日 本 鉱 業 会 誌

第71巻 第801号 昭和30年 3 月

★★ 論 文・報 告 ★★

浮遊粉塵測定に関する研究*

正 会 員	伊	木	正	二**
准 会 員	田	尻	昭	英***
准 会 員	大	場	重	美***

Study on Measurement of Airborne Dust

Syôji IKI, Akihide TAZIRI and Sigeyosi ÔBA

We produced the measuring instrument of airborne dust using photo-tubes, and compared with konimeter and tyndalloscope in our laboratory and the Kamioka mine. Konimeter allows only the quantitative measurement of dust and its measurement is very trouble. Optical instruments of the tyndalloscope and photo-tube type have a useful field of application where rapid surveys are to be made underground. However these instruments have the uncertainty of the theoretical principles on which the method of measurement is based.

1. 緒 言

近年珪肺問題が大きく取上げられるようになり、また炭塵発生量の問題も炭坑においては、甲種乙種の区分上重要な問題となつて来た。それにはまず、浮遊粉塵の測定法が問題になる。世界各国共これが研究に努力しているが、従来主として使われている浮遊粉塵の測定法は計数法及び重量法で、その中でもコンメータによる計数法が最も多いようである。わが国鉱山炭鉱においても労研式及び粉研式コンメータが広く使用せられ、それによる測定結果で、珪酸質地域その他の粉塵量を論議している場合が多い。しかし、これらコンメータによる測定結果

は、同じ状態と考えられる箇所においても、器械により、また測定者によりかなりの相違があり、いずれを信用して良いか判らぬ場合さえある。その上、測定が非常に面倒なことで、珪肺に関係が深いと考えられる 1μ 以下の粒子は400倍、600倍の普通の顕微鏡では計数が極めて困難であるという欠点をもっている。

インピンジャの如き重量法では、採取する粉塵試料の重量が容器の重量に比して極めて少ないため、その測定誤差が大きくなる欠点がある。

これに対して光学的測定法として、チンダロスコープがある。これは光源を一定にしておく必要があり、この調整に細心の注意を必要とする。この計器は計測操作は容易であるが、高価であつてまだ一般的でない。また光電効果を利用して浮遊粉塵の計測を行う実験が行われ、わが国でも米田博士が先にこの方法を発表しておられるが、われわれもこの原理を用い、更に精度の高い、しかも安価なものを作る目的で、研究を行った。

* 昭和29年12月17日受理

** 工博 東京大学教授 鉱山学教室

*** 通産省技官 資源技術試験所第6部

1) Dust Sampling, measurement and analysis, Coll. Eng. May 1954 p. 199~203

2) 米田勝彦：光電池型浮遊炭塵測定器、札幌石炭坑爆発予防試験所研究報告2巻4号

2. 実験装置

2.1 粉塵試料

(1) 炭塵：石炭試料として磐城炭及び上山田炭の塊炭を取出し、これをジョークラッシャ、ディスククラッシャで粉碎し-250メッシュのものを更に磁製ボールミルにかけて出来るだけ細かくするようにした。これをデシケータに入れ1週間以上放置した。それを日本セメント技術協会型風篩器を用いて風篩分析した結果、粒度分布は次の通りである。

	-15 μ	-20 $\sim$ +15	-30 $\sim$ +20	-40 $\sim$ +30	+40
磐城炭	12.89	11.84	9.34	16.69	49.24
上山田炭	13.25	8.59	17.09	13.75	47.32

(2) 珪砂粉塵：ビルマ産の珪砂をボールミルで約4時間粉碎し、これに塩酸を加えてボールミルの鉄分その他の不純物を除去した後、水篩によつて10 μ 以下の試料を採取、更に塩酸を除くために3回水を加えて繰返し沈澱乾燥させたもので水篩及び顕微鏡下の観測により2 μ 以下の小さい粉塵は試料重量の約5%であつた。

2.2 粉塵室

M₁ M₂: 電動機 B: プロアー F: 扇風機 W: 試料台
G: ガラス K: コニメータ差込口

第1図 粉塵室及び粉塵計測器の構造 (単位mm)

