서 식물이 성장할 조건의 대부분을 상실하였다는 점.

⑤ 남아 있는 토양도 “尻尾 산은 흩이 움직인다”고 할 정도로 보수력이나 뿌리에 의한 긴박력도 없이 강우 때마다 침식되어 쉽게 토양을 상실하는 점.

**(3) 삼림환경 복구사업의 기본방침(西堀, 1993)**

① 민유림에 대한 복구사업은 민가 등 보전대상지역이 가까운 산을 대상으로 하여, 직접적인 재해를 방지하기 위하여 산사태방지공사를 우선적으로 실시하고 그 후에 녹화사업을 실시하는 방법을 채택하였다.

② 국유림은 보전대상지역에서 멀리 있는 점을 고려하여 우선 녹화사업에 힘을 기울였다. 그리고, 산사태와 토사유실을 방지하기 위하여, 유역의 상류로부터 하류로, 그리고 토양이 남아 있어서 조건이 좋은 곳부터 적극적으로 녹화사업을 실시하여 왔다.

③ 황폐산지에 대해서는 지리, 지형, 지질 등의 조건에 따라 시공지구를 구분하고 「인력에 의한 방법」, 「헬리콥터에 의한 방법」, 「인력과 헬리콥터 조합방법」 가운데서 가장 효과적인 방법으로 녹화면적을 확대시켜 나갔다.

④ 황폐계류에 대해서는 불안정토사의 유출방지와 조기녹화를 도모하기 위해 「치산댐」과 「산복공」을 조합 시공하여 효과를 높였다.

**(4) 삼림환경 복구사업의 시공법(林野麻, 1997)**

1) 인력에 의한 시공법

사람이 접근할 수 있는 지역에 대한 녹화복구공사는 한 장소에서 3개년에 걸쳐 다음과 같이 순차적으로 시행한다.

① 1년째: 콘크리트블록 등으로 「흙막이」 구조물을 설치하여 경사면을 안정시키고, 표토의 이동을 방지하는 기초공사를 시행한다.

② 2년째: 비탈다듬기를 실시하면서 등고선상으로 40cm마다 도랑을 만들고, 식생반과 식생대를 쇠꼬챙

이로 고정한다.

③ 3년째: 묘목 식재와 비배관리를 한다.

2) 헬리콥터에 의한 시공법

1965년부터 사람이 접근할 수 없는 곳에는 헬리콥터를 이용한 녹화사업을 실시하였다. 시공법은 1차 비료 살포→2차 초목 종자 살포→3차 비료·종자 유실 방지용 양생제 살포의 순으로 시공하였다.

3) 인력과 헬리콥터의 조합에 의한 시공법

지표면이 석력으로 덮여 있고 그 석력들이 끊임없이 이동하고 있어서 식물생육이 불가능한 곳에 채택하였으며, 시공법은 다음과 같다.

- ① 가볍고 내구성이 있는 재료를 헬리콥터로 운반
- ② 인력으로 간단한 기초공을 실시
- ③ 헬리콥터로 비료·종자·양생제 살포

**(5) 주요 복구공법**

관련자료와 현장답사를 통해 분석한 尻尾 지역의 황폐산지에 대한 주요 복구공법은 다음과 같다.

1) 토사역지공법

산비탈의 토사역지를 위해 주로 콘크리트블록, 시멘트콘크리트, 강제틀 등을 사용한 흙막이 구조물을 연속적으로 설치하였다. 또한, 가시권 내에서는 콘크리트블록 흙막이나 시멘트콘크리트 흙막이의 경우 외측에 통나무나 판자를 덧붙여 구조물의 질감을 완화시키고 자연친화적인 시공이 되도록 하고 있다. 또한, 시공지에서 자재의 운반은 삭도와 모노레일을 이용하고 있다.

