

廢炭鑛地의 山林毀損地復舊 및 廢石流失防止對策에 관한 研究

禹 保 命¹⁾

¹⁾ 서울大學校 山林資源學科 教授

Evaluation for Rehabilitation Countermeasures of Coal-mined Spoils and Denuded Lands

Bo-Myeong Woo¹⁾

¹⁾ Prof., Dept. of Forest Resources, Seoul National University

ABSTRACT

The project for rehabilitation and revegetation of the abandoned coal-mine lands is a very important national environmental restoration project in the view point of rehabilitation and revegetation of denuded forest-lands caused by coal mining as well as restoration of disturbed natural environment and control of the variable pollutions.

In Korea, because a large number of coal mines had been developed in order to fill up abundantly consumption of coal as a major energy source in the developing period, a lot of denuded forest-lands caused by coal mining had distributed in the whole country.

And, due to the absence of effective rehabilitation and revegetation works on the denuded forest-lands caused by coal-mining, most of them had been remained with being damaged.

In 1990, area of the abandoned coal-mine lands, requiring the rehabilitation and revegetation works, was about 1,437.1 ha. For the past ten years ('90~'99), about 1,081.8 ha out of them had been rehabilitated and revegetated, and the rehabilitation planning area was about 33.0 ha in 2000. So, remaining area out of abandoned coal-mine lands will be about 322.3 ha after 2000.

In principle, after abandoning coal-mine, mine owners must carry out the rehabilitation and revegetation works on the abandoned mine lands by themselves. But, most of mine owners were in financial difficulty after abandoning coal-mine, so that principle couldn't have obtained the desired effects.

To solve this problem, from 1995, Coal Industry Promotion Board (CIPB) have carried out the rehabilitation and revegetation works on the abandoned coal-mine lands at government budgets, and they have obtained good results in the construction area.

However, due to application of the "conventional erosion control measures and techniques" to the rehabilitation and revegetation measures on the abandoned coal-mine lands, the results and effects of the works excuted have not been successful. Therefore, unique measures and techniques for rehabilitation and revegetation of the abandoned coal-mine lands will have to be developed, especially

including development of new techniques on the soil-dressing and soil-covering, seed spray and hydro-seeding measures with seed-fertilizer-soil materials as the mechanized measures, and using of new materials for the tree planting and seedling measures.

Key words : *Abandoned coal-mine land, Coal mine spoils, Denuded forest-land, Rehabilitation and revegetation work*

I. 서론

우리나라에서는 '80년대 중반이후 국민소득의 증가로 에너지소비구조가 변화되면서 가정연료의 90%를 점유하던 무연탄의 소비가 급격히 감소하여 탄광의 경영이 어려워져 석탄광도산으로 인한 근로자와 지역사회의 경제적 혼란을 방지하고자 '89년부터 석탄산업구조조정을 하였다. '88년도의 탄광수는 347개, 생산량은 24,295천톤, 근로자는 62,259명이었으나, '98년에는 탄광수 11개, 생산량 4,361천톤, 근로자는 8,576명으로 감소하였다(석탄산업합리화사업단, 2000).

우리나라의 석탄광은 대부분 항(갱)내채굴(탄)(Tunnel mining · Underground coal mining)로 노천채굴(Surface mining · open-cut mining)에 비하여 실제 훼손면적은 적은 편이나, 석탄광(Coal mine)을 개발하기 위해 설치한 시설물과 채굴하는 과정에서 부수적으로 나오는 많은 폐석들이 산림훼손을 일으키는 주요한 요인이 되어왔다. 더욱이 항(갱)내에서 유출된 폐석이 폐석탄경석장(Abandoned coal-mine spoils)에 장기간 방치됨으로써 자연환경을 훼손시킬 뿐만 아니라 호우가 내리는 경우 폐석이 유실되거나, 폐석탄경석장의 사면이 붕괴되어 하천이나 도로의 파손 및 농경지 등이 매몰되어 막대한 경제적 피해를 주고 있다(석탄산업합리화사업단, 1997).

탄광지역 광해 복구사업 유형(광해사업비 지급범위)은 산림복구 및 폐석유실방지, 수질개선/폐수정화, 지반침하방지, 폐공가 및 폐시설물 철거, 갱내수전이 등(석탄산업합리화사업단, 1997)이지만, 본고에서는 탄광지역광해복구사업 5유형 중에서 「산림복구 및 폐석유실방지」에 대하여 검토하고자 한다. 또한, 폐탄광지에는 폐석

장, 폐석탄장, 폐석적치장, 경석장, 폐탄장, 폐토장 등 그 유형이 매우 다양하지만, 본고에서 복구녹화에 관련해서는 주로 폐탄경석장(Abandoned coal mine spoils) 및 “산림복구”사업 대상지에 대한 것이다.

[이 연구를 수행함에 필요한 각종 자료를 제공해준 산업자원부 자원개발과와 석탄산업합리화사업단 광해사업부 관계관님께 감사드립니다.]

II. 재료 및 방법

폐탄광지 복구사업 지원체계 및 복구사업현황·실적 등에 관한 자료는 폐탄광지복구사업 지원기관인 산업자원부와 석탄산업합리화사업단에서 발간한 자료와 그동안 구득할 수 있는 자료를 총괄적으로 정리·분석하였다. 그리고 폐탄광지복구녹화공법기술에 관해서는 폐탄광지복구시공지 현지조사를 통해서 수행하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 폐탄광훼손지복구에 대한 석탄산업합리화사업단의 지원

1) 폐탄광지복구사업 추진경위 및 지원근거
산림법 제90조와 제91조에 의한 산림훼손허가 및 복구는 해당 시장, 군수 또는 국유림관리청·영림서장이 해당자에게 복구비를 예치하도록 한 후 훼손허가하며, 복구명령은 허가기간만료 또는 사업종료시 허가된자가 복구명령(불이행시 허가권자가 복구대행자 지정 복구후 예치금으로 복구비용 충당함)을 내리도록 되어 있다.

