

석탄광산 선탄장에서 발생하는 분진의 입도분포 특성

옥윤용*, 허준석*, 이승철**, 김소영***, 최광수****

*대한대학교 정보기술학과

(주)티에스엔지니어링*, 강원대학교 소방방재학부**, 강원대학교

방재전문대학원*** 한국광해관리공단****

e-mail: ookk033@paran.com, sclee@kangwon.ac.kr

The Particle Size Characteristics of Coal Preparation Plant in a Coal Mine

Yun-Yong Ok, Jun-Seok Hur*, Seung-Chul Lee**, So-Young Kim***, Kwang-Su Chio****

*TS Engineering co., Ltd, **School of Fire and Disaster Prevention, Kangwon University, ***The Professional Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon University, ****Mine Reclamation Corp.

요 약

석탄광산의 선탄장(選炭場)에서 운용하는 장치들로부터 발생하는 석탄분진의 입도분포를 현장조사와 실내분석을 통하여 파악하였으며, 연구결과는 광해(鑛害)로서 작용하는 석탄분진을 포집하는 집진기(A Dust Collector)의 설계에 필요한 자료로 제시하고자 한다. 연구결과 TB업체의 분진 입도분포는 1 μ m이하의 미세(微細)입자와 100 μ m이상의 조대(粗大)입자가 차지하는 비중이 미약한 반면, 특히 5 μ m~80 μ m 사이에 분포되는 분진들이 89.2%로 나타나 발생분진의 대부분을 차지하는 것으로 파악되었다. 이들 중 원심집진기에 포집된 분진은 70 μ m이하에서 89.5%인 반면 여과집진기에서 포집된 분진의 90.0%가 20 μ m이하인 것으로 나타났다. SD업체의 분진 또한 1 μ m이하와 100 μ m이상 입자는 적은 분포를 보인 반면, 5 μ m~70 μ m사이에 분포되는 분진들이 89.6%로 나타나 발생분진의 대부분을 차지하는 것으로 파악되었다. 이들 중 여과집진기에 포집된 분진의 입도는 30 μ m이하에서 96.2%인 것으로 나타났다.

1. 서 론

1.1 연구배경

광해는 광구(鑛區)의 형성과정에서부터 광물의 최종 제품생산까지 폭넓은 범위에서 발생하는데, 석탄광산의 선탄장에서 발생하는 분진도 광해(鑛害)의 한 영역에 포함되어 다루어져야 할 대상이다.

일반적으로 대기 중에 존재하는 분진의 크기는 0.001~500 μ m 정도이나 사람이 흡입한 분진 중에서 입자의 크기가 큰 것과 아주 작은 것은 몸의 움직임에 따라 다시 몸 밖으로 배출되거나 폐 중에 침착되기 쉽고 침착된 양이 많아지면 점차적으로 폐의 기능을 약화시켜 진폐로 진행되기도 한다.

통상적으로 “산업안전보건법의 산업안전설비에 관한 기술지침” 중 공기정화장치를 선정하는데 고려해야 할 필요요소는 유해물질의 종류, 발생량, 입자의 크기, 형태, 밀도, 온도 등인데, 이중 입자의 크기는 침강속도와 관계되는 중요한 요소로서 집진시설을 설계함에 있어 제어풍속이나 제어거리 등을 결정

하는데 중요한 자료로 사용될 수 있다.

이에 본 연구는 석탄광산의 선탄과정에 투입된 장치(파쇄, 입도분리, 이송 및 집진기)들에서 발생하는 분진의 입도(Size) 및 입도분포 특성을 파악함으로써 집진시설의 설계와 시공에 적용할 참고자료로 제시하고자 한다.

1.2 연구내용

국내 대기오염 방지와 관련한 법 및 규정(산업안전보건법, 노동부 고시 및 광산보안법 등)에 대한 문헌조사를 토대로 현장조사에 연구의 중점을 두었다.

현장조사에는 국내의 석탄광산 2곳에서 운용중인 선탄장을 대상으로 생산공정 및 분진처리 설비의 운전현황을 조사하였으며, 집진시설의 설계도, 국소배기장치, 집진방식도 함께 파악하였다.

또한 선탄장을 구성하고 있는 광물 처리장치들[표 1]로부터 발생하는 석탄분진 및 여과집진기에 포집된 분진을 채집하여 그들 입자의 크기 및 분포를 파악하였다.