2) 산복녹화공법

인력시공이 가능한 장소에서의 녹화공법은 파종공법과 식재공법이다. 파종공법으로는 식생반과 식생대를 사용하였다. 식생반공법(Vegetation sodding method)은 1952년에 川端勇作이 고안한 공법으로서 현지에서 점질토·비료·퇴비·잘게 썬 지푸라기 등을 섞은 것을 세로 20cm, 가로 30cm, 두께 6cm의 틀에 넣어 종이를 위에 올리고 압축한 다음 직경 1cm 정도의 구멍을 일정하게 낸 식생반을 만들어 그것을 산비탈에 붙이고 구멍에 풀씨를 심는 녹화공법이다. 인력에 의한 녹화사업에서는 이 식생반공법을 통해 획기적인 성과를 올렸다. 현재는 개량된 식생반과 함께 식생대를 녹화재료로 사용하고 있다. 식생반과 식생대에 파종한 초류는 썩, 호장, 억새풀, orchard grass, red top, weeping lovegrass 등 6종류이다. 지피식생이 조성된 다음해에 묘목 식재와 비배관리를

하는데, 식재 수종은 아까시나무, 곰솔, 썩기풀과의 식물들이다(林野廳, 1997; 前橋營林局, 1997).

토사역지공사와 산복녹화공사는 산 정상부로부터 하부로 순차적으로 진행되고 있다. 현재 숲이 형성된 곳에서는 일본 영양과 사슴에 의한 食害가 많이 발생하고 있으며, 이들의 서식밀도가 높은 곳에서는 성목과 묘목의 줄기를 철망이나 폴리에틸렌 덮개로 피복하는 등의 식해방지대책이 시행되고 있다.

한편, 사람이 접근할 수 없는 곳에는 헬리콥터를 이용하여 비료 살포→초목 종자 살포→비료·종자 유실 방지용 양생제 살포의 3단계 시공을 통한 녹화공사를 실시하였다. 항공실과공 재료는 1ha당 양생제(아스팔트유제 50%액) 7,000kg, 초류 종자(호장, 참억새, 썩, kentucky 31 fescue, orchard grass, weeping lovegrass, creeping red fescue 등 10종) 163.3kg, 복합비료(N:P:K=12:8:6) 1,500kg을 살포하였다(前橋營林局, 1997).

### 3) 황폐계류 안정공법

황폐계류에 대해서는 사방댐을 시공하여 불안정토사의 유출을 방지하는 효과를 높였다. 1955년에 상류 3개의 계천이 만나는 지점에 대형 사방댐인 足尾댐을 건설하였는데, 형태는 직선중력식 콘크리트댐으로서 길이 204m, 높이 39m, 밑두께 32.4m, 최상부 두께 3m이고, 4년 5개월에 걸쳐 총공사비 4억 4백만엔을 투입하였다(長岡, 1997). 足尾댐의 건설로 인해 상류 三川の 토사유출과 하류 渡良瀬川 지역의 토석에 의한 피해를 방지하는 효과를 거두었다. 황폐지 내의 계곡 부에는 사방댐을 계통적으로 시공하고, 유출수가 많은 곳에서는 流路工을 시공하였으며, 상부에는 흙막이와 구곡막이를 함께 시공하여 불안정토사의 유출을 방지하고 녹화효과를 높였다. 또한, 1991년부터는 기왕의 녹화공사에 의해 조성된 삼림을 「녹색댐」으로 정비하고, 「水源地域森林總合整備計劃」과 「保安林管理道整備事業」을 적극적으로 추진하고 있다(西堀, 1993).

### (6) 삼림환경 복구사업의 실적

1945년부터 1996년까지 이 지역에서 실행된 황폐산지 복구사업의 실적은 표 2에 나타난 바와 같다. 즉 과거 50년 동안 항공실과공사를 포함하여 828.19ha에 복구공사를 실행하였고, 계간공사는 133개소에 실행하였는데, 시공지의 녹화율은 약 49% 정도이다. 그러나, 완전히 녹화된 비율은 전체 시공지의 10%에도 미치지 못한 실정이다. 예산은 약 800억 엔이 투자되었다.

## 4. 삼림환경 복구사업의 성과와 향후 계획

### (1) 사업성과의 평가

30~40년 전에 식수한 나무는 평균 수고 약 15m, 직경 26cm로 성장하여 복구된 곳에서는 산사태에 의한 재해가 일어나지 않게 되었고 숲에는 일본 영양, 사슴, 원숭이 등 많은 동물들이 돌아와 살고 있다. 메말랐던 계곡에는 물이 흐르고, 물고기의 모습도 찾아볼 수 있게 되었다.