탄광개발로 인하여 훼손된 산림지는 폐광지

광업권자가 복구하여야 하고, 복구명령후 1개월 이내에 복구사업을 착수하지 않을 경우 허가권자가 직접 복구하거나 대리 복구하여 복구비를 광업권자에게 부담하게 하는 행정대집행을 할 수 있도록 되어 있다.

그러나, 석탄산업법에 의해 폐광하는 석탄광업권자는 복구비를 지불할 능력이 없는 경우가 대부분이고, 복구비를 상환치 못하면 보증인이 지불하여야 하는데, 보증인들은 대부분이 석탄광업자로 상호보증을 선 경우가 많아 폐광탄광의 산림훼손지 복구는 결국 가행중인 탄광이 부담해야 하는 결과를 초래하게 되므로 정부는 '89년 5월 6일 석탄산업법 시행령을 개정하여 폐광탄광의 산림복구비(광해방지비 포함)를 「폐광대책비」의 범위에 포함시키고, 복구비용은 시·도지사 또는 산림청장에게 지원할 수 있게 하였다(석탄산업합리화사업단, 1997).

산림훼손허가 및 복구에 관하여는 산림법에, 광해방지 조치의무 및 배상에 대하여는 광산보안법 및 광업법에 근거하고 있지만 석탄산업법 제39조의 3의 규정에 의거 폐광된 광산에 대하여는 「폐광대책비」에서 지급한다(석탄산업합리화사업단, 1997).

2) 지원사업의 성과 및 문제점

정부는 '95년 이후부터는 폐광이후 방치된 산림훼손지 복구비용을 계속 지원하여 산사태 및 폐석유실로 인한 하천, 도로, 농경지 등의 재해를 예방하고 국토 및 환경보호에 기여하였다.

1990년 기준으로 총대상면적 9,479천㎡중에서, '96년말 현재('90년~'96년까지) 270개 탄광 9,221천㎡(97%)에 대한 복구공사를 완료하였으며, '97~'98년에는 3개 탄광에 258천㎡를 복구하고, 2000년도에는 783천㎡를 계획하였으나 330천㎡를 진행하고 있다. 그러나, 산림훼손허가지역만 복구공사를 시행하였으므로 불법훼손지역, 농지 및 대지 등에 적치된 폐석은 그대로 방치되었다.

이는 광산 단위별 복구공사를 시행하였으므로(1지역에 여러 개의 광산이 혼재해 있는) 국내 석탄광업의 특성상 체계적인 복구를 할 수

없었으며, 산림훼손지역의 소유자와 실제 훼손지가 서로 달라 폐광후 체계적인 관리체계가 미흡(지역별, 기관별 복구방법 상이)하였다(석탄산업합리화사업단, 1997).

3) 석탄산업합리화사업단의 사업추진방향

기존의 산림복구사업체제는 통산부, 지자체 및 영림서, 그리고 석탄산업합리화사업단의 4개 기관에서 공사승인, 시행, 비용지급이라는 복구공사체제로 '90년 이후 산림복구공사를 시행하여 왔으나, 이는 매우 비효율적인 체계이었다. 이때에는 공사시행기관이 지자체(사유림)와 영림서(국유림)로 이원화되어 있어 인접한 훼손복구지라도 시행기관이 다르며, 복구공법 및 m²당 복구비용예산의 차이가 현저하였다. 또한 시급히 복구할 필요가 없는 소규모 훼손지(자연복구가능지)와 도시인접구역으로 타용도로 개발가능한 곳 조차 국고의 이중지원과 비현실적이고 부적합한 양상이 나타나기도 하였다.

또한, 폐석유실 및 광산폐수의 유출 등 광해 확산방지가 시급하였으므로 시공상의 효율성 및 전문성을 기할 수 있고, 특히 책임성을 가지고 종합적이고 일관되게 사업을 시행할 전담기관의 필요성이 대두되었다. 정부는 석탄산업법 개정을 통하여 「복합광해지역(지반침하, 폐수, 폐석 등)」 개념을 적용하여 '95년부터 신규로 시작되는 산림복구사업에 대하여는 그동안 지자체와 영림서가 처리하지 못하고 있던 허가외 훼손지 및 폐석유실이 우려되는 지역 등 훼손된 전지역을 대상으로 사업단이 직접사업을 추진토록 하였다.

정부는 '95년 1월 「광산지역광해방지종합대책」을 수립하여 폐광탄광의 광해복구사업을 사업단이 전담하여 직접 자체사업으로 산림복구공사를 추진하게 되었다(석탄산업합리화사업단, 1997).

사업단은 산림복구 및 폐석유실 방지사업을 추진함에 있어 산림훼손지의 안정관리와 광해방지라는 일차적인 목적외에도 탄광지역이 고원관광도시로 개발될 수 있도록 산림복구공사를 폐수정화와 폐시설물철거 및 폐석유실 방지

공사 등과 연계하여 기존의 복구공사에서 제기되었던 문제점을 개선해나가고 있는데, 복구사업시행방침의 요지는 다음과 같다(석탄산업합리화사업단, 1997).

- ① 기존의 광산단위별 복구에서 훼손지내 폐공가 및 폐시설물, 흔적지 정리 등 훼손권역 전체를 사업대상으로 한 광역복구개념을 도입하고,
- ② 산림복구공사설계시 지역주민의 의견을 설계에 반영하여 지역실정에 맞는 복구사업추진으로 공사부실에 대한 우려감을 해소하며,
- ③ 훼손지 전역을 완전복토하여 초목의 생육환경을 조성하고 현지 토질 및 기후에 적합한 수종 및 경제수종을 식재하여 조기에 산림을 원상복구하고,
- ④ 산탄지 산림지형에 적합한 산림녹화공법의 채택으로 국민의 공익적 기능인 산림자원 보호 및 폐광지역 환경개선을 위한 기반을 조성하며,
- ⑤ 사업단직원을 산림복구공사현지에 상주시켜 철저한 감독으로 부실시공을 사전에 차단하여 광해 및 환경오염을 막아 깨끗하고 아름다운 자연환경을 보전한다.