本実験に用いた粉塵室の構造は第1図に示す。試料は天秤により秤量し、試料台上におき、プロアーの電動機及び攪拌のための扇風機用の電動機は同時にスイッチを入れ、30秒攪拌してスイッチを切るようにした。毎回の試験に先立つて前方の戸を開放し、扇風機を回転して粉塵を追出し、約30分の静止時間を置いて次の試験に取掛るようにした。粉塵室内はつや消しの黒ペンキを塗り暗黒にした。

2.3 粉塵計測器

第1図に示すように光源よりの光を平行光線として同種の2箇の光電管に受け、その一方の光線が粉塵室内を通るようにする。粉塵室内に粉塵が浮遊していない時にマイクロアンメータの読みが零となるよう抵抗によつて調整し、粉塵の存在による両光電管の電流の差をメータに読み得る程度に増幅した(第2図)

第2図 光電管粉塵計測用増幅器配線図

3. 実験方法

3.1 予備試験

粉塵室内の粉塵の浮遊状態を調べる目的で、粉塵室床面の対角線上に約15cmの間隔にデッキグラスを置き、前記方法で粉塵1gを浮遊させ、3分間自然沈降させデッキグラス上の沈降粉塵を150倍顕微鏡で計数した。顕微鏡視野内(0.0144mm²)の粒子数は、3回の試験の結果4箇所の点でそれぞれ平均204, 234, 301, 470箇所を示した。また一方光電管光路に直角に4板のガラス板を立てこのガラス板に附着する粉塵粒子を計測したが、同じ顕微鏡視野内で平均97, 78, 79, 77となつたので粉塵室内の攪拌は比較的均一になつているものと見做した。

3.2 粉塵沈降試験

上記資料を天秤によりそれぞれ1.5, 1.0, 0.75, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1g秤量し、これを試料台の上に載せ前記の方法で粉塵室内に浮遊させ、その沈降状態を光電管計測器により測定し、更に同じような状態において粉研式コニメータを用いて観測を行った。

3.3 光電管計測器とコニメータとの比較試験

光電管式試作計測器と粉研式コニメータの計数値との間の関係を見るために0.5, 0.3, 0.1gの珪砂粉塵を飛散

させ1分毎にそのマイクロンメータの読みと同時にコンニメータによつて試料を採取し400倍の顕微鏡で計数を行った。

粉研式コンニメータの使用に当つては粉塵室の関係上、光線通路附近の空気を吸引するために、コンニメータの給湿素焼筒の先に更に長さ20cmのパイプを接続し、円筒中に充分試料空気が入るようにゴムの吸引環を充分に作動させて試料を採つた。円筒は粉塵室天井にある径5cmの穴から入れた。

同様の試験を上山田炭についても行った。

3.4 現場試験

光電管粉塵計測器を携帯用に改良し、昭和29年11月29、30日に神岡鉱山栃洞坑の坑内で、試作器とチンダロスコープ、粉研式コンニメータとを同一箇所と同時に使用して比較試験を行った。

4. 実験結果

4.1 沈降試験

磐城炭、上山田炭の炭塵試料による沈降状態をコンニメータにより計測した結果の一例を第3図に示す。また光電管計測器による測定結果を第4図及び第5図に示す。

珪砂粉塵による沈降状態をコンニメータ及び光電管計測

第3図 炭塵沈降曲線(コンニメータによる)

第4図 磐城炭塵沈降曲線(光電管計測器による)

第5図 上山田炭塵沈降曲線(光電管計測器による)

第6図 珪砂粉塵沈降曲線(コンニメータによる)

第7図 珪砂粉塵沈降曲線(光電管計測器による)

器を用いて測定した結果を第6図及び第7図に示す。

第5図及び第7図において、各試験毎に沈降曲線が多少弯曲する傾向を示している。これは浮遊後3~4分までに大きな粒子が沈降するため、粒子数に比して計器の読みの減少が大きく、その後は小さな粒子が沈降するので、粒子数に比して計器の読みの減少は小さくなるものと考えられる。