그러나, 녹화사업에 의하여 자연을 되찾게 되었다고는 하지만, 완전히 녹화된 면적은 국유림 약 50ha와 민유림 약 20ha에 불과하다. 또한 지금보다 조건이 악화되는 곳도 많아서 이후에 몇 년이 더 걸릴지는 누구도 예측할 수 없는 상태에 있다. 사회 일각에서는 환경·생태교육, 치산사업의 성과 비교 등을 위해서 일정 지구를 완전히 미복구 지역으로 남겨 둘 필요성도 논의되고 있다(西堀, 1993).

### (2) 향후의 복구사업계획

足尾 지역의 황폐산지 복구사업은 국토보전, 수자원 함양, 환경보전이라는 대국적 측면에서 의의가 대단히 큰 것으로 평가되기 때문에 복구사업은 계속 추진될 것이다(前橋營林局, 1997).

1996년 현재 복구대상 황폐산지의 면적은 838.35ha로서 전체 유역면적의 약 16%에 해당한다(표 3). 이들 황폐산지에 대한 향후 25년 간의 장기적인 복구사업계획은 표 4에 나타난 바와 같다.

산복공사의 대상지는 모두 564ha로서 지난 50년 동안 실행한 면적의 70%에 이르고, 계간공사 대상지는 183개소로서 이미 실행한 양보다도 많다. 이와 같이 향후 25년 동안의 사업 대상지가 대단히 많고, 또 그 후에도 계속되어야 하는 이유는 이미 시공한 장소의 평균 녹화율이 50%에도 미치지 못하고 있기 때문이다.

계획에 따르면 25년 후에 시공대상지의 불안정 토사 억지율은 81%를 목표로 하고 있다. 또한 예산은 매년 약 8.5~8.6억엔씩을 투자하여 앞으로 총 약 213억엔을 투입할 계획이다.

## 5. 국내 폐광지에의 적용 가능성 검토

일본 足尾 지역의 삼림황폐의 원인은 광물채취의 부산물인 폐석의 퇴적이 아니라 구리제련 과정에서 발생한 아황산가스, 목재의 남벌, 산불, 지형 및 기후의 복합적인 원인으로 삼림식생이 소실되고 토양이 계속 침식·붕괴된 데에 있다. 우리 나라에서 이 지역

Table 2. Accomplishment of forest rehabilitation in Ashio(1945~1996)

Year	hillside			Torrent		Protection forest arrangement	Others		Total investment 1,000¥	Reforestation (%)
	Quantities		Investment 1,000¥	Quantities		Investment 1,000¥	Investment 1,000¥	Investment 1,000¥		
Spraying by helicopter(ha)	Hillside total (ha)	Places		Volume (m <sup>2</sup> )						
1945~1955	-	19.80	29,551	8.0	1,070.4	3,036	-	-	32,587	1
1956~1965 (65년)	9.90	254.30	479,526	27.0	9,305.9	75,417	23,925	95,672	674,540	16
1966~1975	95.26	184.53	687,491	41.0	19,603.0	307,611	63,377	262,628	1,321,107	27
1976~1981	71.77	108.81	1,142,600	15.0	9,234.0	265,245	45,187	59,643	1,512,675	34
1982	20.00	27.97	191,836	1.5	789.6	34,209	19,499	34,600	280,144	36
1983	19.75	23.20	200,159	11.5	1,541.7	54,984	20,167	10,847	286,157	37
1984	14.73	24.63	215,900	-	-	-	12,853	5,901	234,663	39
1985	14.99	22.14	213,881	2.5	310.0	30,995	20,774	16,314	231,964	40
1986	9.32	21.23	211,662	0.5	719.5	22,502	24,074	9,456	267,694	41
1987	10.75	15.91	242,057	-	-	-	23,807	5,549	271,413	42
1988	10.47	16.78	222,666	2.0	735.0	23,632	35,637	10,697	292,632	43
1989	10.47	18.75	238,365	-	-	-	39,403	4,542	282,310	44
1990	10.81	13.88	189,234	1.0	467.4	18,425	3,718	37,013	268,390	45
1991	12.35	15.53	146,871	3.0	761.2	42,753	7,854	69,628	267,106	46
1992	13.50	14.72	151,993	5.0	1,202.5	72,240	15,355	78,455	318,043	47
1993	11.29	11.79	184,996	3.0	819.6	69,143	189	87,160	341,488	48
1994	10.67	11.67	214,515	3.0	1,196.7	52,140	3,165	64,527	334,347	48
1995	11.30	14.17	168,499	3.0	1,291.3	55,880	51,730	97,997	374,106	49
1996	0	8.39	187,792	6.0	2,215.8	110,667	48,761	17,405	364,625	49
Total	366.15	828.19	5,319,603	133.0	51,763.6	1,238,879	479,475	968,034	8,005,991	49