2. 폐탄광훼손지복구 사업추진 실적 및 결과

1) 사업추진 개요

산업자원부에서는 광산개발에 따라 발생된 폐석유실, 수질오염, 산림훼손 등 공해방지를 위해 1980년도부터 1999년까지 1,885억원을 집중투입한 결과 광산지역의 산림복구, 수질개선에 의한 상수원보호 및 지반침하에 의한 재해방지 등에 크게 기여하였다고 발표한 바 있다(산업자원부, 2000).

이와같은 사업의 추진으로 약 1,060ha의 산림 훼손지복구(사업비 595억원)로 광산지역환경개선 및 지역관광단지의 기반을 조성하였다. 또한 한강의 발원지인 정선, 낙동강의 발원지인 태백지역의 광산폐수 4만톤중 2만톤에 대하여 「자연정화방식(Passive treatment system)」으로 수질정화하고, 오염된 하상을 정비하여 상수원 보호에 기여하였다. 이외에도 광산채굴지역 82개 지역중 15개 지역에 대하여 지반안정조사를 실시하였고, 이중 도로상에 함몰이 발생하거나 지반이 불안정한 3개 지역(가은, 철암, 화전)에 우선 보강공사를 실시함으로써 철도 및 도로함몰로 인한 대형사고를 미연에 방지하도록 하였다(산업자원부, 2000).

정부에서는 2000년 이후에도 광산지역 광해 복구 및 환경개선을 통한 국토의 균형발전을 위하여 1,830억원(표 1)을 투입하여 폐광지역의 산림복구와 폐석·폐수시설 설치를 통한 수질개선 및 폐공가·폐시설물을 철거하여 광산지역의 생활환경을 개선할 계획이다(산업자원부, 2000).

즉, 산림복구사업추진절차는 '90~'94년에는 「시·군, 산림청(사업시행승인요청)→정부(사업승인)→사업단(폐광대책비지급)→시·군, 산림청(사업시행)」 체계이었다. '95년 이후부터는 「시·군, 산림청(사업요청)→사업단(사업추진계획수립 및 보고)→정부(사업승인)→사업승인(사업시행)」 체계로 전환되어 '95년부터는 광해방지종합대책에 의거하여 사업단에서 직접 사업시행한다(표 2). 이와 같은 체계의 한 사례를 보면, 정선군 고함읍에 위치한 폐탄광지의 복구설계서는 석탄산업합리화사업단에서 산림조합중앙회 엔지니어링센터에 용역을 주고, 시행은 정선군 산림조합에서 시공한다.

표 1. 예산지원실적(1980-1999)

(단위 : 억원)

구 분	지원예산	'80 - '89	'90 - '99	계
· 공해방지사업	조성사업비	222	661	883
· 광해방지사업	폐광대책비	-	1,002	1,002
	계	222	1,663	1,885

표 2. 광해방지 및 환경개선사업추진체계 및 지원방식

구 분	공해방지사업	광해방지사업
· 사업수행주체	· 지방자치단체장	· 석탄산업합리화사업단
· 사업진행절차	· 사업대상선정 및 사업신청(지자체장) →산업자원부→지방자치단체장→광업자	· 사업요청(광해지역의 장)→대상선정 (광해사업심의위원회)→복구공사 및 자금집행(사업단)
· 보조율	· 가행광산 : 국고 70% · 폐광산 : 국고 100%	· 광해사업비 전액(국고 : 100%)

표 3. 사업추진실적 및 계획 (자료 : 산업자원부)

(단위 : 백만원)

구 분	사업대상		'80~'99실적		2000계획		2001년 이후		계
	사업량	사업비	사업량	사업비	사업량	사업비	사업량	사업비	
○ 공해방지사업(개소)	2,209	160,129	2,109	88,291	17	7,678	83	64,160	
○ 광해방지사업		211,364		100,198		17,034		94,132	
· 폐시설물철거(동)	2,232	8,123	1,713	5,624	128	874	391	1,625	
*· 산림복구(천㎡)	14,371	101,337	10,598	59,492	896	5,335	2,877	36,510	3,773
· 수질정화(탄광, 천㎡/일)	59(39)	25,993	23(21)	11,274	6(4)	2,940	30(14)	11,779	
· 지반침하방지(개소)	82	62,889	15	14,051	11	6,846	56	41,992	
· 출수피해방지등(개소)	8	13,022	8	9,757	2	1,039	1	2,226	
계		371,493		188,489		24,712		158,292	

2) 주요 사업추진실적 및 결과

1980년부터 1999년까지 주요 사업추진내용으로는 산림훼손복구 381개소(10,598천㎡)/59,492백만원, 수질개선사업 23개소(21천㎡/일)/11,274백만원, 지반침하방지사업 15개소/14,051백만원, 폐시설물철거에 1,713동/5,624백만원, 기타 출수피해방지에 8개소/9,757백만원을 지원하였다(산업자원부, 2000).

표 3에 의하면, 광산전체에 대한 산림훼손지 복구사업은 1980년도 기준으로 전체 사업대상지 면적은 14,371천㎡인데, 이중에서 1980년부터 1999년까지 20년간 10,598천㎡를 복구하고, 잔여면적이 3,773천㎡이었다. 이 잔여면적중에서 2000년도에 896천㎡를 복구(계획)하게 되면 2001년 이후 사업량/잔여면적은 약 2,877천㎡(약 288ha)이 된다.