[표 1] 파쇄 및 선탄장 내 광물처리 설비

처리설비명	처리설비 용도
파·분쇄기 [Crusher, Mill]	광물의 파쇄 및 분쇄
이송설비 [Belt Conveyor]	광물의 제품화 과정 중 각 공정 별로 이송
분급설비 [Vibration Screen]	파·분쇄된 광물을 입도별 구분

3. 발생분진의 입도특성

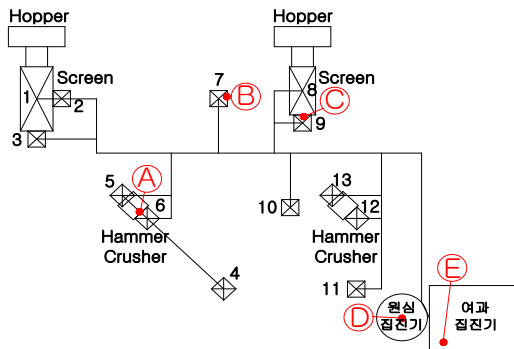
3.1 분진 입도 측정방법

본 연구에서는 분진의 입도 측정은 전자기파의 분산 원리를 적용하여 레이저 편차로 입자 크기 분포를 결정하는 독일 FRITSCH사의 analysette22를 사용하였다.

3.2 TB업체 발생분진의 입도특성

TB업체의 발생분진 채취위치를 [그림 2]에 나타내었으며, 그림에서 보는 바와 같이 시료채취는 모두 5개 지점에서 수행되었다.

각각의 채취위치(J/C - Jaw Crusher, H/C - Hammer Crusher, C/C - Cone Crusher, B/C - Belt Conveyor, V/S - Vibration Screen, 원심 - 원심집진기, 여과 - 여과집진기)에서 발생하는 분진의 입도를 [표 2]에 나타내었고, 이들 분포를 [그림 3]에 그래프로 나타내었다.



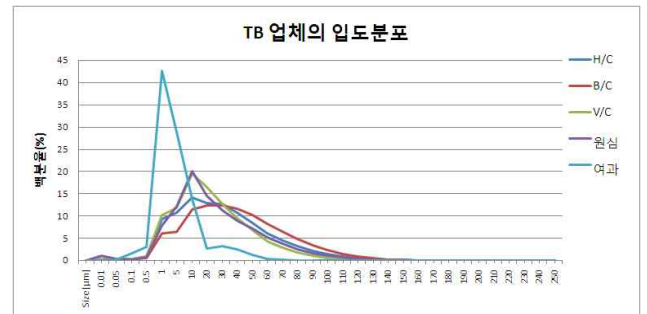
[그림 2] TB업체 선탄장 시설 배치도 및 시료채취 위치

TB업체의 선탄장 장치들로부터 발생하는 분진 및 집진기에 포집된 분진은 [그림 3]에서 알 수 있듯이 1 μ m이하의 미세(微細)입자와 100 μ m이상의 조대(粗大)입자는 전체 발생분진의 입도분포에서 차지하는 비중이 미약한 반면, 특히 5 μ m~80 μ m사이에 분포되는 분진들이 89.2%로 나타나 발생분진의 대부분을 차지하는 것으로 파악되었다. 이들 중 원심집진기에 포집된 분진은 70 μ m이하에서 89.5%인 반면 여과집진기에서 포집된 분진의 90.0%가 20 μ m이하인 것으로 나타났다.

[표 2] TB업체 발생분진의 입도현황(%)

Size [μ m]	H/C	B/C	V/C	원심	여과
0.1이하	0	0.27	1.21	1.38	0.13
0.1~0.5	0.300	0.27	0.27	0.22	1.67
0.5~1.0	0.870	0.58	0.84	0.73	3.07
1.0~5.0	9.350	6.02	10.23	7.94	42.56
5.0~10	10.73	6.42	11.73	12.18	28.85
10~20	14.11	11.41	19.42	20.09	13.74
20~30	12.78	12.27	16.33	14.5	2.63
30~50	23.42	23.91	22.17	20.31	5.67
50~100	24.28	32.9	16.66	20.26	1.68
100이상	3.98	5.95	1.14	2.39	0