4.2 光電管式試作計測器とコンニメータとの比較試験

3.2の測定結果より試作計測器のメータの読みと、これに対応するコンニメータの計数値との関係を示すと第8図及び第9図の通りである。コンニメータの計数値の間に

は第4図及び第6図に示したのと同じように、相当の浮動が見られるが、しかも図においては一応相関関係が見られる。

第8図 コニメータと光電管計測器との関係
(上山田炭塵)

第9図 コニメータと光電管計測器との関係(珪砂粉塵)

また図から判るように、計測器の読みの低い方ではコニメータ計数値の傾向線が寝ているが、大きくなるにしたがつて立つて来る傾向が見られる。このことは従来しばしばいわれているように、浮遊粉塵数が多いときは、コニメータの計数値が実際よりかなり低く表われることを裏付けるものと思われる。

4.3 現場試験

神岡鉱山における現場試験の結果を第10図及び第11図に示す。また両図において、コニメータの等しい計数値に対して、チンダロスコープおよび光電管計測器の読みがかなり異った値を示している。これは第10図は母岩の片麻岩中のさく岩の場合であり、第11図は本地鉱床と呼ばれる灰鉄輝石を主脈石とし、スカルン鉱物として緑簾石を伴っている鉱床中のさく岩の場合であつて、岩石の相違によるものと考えられる。しかし、いずれの場合にも試作計測器とチンダロスコープとは大体似た傾向を示している。

5. 理論的考察

今一光源から一定量の光を出し、それを光電池または

第10図 神岡鉱山における試験(掘場さく岩中)

第11図 神岡鉱山における試験(追切さく岩中)

光電管によつて受けた場合 I_0 の電流が流れたとし、濃度 ρ g/l の溶液の長さ l cm の液層を通過して流れる光電流を I_t とすれば

$$I_t = I_0 e^{-k\rho l}$$

なる関係のあることを Lambert-Beer が明らかにしている。ここに k は吸収係数と呼ばれるもので、物質および光源によつて異つた値を示す。米田博士は空気中の浮遊粉塵についてもこの関係が成立するという仮定の下に、実験的に $k = 0.062$ を求め、 ρ の算出を行つている。

また Simon 等は理論的に一樣な大きさの不透明球状粒子によつて、光の強さは次のような対数式によつて変化することを報告している。

$$I = I_0 e^{-n\pi r^2 l} = I_0 e^{-\frac{3\rho l}{4mr}}$$

ただし I_0 : 吸収物質のない場合の光の強さ

n : 粒子数

l : 粒子浮遊空間の距離

ρ : 単位体積の粉塵濃度

m : 粒子の密度

r : 粒子の半径

しかし、これらの式は理論的なものであつて、実際の測定に当つては更に複雑な要素が加わるであろう。すなわち浮遊粉塵の種類及びその形状、光の散乱の問題、粉塵の重なりによる実際上の投影面積の減少、粉塵表面間における乱反射、水蒸気、煙の影響等が考えられる。これらの原因により未だ、試作の光電管粉塵計測器の理論

については、充分なる解析を行ない得ない次第である。

6. 結 論

コニメータによる測定では 0.5μ 以下の小さな粒子の計数は顕微鏡の400~600倍の倍率ではほとんど不可能であり、かつ浮遊粉塵中にはこのような微粒子は数十%以上あるので、コニメータによる計数値のみで粉塵濃度を論ずることは適当でないように思われる。また一定量の試料を試料台においてこれをブローで吹かせて浮遊させたが、実際に浮遊した量はその中の数%に過ぎず、他はすべて粉塵室の床面に沈積したり、側壁、天井に附着してしまうので、浮遊粉塵の絶対量を求めることができなかった。チンダロスコープにおいても濃度の単位は明示されておらず、単に濃度の比率を示すようにしてある。したがって将来重量法等何等かの方法により浮遊粉塵の濃度を決定する必要がある。また光電管計測器によれば当然試料の種類により異った測定値が得られるので