석탄산업합리화사업단의 자료에 의하면 폐탄광지산림복구 전체 해당면적은 14,264천㎡(약 1,426.4ha)이었으며, 여기에서 '90~'99년 복구

(실적)면적 10,598천㎡와 2000년도 복구계획면적 783천㎡를 감하면 2001년 이후에 복구해야 할 잔여면적은 2,883천㎡(288.3ha)이 된다. 여기에는 '90~'94년까지 “승인사업”으로 복구한 350개소 중 일부 구조물 붕괴, 식재목 고사 등 재훼손되어 개·보수가 필요한 곳이 83개소 2,405천㎡가 포함된 것이다.

'95년부터 2000년까지 매년 연차복구면적은 표 4에서와 같다.

표 4. 년차별 복구면적('95~2000년)

구 분	개소수	복구면적(천㎡)	비 고
'95	-	-	
'96	5	46	'96~2000년까지 시행면적은 약 190ha이며, 향후 잔여면적은 약 288ha가 된다(요보수면적 240ha 포함).
'97	7	247	
'98	4	357	
'99	14	469	
2000	21	783	
향후대상	132	2,883	
계	183	4,785	

표 5. 산림복구 및 폐석유실방지사업 추진현황 총괄(2000. 5월말 기준)

(단위 : 개, 천m²)

지역	총대상		준공		진행중		향후계획	
	탄광수	물량	탄광수	물량	탄광수	물량	탄광수	물량
승인사업 ('90~'94)	273 (350)	9,479	273	9,479				
산림복구 (천m ²)	38 (39)	1,552	34	1,288	3	232	1	32
미복구지 (천m ²)	61 (61)	828					61	828
재훼손지 (천m ²)	75 (83)	2,405			2	98	73	2,307
폐석유실 (천m ²)	(13)	107 (5,182)	(2)	51 (265)	(4)	(2,697)	(7)	56 (2,220)
계	447 (13)	14,371 (5,182)	307 (2)	10,818 (265)	5 (4)	330 (2,697)	135 (7)	3,223 (2,220)

* () : 폐석유실개소, m (자료 : 석탄산업합리화사업단)

석탄산업합리화사업단에서 최근(2000. 5)에 산림복구 및 폐석유실방지사업 추진현황을 총괄한 자료에 따르면 표 5에서와 같이 2000년 이후의 시공대상지는 “산림복구” 대상지는 1개소에 3.2ha, “미복구지”는 61개소에 82.8ha, “폐석유실지”는 7개소 5.6ha(길이는 2,220m)로서 신규대상지 전체면적은 약 91.6ha에 이른다. 그리고 기존 “승인사업('90~'94)”시행지 273개소에 947.9ha 중에서 “재훼손지”로서 재시공해야 할 곳은 73개소에 230.7ha에 이른다. 따라서 석탄산업합리화사업단에서 총괄하는 산림복구대상지 및 미복구지와 폐석유실 및 재훼손지를 합한 전체 복구대상면적은 약 322.3ha에 이른다. 석탄산업합리화사업단에서는 이와 같은 잔여대상지를 2009년까지 복구할 계획을 수립·추진한다.

3. 폐탄광지 산림훼손지복구공법의 기술분석

1) 기존 복구녹화시공지에서 나타난 일반적인 문제점

1995년 이전에는 폐탄광훼손지에 대한 복구녹화공사를 사유림에 대해서는 지방자치단체(시·군)에서, 국유림에 대해서는 산림청 영림서(국유림관리소)에서 각각 관장하였다. '95년

이전에 복구공사 시공지는 거의 대부분이 「실패하여 재시공해야 할 것이다」라는 것이 일반적인 전문가 등의 의견이라고 집약할 수 있다. 실패의 주원인은 복구시공비가 너무 부족해서, 「복구에 처금수준으로는 부실/불완전시공을 할 수밖에 없을 것이다」라는 것이다. 그러므로 폐탄광지 복구녹화공사시행지 통계는 '95년 이후 석탄산업합리화사업단이 직접 지원시행한 곳부터 「시행지」로 보아야 한다는 것이다. 따라서, '95년 이전에 영림서 등에서 복구공사한 시공지의 대부분은 향후 다시 보수·복구공사가 필요한 곳으로 간주해야 된다는 것이다(석탄산업합리화사업단, 1997).

이와 같은 현실을 감안할 때 기존 폐탄광지 복구공사시공지를 포함하여 우리나라 모든 폐광산지에 대한 복구녹화공사·보수공사를 위한 일제정비조사가 필요할 것이다.

폐탄광지의 복구공법에 대한 현지조사 및 연구는 임업연구원(최경, 1998)에서 가장 집중적으로 수행하였으며, 또한 본인도 많은 연구자료를 가지고 있다. 임업연구원(최경, 1998)의 연구발표내용과 본인의 연구자료를 기초로 폐탄광지 산림훼손의 복구공법에 대하여 검토·고찰하고자 한다.

2) 주요 복구 공종·공법의 기술분석

우리나라에서는 석탄채굴에 있어서 주로 노천채굴보다도 갱굴채굴장이 많으므로, 복구녹화공사의 주요 대상지는 폐석·폐탄적치장, 경석장과 그 주위의 훼손지가 된다.

이러한 폐탄·폐석·버력·경석장을 안정녹화하기 위하여 그동안 주로 많이 채택한 산림환경보전공학적 공종·공법·시공기술은 비탈다듬기(整度工), 돌수로내기(石水路工), 돌누구막이(石淚溝防止工), 비탈돌쌓기(斜面築石工), 돌흙막이(石留土工), 돌축대쌓기, 콘크리트블록축대쌓기, 콘크리트옹벽쌓기, 돌골막이(石保谷工), 돌기슭막이(石保岸工), 돌바닥막이(石保床工) 등이며, 또한 돌망태구조물이 많이 시공되었다. 그리고, 식물공학적 공종·공법으로는 비탈선베붙이기(斜面立芝工), 비탈줄베심기(斜面線芝工), 파종공법(播種工法), 줄(씨)뿌리기(條播工), 흩어(씨)뿌리기(散播工), 분사파종공법(Hydro-seeding), 새풀심기(草植工), 나무심기(苗木植栽工)공법 등이다.