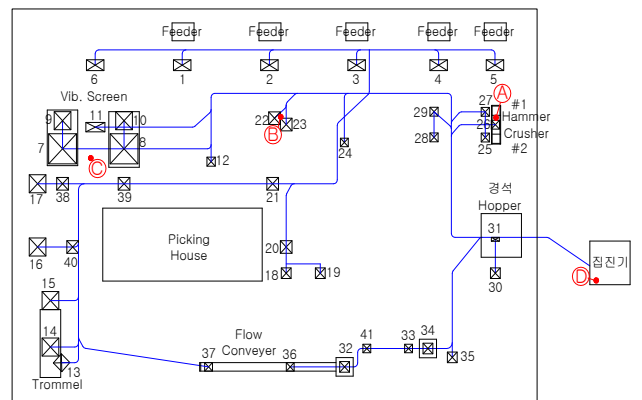
TB업체의 선탄장 장치들로부터 발생하는 분진 및 집진기에 포집된 분진은 [그림 3]에서 알 수 있듯이 1 μ m이하의 미세(微細)입자와 100 μ m이상의 조대(粗大)입자는 전체 발생분진의 입도분포에서 차지하는 비중이 미약한 반면, 특히 5 μ m~80 μ m사이에 분포되는 분진들이 89.2%로 나타나 발생분진의 대부분을 차지하는 것으로 파악되었다. 이들 중 원심집진기에 포집된 분진은 70 μ m이하에서 89.5%인 반면 여과집진기에서 포집된 분진의 90.0%가 20 μ m이하인 것으로 나타났다.



[그림 3] TB업체의 분진 입도분포

4.2.2 SD업체

SD업체의 분진 채취위치를 [그림 4]에 나타내었으며, 그림에서 보는 바와 같이 시료의 채취는 모두 4개 지점에서 수행되었다.



[그림 4] SD업체 선탄장 시설 배치도 및 시료채취 위치

각각의 채취위치에서 발생하는 분진의 입도를 [표 3]에 나타내었고, 이들 분포를 [그림 5]에 그래프로 나타내었다.

[표 3] SD업체 발생분진의 입도현황(%)

Size [μm]	J/C	B/C	V/S	여과
0.1이하	0	0	2.16	2.05
0.1~0.5	0.36	0.42	0.32	0.57
0.5~1.0	0.9	1.13	1.11	1.9
1.0~5.0	9.41	13.56	14.92	26.54
5.0~10	9.01	12.37	13.65	31.58
10~20	13.89	17.76	22.76	26.81
20~30	13.61	13.54	18.44	6.78
30~50	23.31	21.82	19.43	3.13
50~100	21.62	18.85	7.17	0.64
100이상	7.89	0.55	0.04	0

SD업체의 선탄장 장치들로부터 발생하는 분진 및 집진기에 포집된 분진은 [그림 5]에서 알 수 있듯이 $1\mu\text{m}$ 이하의 미세입자와 $100\mu\text{m}$ 이상의 조대입자는 전체 발생분진의 입도분포에서 차지하는 비중이 미약한 반면, 특히 $5\mu\text{m}\sim 70\mu\text{m}$ 사이에 분포되는 분진들이 89.6%로 나타나 발생분진의 대부분을 차지하는 것으로 파악되었다. 이들 중 여과집진기에 포집된 분진의 입도는 $30\mu\text{m}$ 이하에서 96.2%인 것으로 나타났다.



[그림 5] SD업체의 분진 입도분포

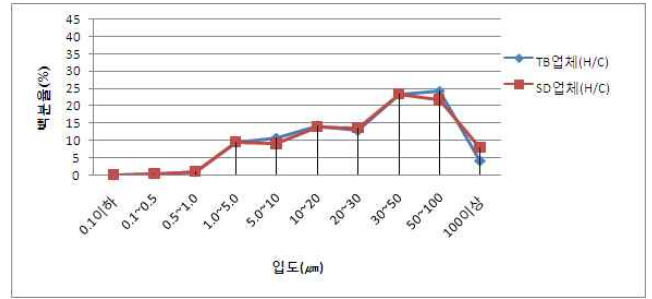
4. 공정별 발생분진의 입도특성

4.1 파쇄 및 이송공정에서의 입도분포 특성

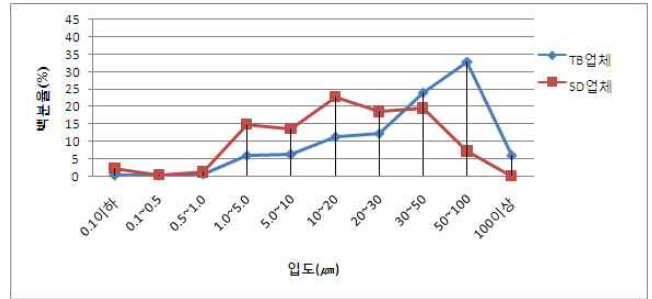
파쇄공정에는 Hammer Crusher가 사용되고 있으며, 이송공정에는 대부분 Belt Conveyor가 사용된다.

