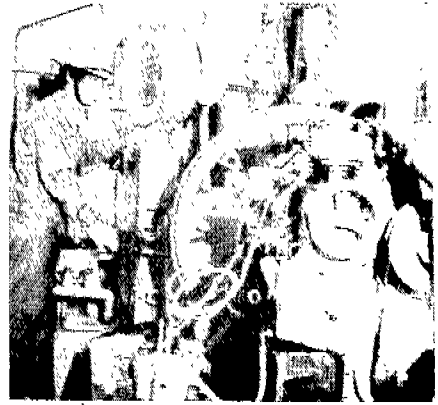


電氣設備의 溫度管理



요즘 사회, 경제, 산업 등의 각分野에서 급속한 變革이 이루어지고 있다. 이것은 모두가 OA, FA, HA라고 하는 ME 기술의 高度의 발전과 이것을 구사한 製品(상품) 또는 노우하우의 광범한 普及에 의한 것이라고 할 수 있다. 이같은 변혁을 뒷받침하고 있는 것은 電氣 에너지의 질적, 양적인 면에 걸친 안정공급과 전기설비의 高精度의 보수 운영에 있다고 하겠다. 현대사회는 電氣의 安定供給이 필요불가결의 것으로 되어 있으며 이 요구는 해마다 그 중요성을 더해가고 있다. 특히 電氣設備의 사고, 고장 등으로 인한 불시의 停電(순시정전을 포함)은 전기를 소비하는 쪽에서는 극히 곤란한 사태이며 크게 손실이 수반되는 수도 있다. 이와 같은 환경하에서 電氣設備의 유지, 운영을 담당하는 사람의 책무는 종래보다 더욱 무거운 바 있고 高精度의 신뢰성이 높은 유지, 운영이 절실히 요망되고 있다.

電氣設備의 사고, 고장의 대부분은 이상온도 상승에 의한 過熱이 原因 또는 誘因으로 되어 있다. 전기설비의 적절한 溫度管理를 실시하고 온도상승이 발생하는 요인을 정확히 파악함으로써 사고, 고장으로 이르기 전에 初期의 처치가 가능해진다. 溫度管理는 예방보전의 방법의 하

나로서 크게 효과를 기대할 수 있기 때문에 근년에 매우 많이 채용되고 있다.

여기서는 電氣設備의 온도관리에 사용되는 機材에 대하여 설명하기로 하는데, 일상적인 보수, 운용에 참고하기 바란다.

1. 溫度의 測定方式

온도를 측정하는 방법으로서서는 水銀(알콜) 溫度計, 熱電對, 더미스터 등과 같이 온도검출부를 測定對象物(대상장소)에 직접 접촉시켜 온도를 측정하는 접촉방식과 온도를 측정하려고 하는 대상물(대상장소)에 직접 接觸하지 않고 그 물체(장소)에서 放射되고 있는 방사 에너지나 電磁的 성질을 이용하여 온도를 측정하는 非接觸方式이 있다.

○接觸方式은 온도검출부의 접촉조건에 의한 측정치의 변동이 생기지 않는 경우, 접촉에 따른 熱擾亂 등이 발생하지 않는 경우, 극도로 高溫 또는 低溫이 아닌 경우, 접촉이 위험하지 않은 경우 등에 채용되고 있는 방식이다.

○非接觸方式은 熱容量이 작은 물체를 측정할 경우에 피측정물체가 高所 또는 遠距離에 있을 경우, 온도검출부가 파손될만큼 극도의 高溫 또

는 저온인 경우, 고압전기설비 등 접촉시키는 것이 위험한 경우 등 주로 접촉방식으로는 대응이 곤란한 영역에서 채용된다. 표 1에 接觸方式과

非接觸方式의 특징을 들었다.

2. 示温材 사용에 의한 温度管理

示温材란 통칭 더머라벨(더머워펜), 더머테이프, 더머크레용, 더머페인트 등으로 명칭되고 있는 溫度表示材의 총칭이며 접촉방식에 속하는 것이다. 시온재는 온도관리대상 전기공작물에 대하여 電氣工作物의 경우 충전부, 비충전부의 구별없이 측정장소에 붙이는 것, 칠하는 것, 그리는 것으로 현재의 온도상승의 정도, 과거의 溫度上昇 등을 극히 용이하게 또한 低コスト로 알 수가 있어 광범하게 이용되고 있다. 示温材의 적용가능 온도범위는 $-5 \sim 1,000^{\circ}\text{C}$ 정도까지인데 그 중에서 電氣工作物에 대해서는 $40 \sim 180^{\circ}\text{C}$, $40 \sim 120^{\circ}\text{C}$ 까지의 것이 많이 사용되는 경향에 있다.

가. 더머라벨(더머워펜)

더머라벨(더머워펜)은 示温 엘리먼트(변색하는 부분) 및 이것을 보호하는 皮膜으로 되어 있다. 示温 엘리먼트는 안정성이 있는 溶融性 顔料를 사용하여 이것이 열에 녹는 것을 이용하고 있으며 측정하는 장소의 온도가 소정의 온도에도달했을 경우에 示温 엘리먼트가 변색되어 표시되는 것이다. 保護皮膜으로서의 耐熱性 필름이 사용되고 있으며 시온 엘리먼트가 水分, 油脂類, 주위의 분위기의 영향 등을 받기 곤란하게 되어 있다. 더머라벨의 裏面에는 耐熱性 粘着材가 도포되어 있으며 裏紙를 떼어내기만 하면 측정장소에 부착하여 사용할 수가 있다. 더머라벨은 다음과 같이 분류할 수가 있으며 사용목적, 용도에 따라 여러가지로 구분 사용할 수 있다.