그동안 폐석적치장·경석장에 대한 녹화기술 유형은 비교적 단순하였다고 볼 수 있다. 즉, 폐석·폐탄 적치시에 형성된 요철이 많은 적치장·경석장에서 토사의 안식각을 고려하여 전체면적에 대한 비탈다듬기 공사와 땅고르기작업으로 지표사면을 정리정돈한다. 이렇게 정리정돈된 폐석·폐탄장, 경석장 사면에 적당한 간격으로 등고선계단상 수평소단·계단을 설치하고, 여기에 비탈돌쌓기공사와 돌수로공사를 시공하여 비탈안정을 시도하며, 필요한 곳에서는 사면하부에 사면안정공사를 하고 비탈어깨 최상단에는 비탈어깨돌림배수로공사를 하여 지표면 유수로부터 비탈침식을 방지하여 사면보호를 시도한다.

이와 같은 일반적인 복구공사시공지 유형에서 복구녹화공사가 실패되어 재시공이 필요하거나 안정녹화공사가 성공하지 못한 곳에 대한 조사결과를 보면 각종 돌공작물의 파손율이 높은데에 주원인이 있었다. 각종 돌공작물이 부분적으로 또는 대부분 파손·유실되어 사면전체에 각종 침식현상이 발생되고 심한 곳에서는 비

탈면붕괴가 발생되었다. 특히 비탈하부의 축대벽쌓기, 사면위의 중·형 돌수로, 하천계안의 돌기슭막이 공작물의 파손·유실이 우심하였다.

주요 공작물의 파손원인으로는 터파기공사가 부족하여 공작물 기초공사시공이 부실하였으며, 공작물의 규모가 과소하여 밀려내리는 토압 및 침식력을 감당할 수 없으며, 시공기술이 미흡하여 안정성이 부족한 시공법 등으로 분석되었다.

3) 주요 녹화공법의 기술분석

폐탄·폐석적치장, 경석장 녹화공사에서 가장 중요한 요인은 좋은 흙으로 충분한 양의 객토(客土)와 충분한 두께의 복토(覆土)에 있다고 볼 수 있다. 식재한 묘목이 잘 활착하지 못하고 고사한 곳에서 조사한 결과는 묘목이 살 수 있는 객토영역이 부족한 경우가 많고, 또한 단간사면이나 계단상에 주로 조파한 경우에는 복토두께가 불충분하여 파종한 초류의 뿌리가 번무할 수 없는 토양환경에 문제가 있었다.

기존 복구공사시공지, 특히 녹화공사실패지에서는 사면복토공사에 시공비가 많이 소요되므로 특수지역외에는 좋은 복토·객토공사를 거의 실시하지 않았으며, 또한 묘목식재구덩이에서 객토(량) 깊이가 10~20cm 정도로 토양이 부족한 실태가 조사되었다.

폐탄광지, 특히 경석장복구녹화공사에 많이 식재된 수종은 아까시나무, 리기다소나무, 산오리/물오리나무, 잣나무 등이며, 그 밖에도 자작나무(주로 고산지대), 낙엽송, 곰솔(해송), 소나무, 측백나무, 현사시나무 등이다. 그리고 관목류로는 싸리류와 죽제비싸리가 파종되었다. 우선적인 황폐지녹화용 개척적인 수종과 장래에 있어서 용재 및 환경수로서의 기능을 복합적으로 발휘할 수 있도록 적절한 수종배식이 문제가 된다.

폐탄광지 비탈녹화용파종공사에 많이 사용된 재래 초류에는 각종 새류(새, 솔새, 개솔새, 억새 등 소위 '일반잡초')가 우세하였다. 자생초류는 일시에 다량 채종이 곤란하고 채종비가 고가로 종자대가 비싸며, 또한 발아기간이 비

교적 길며 발아율이 낮아 녹화식생조성에 불확실성이 높아서 시공업자들이 그 사용을 기피하는 경향이 있다.

최근에는 외래녹화용 초류를 도입하여 기계 분사파종공법으로 이용되는 경우가 많다. 주요한 외래녹화용 초종에는 이태리호밀풀(Italyan ryegrass), 다년생호밀풀(Perennial ryegrass), 오리새(Orchard grass), 목장개미털(Tall fescue · 켄터키철크스큐(Kentucky 31 fescue)), 왕포아풀(Kentucky blue grass), 능수귀염풀(Weeping lovegrass), Creeping redfescue, Timothy 등이 있다. 이들 외래녹화용 초류종자는 일시에 대량구득(수입)이 가능하고, 발아율이 높고 빨라서 초기녹화에 적당하다. 그러나 초종에 따라서는 과도한 번무상태로 재래초류와 공생하기보다는 재래초류를 쇠퇴시킬 우려가 있다는 견해도 있지만, 녹화초기에는 외래초류를 초기녹화개척초종으로 사용하는 것이 실용성이 높고 효과적일 것이다.

또한, 폐탄광지 폐석장의 복구녹화공사지에 자연적으로 침입착생하는 주요한 수종에는 나무말기, 칩, 줄참나무, 산초나무, 소나무, 붉나무, 두릅나무, 갈매나무, 노린재나무의 순으로 많이 있으며, 침입초본으로는 썩, 달맞이꽃, 망초, 억새, 씬바귀, 산거울, 여뀌, 솔새, 까치수영, 강아지풀 등의 순으로 많았다(최경, 1998). 따라서, 녹화공사에는 되도록 재래초목류를 사용하는 것이 식물생태적 안정을 위해서는 바람직할 것이다. 즉, 종자를 대량구득하여 조기녹화를 이루고자 할 때에는 부득이 외래초류가 효과적일 것이지만, 생태적 안정을 위해서는 재래초류가 유리할 것이므로 식물선택에 신중히 할 필요가 있다. 또한, 재래초류와 외래초류를 섞어 함께 혼파할 때에 이론적으로는 혼합혼파를 하지 말고 구분혼파를 해야 할 것이지만, 현장에서 분사파종공법에서는 혼합혼파가 실용적일 것이다.