자료: 前橋營林局(1997)

과 같은 유형의 삼림황폐지는 공단 주변의 대기오염 피해지, 강원도·동해안 대규모 산불 피해지 등이라고 할 수 있다. 그런데, 대기오염 피해지로서 尻尾 지역과 같이 피해가 심하고 대규모인 사례가 없고, 산불 피해지는 특수지역을 제외하고 대부분 일부 사방공사를 기초로 한 조림사업과 생태복원공법으로 식생복구가 가능할 것으로 사료된다.

따라서, 복구대상지의 발생원인은 다르지만 지형조건과 비탈면의 상황 등이 사례지역과 유사한 폐탄광지

를 대상으로 사례지역의 복구공법 적용 가능성을 고찰하고자 한다.

#### (1) 우리 나라 폐광지의 특징

폐광산의 특징은 채취한 광물의 종류에 따라 다양하지만, 공통적인 특징은 유용성분이 적거나 없는 폐경석이 광산 하부의 계곡과 산비탈에 깊은 두께로 퇴적된다는 것이다. 특히, 우리 나라 광산의 대부분을 차지하고 있는 석탄광은 갱내채굴광으로서 갱내에서

Table 3. Situation of forest degradation areas for rehabilitation(standard; 1996)

Place	Watershed	Hillside		Torrent		Denuded	Ratio of	Unstabilized soil quantities in watershed (m <sup>3</sup> )
	area (ha)	Places Area(ha)	Erosion area (m <sup>3</sup> )	Area (ha)	Soil quantities (m <sup>3</sup> )	area (ha)	denuded land (%)	
Samchon area	5,314.26	(426) 808.09	2,579,210	30.26	507,3,25	838.35	15.78	3,186,930

자료: 前橋營林局(1997)

Table 4. A plan of forest rehabilitation on coming 25 years

Place	hellside		Torrent		Total stabilized soil (m <sup>3</sup> )	Ratio of soil stability (%)	Investment plan(0.1billion ₩)			
	Area (ha)	Soil stability (m <sup>3</sup> )	Places (m <sup>3</sup> )	Soil stability (m <sup>3</sup> )			National (Rchabilitati on, Erosion control dam)	Non national forest (Rchabilitatio n, Erosion control dam)	Ministry of Construotion Erosion con- trol dam	Total
Samchon area	563.90	2,187,205	183 (100,481)	396,715	2,583,920	81	75	100	38	213

자료: 前橋營林局(1997)

채굴되어 나오는 폐경석이 적치된 비탈면을 많이 발생시킨다.

우리 나라에서는 1989년부터 석탄산업합리화 정책에 따라 비경제 탄광이 급속히 폐광되기 시작하여 1999년 11월 말 현재 334개 탄광이 폐광되었고, 전국적으로 1,270ha의 폐탄광지가 분포하고 있으며, 현재 약 460여 ha의 폐경석 퇴적 비탈면이 복구대상지로 남아 있는 실정이다(석탄산업합리화사업단, 2000; 오규균, 2000). 방치된 폐탄광지로부터 오는 가장 중요한 피해는 침식 또는 산사태에 의한 토사재해, 국토이용상의 비경제성, 자연경관 저해, 갱구와 폐석으로부터 유출되는 오염수에 의한 주변 토양과 계류수질의 피해 등이다(이천용 등, 2000).