これらについて今後研究を続けると共に、更に小型で携帯に便利な粉塵計を試作したいと考えている。

謝 辞

本研究に際し、終始御援助を賜った資源技術試験所黒川真武所長、三輪忠利部長、古谷敏夫課長、実験に協力して戴いた東大工学部鉱山学教室吉田虎之助、杉本三喜男、田辺俊弥教官始め採鉱実験室の各位に感謝の意を表す。なお現場試験に際しては神岡鉱業所の関係各位に併せて御礼を申上げる次第である。

本研究費の一部は科学試験研究費による。

参 考 文 献

- W. M. Cumming, W. H. S. Massie and P. D. Ritcher : Physico-Chemical Studies on the Dusts. Jour. Applied Chem. 2 July, 1952
Deutschen Ingenieur-Verlag GmbH. : Handbuch der Stanbtechnik. I.
G. Broomhead and J. T. Burdekin : A Study of the Leitz Tyndallometer (Safety in Mines Research Establishment) Research Report No. 61.

ソ連の坑内空気の粉塵抑制

A. A. Skotschinskij : Staub-kontrolle der Wetter silikosegefährdeter Gruben (Bergbau Technik Heft 7, 1953)

ソ連では珪肺に対して広範な実際の計測が発達し、浮遊粉塵抑制の研究が行われている。浮遊粉塵抑制のための空気の試験には、次の方法に基いた物理的、化学的作用をもった装置により行われている。

1. 重量法, 2. 抵抗法, 3. 濃縮法,
4. 洗滌法, 5. 沈澱法, 6. コニメータ法, 7. 温熱法, 8. 光学法, 9. 電気法, 10. 電子法

珪肺の病理学上の見地から浮遊粉塵の抑制については次のような結論を与えている。

a) 空気中に浮遊する細い粉塵 (mg/m^3) は 10μ より小さく、主として $5\sim 0.2\mu$ または 0.1μ 、恐らくもつと小さいものである。

b) 空気中に浮遊する粉塵の粒度分布を知らなければならない。

c) 岩石学的、鉱物学的粉塵組成および有害成分(特に遊離石英)の含有量を知らなければならない。

坑内空気中に浮遊する粉塵の怨恨度は国によって異り、空気中の浮遊

粉塵の重量、単位空気量中の粉塵粒子数等によって示している。ソ連では珪肺危険粉塵の重量基準は $2\text{mg}/\text{m}^3$ 以上と決められ、これは 1cm^3 中に 2μ 以下の粉塵粒子 200~300 箇に相当するとされている。

南アフリカでは、85%の SiO_2 を含む岩石のところでは 1cm^3 中 5μ 以下の粉塵粒子 300 箇を基準としている。

米国では空気中の浮遊粉塵の怨恨度は法的には決められていないが、実際には Wiskonsin 基準というものを使用している。それは浮遊粉塵中の遊離 SiO_2 の%に基いて変化し、例えば 100% SiO_2 のとき 1cm^3 の空気中粉塵粒子 175 箇としている。

坑内空気中の粉塵抑制の試験に色々な計器が使われている。すなわち、コニメータ、綿、紙等の繊維質を使用した濾過装置、温熱式粉塵計、インピンジャ等である。

これらの装置はいずれも、粉塵粒子の真実量、粒塵の粒度組成ならび

に粉塵重量濃度を正確に決定するようにはできていない。それらは、粉塵浮遊空気を調査する時に全粉塵を捕捉することができず、あるものは主として細いもの、あるものは粗い粉塵を集めるに過ぎない。

最も能率的なものは温熱式粉塵計で、これは 90% またはそれ以上の粉塵捕集率を示す。最も不正確なものはコニメータで、時にはガラス上に附着する粉塵は、実際の浮遊粉塵の 20~30% に過ぎないことがある。

Witwatersrand の坑内の主要通気坑道の空気についてコニメータと温熱式粉塵計とを同時に試験した結果を見ると、前者は 170 箇/ cm^3 、後者は $1,020$ 箇/ cm^3 を示している。これはコニメータが $4\sim 2\mu$ の粉塵粒子は温熱式と同様に有効に捕捉しているが、 1μ 以下の粉塵はほとんど捕捉していないためであった。

今後、更に忍耐強い広範な研究が必要である。(伊木)