또한, 그동안 폐탄광지 경석장의 식생녹화공법개선을 위한 현실적인 현지시험연구가 부족하여 우리나라의 독자적인 녹화공법의 개발이 곤란하였다고 볼 수 있다. 폐탄광지 경석장녹화를 기초이론부터 응용실용공법에 이르기까지

체계적으로 시험·연구하는 연구기관도 부족하였고, 또한 그동안 시험연구성과도 미진하였다. 특히, 파종녹화공법개발에 있어서 적당한 초류종류의 선발, 파종방법, 혼파조합, 사후관리, 복토의 토성 및 종류, 깊이 및 방법에 관한 시험연구성과가 부족하였다. 뿐만아니라, 묘목식재 녹화공법개발에 있어서도 수종선발, 식재방법(용기묘 사용 등), 혼식방법, 사후관리, 객토의 토성, 종류, 객토량 및 객토방법 등에 관한 시험연구성과가 부족하였다. 파종 및 식재녹화공사에 필요한 복토 및 객토에 관한 집중적인 시험연구가 필요한 현실에 놓여 있다.

4) 복토 및 객토기술

폐탄광지복구녹화공사에 있어서 탄자갈·탄가루·탄분 등을 주로하여 지름 4~5cm 이하의 작은 폐석·폐탄적치장의 복구녹화는 비교적 용이(초목의 근계가 살 수 있는 터·흙이 있으므로)하지만, 지름 10cm이상 큰 경석으로 쌓인 곳은 초목근계가 뿌리박고 생육하기가 곤란하므로 문제는 주로 이러한 경석장녹화기술 개발에 있는 것이다.

일반적으로 태백, 정선, 영월지역의 폐석장 경석장(정남훈, 1990)은 평균길이 100m 이상 대형비탈을 형성하고 있으며, 비탈경사도는 40도 이상인 급경사지가 많으며, 사면침식이 심하였다.

임업연구원에서 연구한 결과(최경, 1998)를 보면 폐석은 입경 2mm 이상이 대부분이어서 건조하기 쉽고 풍화된 토양은 대부분 모래와 미사로 구성된다. 또한 복토 및 객토용 토양은 주로 인접 산지토양을 채취하여 사용하는데, 모양에 따라 토성이 다르나 폐탄질토와 복토 및 객토용 토양 모두 퇴적암의 일반산림토양에 비하여 유기물을 제외한 유효인산, 양이온치환용량, 치환성 K, Na, Ca 및 Mg 함유량이 낮게 나타나고 있다. 그러므로 폐탄광지 복구녹화용 복토 및 객토용으로 사용할 토양에는 적절한 비료성분을 추가해야 할 것이다. 즉 토양 양료의 보충(시비)이 요구된다. 차후에 개발되는 신규 광산지에서는 표토보전 및 재활용공법기술 개발이 요망된다.

5) 시공기술의 총괄적 분석

그동안 대부분의 비탈정리정돈공사는 토공용 중장비, 특히 주로 굴착기를 많이 이용하여 기계화시공을 하여왔다. 그러나, 각종 돌쌓기공법에 있어서는 돌쌓기공법의 특수성 때문에 기초터파기공사외에는 기계화시공이 곤란하여 인위적으로 시공할 수밖에 없으므로 석재의 크기에 제한을 받아 충분히 큰 석재보다는 취급이 용이한 소형 막돌을 사용하여 축석함으로 호우시에 파손·유실·붕괴위험이 많았다. 특히 수로공사에 있어서는 주위에서 구득하기 쉬운 불규칙한 잡석·경석 부스러기들의 사용을 자제하고 규격석재나 규격 콘크리트 모형관 등을 사용하여야 할 것이다. 좋은 축석재를 구득하기 어려운 곳에서는 돌망태공작물 시공이 바람직할 것이다.

폐석장 사면녹화기술의 요지는 복토 및 객토에 있다. 대규모 폐석장비탈에 인위적으로 흙을 가지고 올라가서 복토하거나 객토하기가 실제로는 실행하기가 매우 곤란할 것이다. 나무묘목을 식재하기 위해서는 충분한 크기의 구덩이객토를 해야 하는데 시공시까지 많은 객토를 운반하기가 매우 곤란할 것이다. 또한 소단간 사면에 충분히 복토를 하고 식물종자를 파종하거나 묘목을 식재하는데, 이때의 인위적인 복토작업이 매우 곤란한 것이다. 그러므로 최근에는 객토·복토와 동시에 식물종자의 파종이 가능한 각종 형태의 분사파종공법(Hydroseeding measures)이나 중비토뿌어붙이기공법(種·肥·土吹付工法)이 채용되고 있지만, 이러한 이른바 「최신녹화공법」도 폐석장녹화에는 해결해야 할 기술적인 문제점이 적지 않다.

폐석이 적치된 경석장 등은 일반적으로 식물이 착생하여 성장하기가 매우 곤란한 입지환경적 요인을 가지고 있으므로 보통의 황폐지녹화기술이나 절성토녹화기술과는 다른 특수한 시공기술이 개발되어야 할 것이다. 그동안에는 대부분 기존 산지사방공사에서 보편적으로 채택해오던 시공법을 채택하여 다른 기술집약적 시공이 되지 못하는 이른바 「구식공법」으로 특수한 입지환경을 가진 폐석탄광지를 복구녹화

하고저 시도하였으나, 향후에는 폐탄광지에 적합한 특수한 시공기술이 개발되어야 할 것이다.