폐탄광지 복구와 관련된 제한요인으로는 지표면의 온도가 높고, 폐경석의 입경이 크고, 수분함량이 낮으며, 질소와 인 등의 양료가 부족한 것 등이며, 따라서 식생을 도입하기 위해서는 복토·객토가 필요한 것으로 지적되고 있다(구창덕, 1990; 정남훈, 1991; Willis, 1981). 한편 박병익과 박종민(1987)은 폐금광 퇴적지를 대상으로 한 조사에서 복구의 제한요인은 폐석의 퇴적깊이가 깊어서 식물이 자랄 수 있는 토양이 없는 것이며, 다량의 단목객토법에 의해 식생의 생육을 기대할 수 있었다고 하였다. 따라서, 폐탄광지에서의 수분과 양료 부족은 폐경석들 사이에 토양이 결핍된 것에 기인한다고 할 수 있다.

(2) 우리 나라 폐광지의 복구실태

석탄산업합리화사업단의 산림복구 및 폐석유실방지 사업 추진현황을 살펴보면, 1990~1994년 사이에 승인·시행한 사업이 947.9ha(273개소)이고, 1995년부터 2000년 5월 까지 산림복구 대상지 155.2ha(39개소) 중 128.8ha가 시행되었고, 23.2ha가 공사 중에 있으며, 폐석유실지 10.7ha(13개소) 중 5.1ha가 시행되었다. 또한, 기존 승인사업(1990~1994) 시행지의 재훼손지 240.5ha(75개소) 중 9.8ha(2개소)가 공사 중에 있다(우보명, 2000).

오규균(2000)이 1990년부터 1995년까지 허가기관에서 산림복구한 347개소를 현지조사한 결과에 의하면, 구조물로는 산돌쌓기가 70%를 차지하였고 다음이 폐단쌓기, 기슭막이, 석축, 옹벽의 순이며 이들 구조물과 수로공은 대체로 양호하였고 훼손상태는 미미하였다. 산림훼손복구지 922.1ha(311개소) 중 23.6%만 복토시공하였고, 복토두께는 15~30cm이었다. 또한, 70% 이상 식생활착이 이루어진 활착양호지역은 71%이고, 산림녹화가 진행 중인 녹화양호지역이 59%, 녹화가 불량하여 재복구가 필요한 지역이 41%이었다.

이천용 등(2000)이 1996년부터 2년 동안 72개소를 현지조사한 결과에 의하면, 기초공사로 산돌쌓기가 가장 많이 시공되었고 다음으로 선폐불이기, 돌수로



공, 돌기습막이, 석축, 돌누구막이 등의 순이며 이들 구조물의 훼손률은 수로공(35%)과 기습막이(29%)를 제외하고 전반적으로 미미하였다. 복구공작물의 파손원인은 ① 적치토사가 깊은 지역에서 터파기 부실로 인한 기초지반의 붕괴, ② 공작물 규모 과소 및 수량 과부족으로 인한 구조물 파괴, ③ 노후된 공작물을 그대로 활용하여 과다한 토압에 의한 파손 등으로 나타났다. 사면에 파식을 위해 25%에서 전면 복토를 하였고, 24%에서 단상 객토를 시행하였는데 객토의 깊이는 10~30cm로 다양하였다. 또한, 전체적으로 파식한 식물의 평균 피도는 하층초본이 29%, 상층목본이 45%이었다. 한편, 조사대상지의 20% 지역에서 산림 복구공사 시행 이후에 면상·누구·구곡침식이 발생하였다.

위의 실태조사를 종합하면 우리 나라 폐탄광지 복구공사에 있어서 가장 많이 시공하고 있는 산돌쌓기는 비탈면에 퇴적되어 있는 유동성 폐경석을 이용하여 비탈면을 안정시키고자 시행하는 공법이다. 그러나, 산돌쌓기를 비롯하여 기초공사가 전반적으로 깊게 퇴적된 폐석비탈면을 안정시키기에는 지지력이 약하다고 할 수 있다. 또한, 기반토양이 결핍되고 폐석 사이로 유실될 것을 고려하면, 파식의 기초로 10~30cm 정도의 전면 복토 또는 단상 객토를 시행하는 것도 식생활착과 생육에는 대단히 부족한 상태이다.