[표 4] 업체별 파쇄 및 이송공정에서 발생하는 먼지 입도분포

입도	파쇄공정		이송공정	
	T B	S D	T B	S D
0.1이하	0.00	0.00	0.27	2.16
0.1~0.5	0.30	0.36	0.27	0.32
0.5~1.0	0.87	0.90	0.58	1.11
1.0~5.0	9.35	9.41	6.02	14.92
5.0~10	10.73	9.01	6.42	13.65
10~20	14.11	13.89	11.41	22.76
20~30	12.78	13.61	12.27	18.44
30~50	23.42	23.31	23.91	19.43
50~100	24.28	21.62	32.90	7.17
100이상	4.16	7.89	5.95	0.04



[그림 6] 파쇄공정 입도분포 그래프



[그림 7] 이송공정 입도분포 그래프

파쇄공정에서 발생하는 분진의 92.76%가 $1\mu\text{m}$ 이상에서부터 $100\mu\text{m}$ 사이에서 대부분이 분포하고 있으며, 이들 중 장기간에 걸쳐 부유하는 입자상물질의 크기인 $10\mu\text{m}$ 이하 분진은 평균 20.47%를 나타내었다. 또한 대기 흐름에 따라 운동하는 $1\mu\text{m}\sim 20\mu\text{m}$ 사이의 분진은 평균 33.25%로 나타났고 침전속도가 빨라 대기 중 체류시간이 짧은 $20\mu\text{m}$ 이상의 분진은 65.53%였다. 상대적으로 $20\mu\text{m}$ 이하 분진은 34.47%이다.

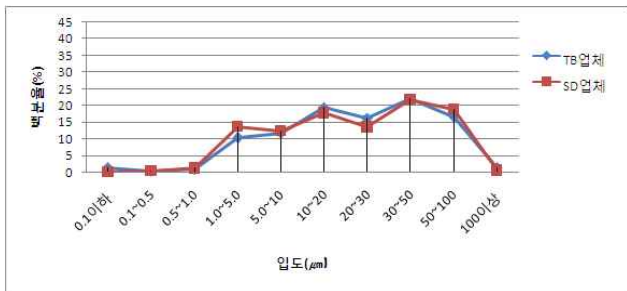
이송공정의 Belt Conveyor 전환점에서 발생하는 분진의 94.65%가 $1\mu\text{m}$ 이상에서부터 $100\mu\text{m}$ 사이에서 대부분이 분포하고 있으며, $10\mu\text{m}$ 이하 분진은 평균 22.86%를 나타내었다. 또한 $1\mu\text{m}\sim 20\mu\text{m}$ 사이의 분진은 평균 37.59%로 나타났고 대기 중 체류시간이 짧은 $20\mu\text{m}$ 이상의 분진은 60.06%였다. 상대적으로 $20\mu\text{m}$ 이하 분진은 39.94%이다.

4.3 입도분리공정 및 집진기의 입도분포 특성

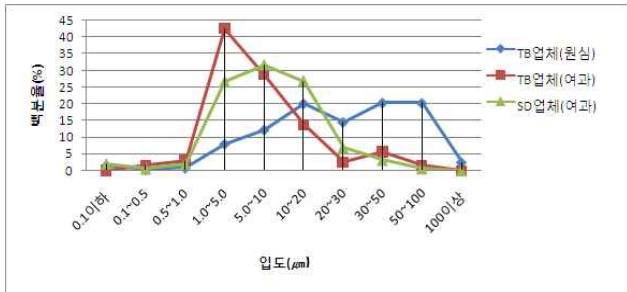
Vibration Screen을 사용한 입도분리공정과 집진기(원심, 여과)에서 채취한 분진의 입도특성은 입도분리공정의 Vib. Screen에서 발생하는 분진의 99.16%가 $1\mu\text{m}$ 이상에서부터 $100\mu\text{m}$ 사이에서 대부분이 분포하고 있으며, 이들 중 $10\mu\text{m}$ 이하 분진은 평균 25.88%를 나타내었고, $1\mu\text{m}\sim 20\mu\text{m}$ 사이의 분진은 평균 42.53%로 나타났다. $20\mu\text{m}$ 이상의 분진은 55.53%였다. 상대적으로 $20\mu\text{m}$ 이하 분진은 44.47%이다.