폐탄광 폐석적지·경석장은 우선 흙이 아닌 경석·폐석으로 되어 식물종자가 착생·발아·성장하기가 매우 곤란하며(식물이 뿌리내리고 성장할 토양이 부족), 폐석색깔이 검은색으로 여름철 한낮 지표면온도가 급격히 상승하여 사람이 보행할 수 없을 정도로 뜨거우므로 식물이 말라서 시들게 된다. 즉 폐석표면식물이 자랄 수 있는 깊이에 흙이 없으므로 수분보유상태가 빈약하여 고사하게 된다.

그러므로, 폐탄광·폐석장녹화를 위해서는 전면적인 충분한 복토·객토를 필수요건으로 하고 또한 전면 피복·표면덮기공법이 유효할 것이다. 표면덮기는 거저제품이나 Coir/Jute 망제품, 각종 합성재 매트류 등이 효과적일 것이며, 인력에 의한 파식공법만으로는 완전녹화가 곤란한 대규모 시공지역에서는, 특히 개량화된 중비토뿌어붙이기시공법과 인력시공법을 병행하는 것이 효과적일 것이다.

2000년 이후에 복구녹화해야 할 시공대상 폐탄광·폐석장지역이 많이 잔치되어 있지는 않지만, 과거 '95년 이전까지 시공한 기시공지의 복구녹화성공수준을 감안할 때에, 향후 상당한 시공예상면적이 잔치되어 있다고 볼 수 있으므로 폐탄광 폐석적지 복구녹화를 위한 신기술이 개발되어야 할 것이다.

또한, '95년 이전까지는 폐탄광지 산림훼손지 복구녹화시공비가 저렴하여 현실적으로 완벽한 「기술시공」이 곤란하였다. '90년부터 '96년까지의 폐석장 복구지 1ha 당 복구비는 평균 3,600만원 정도였는데, 이것은 주로 산림청의 산지사방사업단비에 기준을 두었기 때문이라고 생각된다. 채광후 복구비에치금액도 산림청의 산지사방사업비에 기준을 두어 책정하므로 실제소요금액보다 과소한 금액이 예치된다. 2000년도에 시행하는 사업량은 896천㎡이며, 사업비에 산은 5,335백만원이므로, 평균 1ha 당 약 60백만원(평당 20,000원)이 소요된다고 볼 수 있다. 또한, 석탄산업합리화사업단에서 시행하는 경

우에 2000년도 예산기준은 설계비와 시공비를 합하여 1㎡ 당 평균 12,316원이라고 하는데, 이것은 1ha 당 123백만원 이상이 되는 것이다. 시공지 조건에 따라서 설계시공내역이 다를 것이므로 사업비에 큰 차이가 나타나게 될 것이지만, 목표는 완벽한 시공으로 완전한 복구녹화를 이룰 수 있도록 해야 할 것이다.

IV. 결론

폐탄광지의 산림훼손지 복구 및 폐석유실 방지대책에 관한 주요 시책, 복구공법 및 녹화기술 등에 관하여 개괄적으로 검토분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 폐탄광지의 폐탄적치장·폐석장·경석장을 방지하면 자연환경을 훼손할 뿐만 아니라 폐석장·폐토장의 침식·유실 및 폐석장의 사면붕괴 등으로 토사재해를 유발하고, 또한 수질오염 등 각종 광해·공해가 발생하게 되므로 완벽한 복구녹화공사를 시행하기 위한 새로운 전략적 시책이 필요할 것이다.

2. 우리나라에서 복구녹화공사를 실행해야 할 폐탄광지 폐석장을 포함한 산림훼손지면적은 1990년 기준으로 약 1,437.1ha 정도이었으며, 이러한 대상지에 대하여 그 동안 산림청·국유림관리청(영림서)과 지방자치단체(시·군)에서 또는 해당자(광주·원인자)가 직접 복구공사를 시행하여 왔으나 그 복구녹화성과의 부진 등 여러 가지 이유로 '95년부터는 석탄산업합리화사업단에서 사업비전액 국비로서 직접 복구녹화공사를 실시하고 있다.

3. '95년 이전까지 시공지의 복구녹화성과가 부진(실패)한 주원인은 시공비가 지나치게 저렴하게 책정(산림청 산지사방사업비 기준으로 책정하였으므로)되어 폐탄석장의 현장여건에 부합되는 완벽한 설계·시공·복구공사를 시행할 수 없었다. 그러므로, 폐탄광지에서는 일반적으로 광주의 재력이 빈약하여 「원인자 복구부담원칙」이 실효를 얻기가 곤란하므로 시공비를 더욱 현실화해서 완벽한 복구녹화공사가 성취될 수 있도록 해야 할 것이다.

4. 과거에는 동일지역내에서도 광산단위별로 복구녹화공사를 시공하였으므로 석탄산업의 특성상 체계적인 복구공사를 시행하기가 매우 곤란하였으며, 폐광후 체계적인 관리체계(지역별, 기관별 복구방법이 상이함)가 미흡하였으므로 지역별로 완벽한 복구녹화체계의 수립 및 시행절차가 지속적으로 확립되어야 할 것이다.

5. 석탄산업합리화사업단의 설치로서 광해복구사업전담기관으로서 시공상의 효율성 및 전문성을 기대할 수 있고, 특히 책임성을 가지고 종합적이고 일관성있는 복구사업을 시행하여 폐탄광 산림훼손지 복구 및 폐석유실방지사업 효과 거양을 기대하고 있지만, 우선적으로 전국적인 기시공지에 대한 성과·평가 및 일제정비재조사가 필요할 것이다.