### (3) 足尾銅鑛山 복구공법의 적용 가능성 및 제한성

폐광산의 폐경석지 비탈면을 가시권과 비가시권으로 구분하고, 경관성과 토석재해예방이 강조되는 가시권(도로, 철도, 취락지역 등 포함)에는 足尾 지역에서 시행하고 있는 「인력에 의한 복구공법」의 적용이 가능하고 또 필요하다고 판단된다. 즉, 현재 돌쌓기를 위주로 한 기초안정공사는 두꺼운 폐경석층을 고정하기에 불충분하므로, 足尾 지역에서와 같은 견고한 흙막이와 사방댐 등의 공작물을 설치하고, 초류와 관목류 파종에는 객토효과를 발휘하면서 뿌리활착이 될 때까지 토양보전효과가 있는 식생대(植生袋)를 적극 도입할 것이 요청된다. 그리고, 구조물의 자연친화성 향상을 위해 자연소재로 표면처리를 하고, 지역완결원칙으로 기초공사, 초식공사, 식수공사를 연차적으로 시행하는 것도 도입 가능할 것으로 판단된다.

또한, 비가시권 폐경석지 비탈면에서는 인력에 의해 현행과 같이 기초안정공사를 시행하고, 중비토와 양생제를 살포하는 녹화공법이 효과적일 것으로 판단된다. 중비토와 양생제를 살포할 때는 중장비의 도달이 가능한 곳에서는 차량형 살포기를 이용하고, 장비도달이 불가능한 고산 급경사지대에는 헬리콥터를 이용할

수 있을 것이다.

이와 같은 시공방법을 채택함에 있어서 시공단비와 헬리콥터를 이용한 살포기술 등이 제한적인 요소가 될 것이다. 흙막이·사방댐·식생대 설치와 차량을 이용한 중비토 및 양생제 살포 등의 기술은 이미 많이 축적되어 있으나, 현행보다 시공단비가 대폭 증액되는 문제를 해결해야 할 것이다. 그러나, 폐탄광지역의 산림복구와 국토보전적 측면에서의 중요성을 고려한다면 시공비 증액은 불가능한 문제는 아닐 것이다. 한편, 헬리콥터를 이용한 중비토 및 양생제 살포공사를 시행하는 데 있어서는 작업의 안전성과 살포기술의 확보를 위한 노력이 요청된다.

## 인용문헌

- 구창덕(1990) 석탄채굴에 의한 산림훼손지를 조림복구할 때 고려할 인자에 관한 연구. 한국임학회 학술연구 발표, 20쪽.
- 박병익, 박종민(1987) 폐석퇴적지 사면의 녹화공법에 관한 연구. 전북대학교 농대논문집 18: 68-76.
- 석탄산업합리화사업단(2000) 밀레니엄을 맞는 우리나라 석탄산업의 발자취와 내일. 월간 석탄동향 277: 14~19.
- 오구균(2000) 1995년 전·후 폐탄광지 복구시공 비교 평가. 폐탄광지의 환경복원녹화 기술개발 국제심포지엄, 99-32.
- 우보명(2000) 폐탄광지의 산림훼손지 복구 및 폐석유실 방지대책에 관한 연구. 환경복원녹화기술학회, 7(2): 24-34.
- 이경재, 권전오, 김종엽(2001) 울산공업단지 주변 산림식생군집구조 변화. 한국환경생태학회 2001년도 정기총회 및 학술논문발표 초록집, 27-31.
- 이천용, 최 경, 김재현(2000) 한국의 폐탄광지 복구현황과 자연친화적 복구공법 개발. 폐탄광지의 환경복원녹화기술개발 국제심포지엄, 189-215.
- 정남훈(1991) 폐석탄 경석장의 녹화공법에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문, 34쪽.
- 西堀 稔(1993) 足尾山地の緑化作戦. 群馬評論 10月号, 63-68.
- 林野廳 前橋營林局 大間間營林署(1997) 足尾の治山, 8쪽.
- 長岡 均(1997) 銅山の歴史と豊かな自然の町 足尾, 34쪽.
- 前橋營林局(1997) 足尾の治山, 9쪽.
- 足尾町郷土誌編集委員會(1993) 足尾郷土誌, 239쪽.

- 枋木縣足尾町(1996) 足尾辭典. 20쪽.
- Hideaki Kamiyama(1994) A Day Exposure to the Ashio Copper Mines(Field Trip Guide). 16pp.
- YWCA of Japan(1995) Asian Regional Environment Conference Report. 34-36.
- W. Vogel(1981) A guide for revegetating coal mine soils in the Eastern United States. Dep. of Agr. Forest Service, 190pp.