[표 6] 업체별 입도분리공정 및 집진기(원심, 여과)에서 발생하는 먼지 입도분포

입도	업체	입도분리공정		집진기		
		T B	S D	T B		S D
				원심	여과	여과
0.1이하		1.21	0.00	1.38	0.13	2.05
0.1~0.5		0.27	0.42	0.22	1.67	0.57
0.5~1.0		0.84	1.13	0.73	3.07	1.90
1.0~5.0		10.23	13.56	7.94	42.56	26.54
5.0~10		11.73	12.37	12.18	28.85	31.58
10~20		19.42	17.76	20.09	13.74	26.81
20~30		16.33	13.54	14.50	2.63	6.78
30~50		22.17	21.82	20.31	5.67	3.13
50~100		16.66	18.85	20.26	1.68	0.64
100이상		1.14	0.55	2.39	0.00	0.00



[그림 8] 입도분리공정 입도분포 그래프



[그림 9] 집진기(원심, 여과) 입도분포 그래프

TB업체의 원심집진기에 포집된 분진의 97.61%가 1 μ m이상에서부터 100 μ m 사이에서 대부분이 분포하고 있으며, 이들 중 10 μ m이하 분진은 22.45%, 1 μ m~20 μ m 사이의 분진은 40.21%로 나타났다. 또한 20 μ m이상의 분진은 57.46%이며, 상대적으로 20 μ m이하 분진은 42.54%이었다.

여과집진기에 포집된 분진은 1 μ m이상에서부터 100 μ m 사이의 분진은 평균 95.31%로 분진의 대부분을 차지하였으며, 10 μ m이하 분진은 평균69.46%, 그리고 1 μ m~20 μ m 사이의 분진은 평균 85.04%였다. 20 μ m 이상 분진은 평균 10.27%이었으며, 상대적으로 20 μ m이하 분진은 89.73%로 나타났다.

5. 결론

업체별 선탄장 장치들로부터 발생하는 분진의 입도분포특성을 조사한 결과 TB업체 및 SD업체 공히 1 μ m이하의 미세입자와 100 μ m이상의 조대입자는 전

체 발생분진에서 미약한 분포를 차지하는 것으로 파악 된 반면 TB업체의 선탄장 장치들로부터 발생하는 분진의 89.2%가 5 μ m~80 μ m 사이에 대부분 분포하는 것으로 나타나 원심집진기에서 70 μ m이하 (89.5%)의 분진이, 여과집진기에서는 20 μ m이하 (90.0%)의 분진이 포집되는 것을 알 수 있었다.

또한 SD업체에서는 발생하는 분진의 89.6%가 5 μ m~70 μ m 사이에 대부분 분포하고 있으며, 여과집진기에 포집된 분진 중 96.2%가 30 μ m이하인 것으로 분석되어 SD업체 집진시설의 주요 포집 대상 입도가 30 μ m이하인 것을 알 수 있었다.

각 공정별로 발생하는 분진에 대한 분석결과는 파쇄공정에서 발생하는 분진의 92.76%(이하 %는 평균 값임)가 1 μ m~100 μ m 사이에 분포하고 있음을 알 수 있었고, 침전속도가 빨라 대기 중 체류시간이 짧은 부유훈성을 갖는 20 μ m이상의 분진은 65.53%, 상대적으로 20 μ m이하 분진은 34.47%로 나타났다. 또한 이송공정에서 발생하는 분진은 대부분 1 μ m~100 μ m사이에 94.65%가 분포하며, 20 μ m이상의 분진은 60.06%, 20 μ m이하 분진은 39.94%로 분석되었다. 입도분리공정에서는 발생분진 중 1 μ m~100 μ m사이에서 99.16%를 나타내었고, 20 μ m이상이 55.53%, 20 μ m이하가 44.47%로 파악되었다. 원심집진기에 포집된 분진은 97.61%가 1 μ m~100 μ m 사이에서 대부분 분포하고 있으며, 20 μ m이상의 분진은 57.46%이며, 상대적으로 20 μ m이하 분진은 42.54%였다. 여과집진기 또한 1 μ m~100 μ m사이에 포집분진의 대부분인 95.31%가 분포하고 있으며, 20 μ m이상 분진은 평균 10.27%이고 20 μ m이하 분진은 89.73%로 나타났다.

집진시설의 설계에 있어 적절한 분진의 입도를 제시하는 것은 설계의 중점을 어디에 두느냐에 따라 달라진다. 이는 대기 환경적으로나 인체 피해 측면에서 20 μ m이하의 먼지를 포집하는 것이 포집 효율적인 면에서도 바람직할 것으로 판단되지만, 인체에 가장 유해한 0.5 μ m~5 μ m사이의 호흡성 분진만 포집할 것인지, 아니면 작업공간인 선탄장의 근로환경(시각적 혐오)을 염두에 둔 조대(粗大)입자까지 포집하는 설계를 할 것인지는 각 광산의 선탄장을 운영하는 업체의 선택이기 때문이다.

참고문헌

- [1] 권현호 외, "광해방지공학", 동화기술, 2007.
- [2] 신은상 외, "산업환경기술", pp. 29-39, 1월, 2003.
- [3] 2006년 가행광산현황-광산보안사무소.