6. 폐탄광의 폐석·폐토·버력·경석장을 안정녹화하기 위하여 그동안 주로 채택되고 있는 주요 공종·공법에는 비탈다듬기, 돌수로내기, 돌누구막이, 비탈 돌쌓기, 돌흙막이, 돌기슭막이, 돌축대쌓기, 돌골막이, 돌바다막이, 각종 돌망태구조물로 주로 현장에서 구득이 용이한 경석·잡석 등을 활용하여 시공하는데, 이들 공사때에 부적절한 시공기술로 공작물의 파손·유실·붕괴현상이 많아서 보수공사가 필요한 곳이 적지 않으므로, 이들 돌구조물에 대한 시공법개선 및 기시공지에 대한 보수공사 및 재보수공사가 요망된다. 특히, 비탈안정공사로서 비탈 소단상에 2단 가로골쌓기 시공법으로 축조한 비탈 돌흙막이, 비탈 돌쌓기 구조물의 시공기술개량이 요구되며, 전체적으로 횡단·종단배수로의 시공연장을 증대해야 될 것이다.

7. 폐석장의 녹화공법으로는 재래식 파종공법과 묘목식재공법, 선떼붙이기, 줄떼심기공법이 널리 시공되었으나, 최근에는 기계화 시공기술을 도입한 각종 분사파종공법 및 중비토뿔어붙이기공법이 시험시공되고 있다. 파종녹화공법의 시공효과를 거양하기 위해서는 적절한 토양과 충분한 깊이로 전면복토·객토공사를 한 후 재래초류와 외래초류의 적절한 혼파로 분사파종공법이나 중비토뿔어붙이기공사를 기계화 시공법으로 처리해야 할 것이다. 또한 필요한

곳에는 사면피복녹화공사(거적덮기, Coir-jute 망덮기, 각종 인조피복 매트덮기공법 등)를 시공해야 할 것이다. 파종녹화공사에서는 초류종자 외에 싸리류, 족제비싸리와 같은 녹화수종의 종자와 시공지 주변에서 자라는 자생식물종자도 혼파하여 조기수림화효과를 얻도록 해야 할 것이다. 기계화 시공법에 의한 중비토뿔어붙이 기공법은 불안정한 급경사의 폐탄석장 비탈면에 대한 녹화공사 시공을 안전하게 수행할 수 있는 특징이 있으며, 녹화시험성적도 양호한 결과를 나타내었다. 또한, 시공인부들이 작업하기가 매우 곤란한 급경사 폐석 비탈면위에 두께 30cm 이상으로 전면객토공사는 현실적으로 매우 곤란한 현실이므로 기계화 파종공법이 도입되어야 할 것이다.

8. 폐탄광지 폐석장 녹화공사에 많이 식재된 수종은 아까시나무, 리기다소나무, 산오리/물오리나무와 같은 기초녹화수종(개척수종)과 그 밖에도 잣나무, 자작나무, 낙엽송, 곰솔(해송), 소나무, 측백나무, 현사시나무와 같은 용재·경제수종 등인데, 묘목식재시에는 구덩이객토에 유의하여 당해 수종의 묘목특성에 적합한 객토(토성·토량) 및 시비를 해야 묘목의 활착 및 생장을 조장할 수 있을 것이며, 필요한 곳에서는 균근의 접종이 효과적일 것이다. 묘목식재 구덩이 객토량은 수종과 묘목 크기에 따라 다르겠지만 적어도 너비 0.3m×깊이 0.3m 이상으로 충분히 크게 해야 할 것이다.

9. 폐탄광지 산림훼손지 복구 및 폐석유실방지에 관한 새로운 자재를 사용하는 시공법·신기술개발이 필요할 것이며, 특히, 파종 및 식재 녹화공법용 식생의 생육특성에 적합한 복토 및 객토량·객토방법 등에 관한 보다 더 진보된 시험·연구가 필요할 것이다. 또한 기시공지에 대한 지속가능한 유지관리기술도 개발되어야 할 것이다.

10. 폐탄광지를 포함하여 전체적인 광산지·

폐광지에 대한 일제정비현장실태조사를 실시하여 국토환경보전차원에서 “폐광지복구녹화사업”을 실시하여 모든 폐광산지가 복구녹화될 수 있도록 해야 할 것이다.

인 용 문 헌

- 구창덕. 1990. 석탄채굴에 의한 산림훼손지를 조림복구할 때 고려할 인자에 관한 연구. 한국임학회 학술연구발표 20pp.
- 산업자원부. 2000년 광산지역 광해방지 및 환경개선사업(홍보자료).
- 석탄산업합리화사업단. 1996. 폐광지역 산림복구 및 광해방지비 지원실적(1990~1995). 522pp.
- 석탄산업합리화사업단. 대한자원환경지질학회. 1996. 폐탄광일대의 지질환경오염과 광해복구. 연찬회논문집 pp.1~25.
- 석탄산업합리화사업단. 1997. 사업단 10년사. 오름시스템(주) pp.271~296.
- 석탄산업합리화사업단. 2000. 산림복구 및 폐석유실방지사업추진(현황유인자료).
- 석탄산업합리화사업단. 2000. 1. CIPB. Coal Industry Promotion Board. 34pp.
- 정남훈. 1991. 폐석탄 경석장의 녹화공법에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문. 34pp.
- 조현재·이창석·정용호·오정수. 1995. 석탄폐광지의 식생복원을 위한 생태학적 연구. 산림과학논문집 51 : 14~24.
- 최 경. 1998. 폐탄광지의 복구현황. 임업정보 제92호. 임업연구원.
- 한국산업경제개발연구소. 1991. 석탄광 광해방지대책의 효율적 추진방안 연구(연구용역보고서).
- 한국자원연구소. 1995. 폐광에 따른 광산지역 환경개선연구(폐수, 폐석)(연구용역보고서).

接受 2000年 5月 20日