(1) 示温要素에 의한 分類

單·要素形, 複要素形이 있으며 복요소형은 2~5요소형으로 분류된다. 단일요소형은 일단 變色되면 다시는 원상대로 되지 않는 非可逆性이 많은데 복요소형은 비가역성의 것과 비가역성, 가역성이 혼합된 것이 있다.

(2) 使用場所에 의한 分類

〈표 1〉 各 測定方式의 특징

항목 방식	접촉 방식	비접촉 방식
정확히 측정하는 데 필요한 주요조건	<ol style="list-style-type: none"> (1) 검출부와 측정대상 물과의 熱的 접촉을 양호하게 한다. (2) 검출부를 측정대상 물에 접촉시킬때 대상물의 온도에 변화를 주지 않을 것 	<ol style="list-style-type: none"> (1) 측정장소의 방사를 정확히 파악한다. (2) 측정장소에서의 放射에너지가 他에서의 영향을 받지 않을 것 (3) 측정장소에서의 방사에너지가 검출부까지 충분히 도달할 것
특징	<ol style="list-style-type: none"> (1) 측정대상물에 접촉시키기 때문에 대상물이 작은 경우에는 대상물의 온도를 변화시킬 우려가 있으므로 어느 정도이하의 크기의 것은 측정이 곤란해진다. (2) 움직이는 물체의 측정은 곤란하다. (3) 응답이 늦기 때문에 온도의 過渡現象 측정은 불가능하다. (4) 측정대상물이 面的인 넓이가 있는 경우에는 많은 검출부가 필요하다. (5) 많은 측정대상물을 측정할 때에는 번거롭다. (6) 내부온도의 측정이 비교적 용이하다 (7) 정확성을 필요로 하는 측정이 비교적 용이하다. (8) 비교적 값이 저렴하다. 	<ol style="list-style-type: none"> (1) 表面의 온도만을 측정할 수 있다. (2) 정확성을 필요로 하는 측정을 할 때에는 충분히 주의해야 된다. (3) 측정시 측정대상물에 악영향을 미치지 않는다. (4) 微小而의 측정이 가능하다. (5) 움직이는 물체의 측정이 가능하다. (6) 응답이 빠르기 때문에 過渡現象의 측정이 가능하다. (7) 線狀, 面狀의 측정대상장소의 측정이 용이하다. (8) 취급이 약간 어렵다. (9) 값이 高價이다.

옥내용과 옥내외용이 있다. 屋外에서 사용할 경우에는 太陽直射光, 風雨의 영향을 받을 우려가 있기 때문에 3년에 한번 정도 교체해야 된다. 한편 옥내에서 사용할 경우에는 5~10년에 한번 바꾸어 붙이면 된다.

(3) 크기, 形狀에 의한 分類

示溫要素의 形狀에 따라 丸形, 角形으로 분류된다. 크기는 1.5mm에서 20mm 정도까지 있다. 小形은 電子機器用, 大形은 特別고압 수변전설비에서 사용된다.

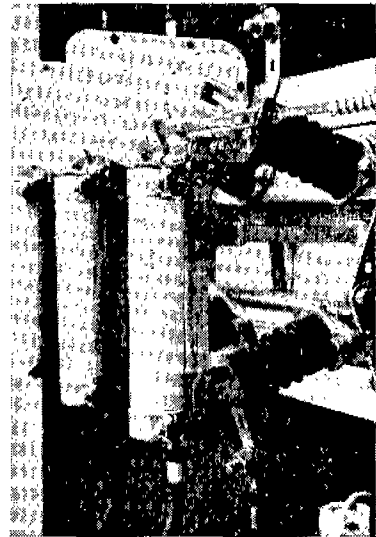
더머라벨은 측정하는 장소에 붙이는 것만으로 간단히 비교적 精度가 높은 溫度表示가 되며 더구나 종류가 매우 많기 때문에 전기설비에서는 特別고압 수변전설비에서 電子機器까지 매우 광범위하게 사용되고 있다. 또한 전기설비 이외의 분야에서도 많이 사용되고 있다. 사진 1에 더머라벨의 外觀을, 사진 2에 使用例를 들었다.

나. 더머크레용

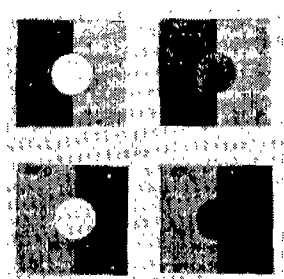
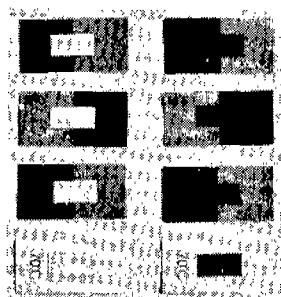
더머크레용은 熱溶解性 化合物을 棒狀으로 固化시킨 것으로 그 形狀이 크레용 또는 초크와 비슷하다. 더머크레용은 측정하려고 하는 물체에 가령 線狀으로 표시를 하고 그것이 녹는지 여부에 따라 管理溫度를 초과했는가의 여부를 판단하는 데 사용된다. 더머크레용은 금속의 熱處理溫度, 爐壁溫度, 플랜트의 증기, 煙道, 熱水配管, 내연기관 등의 온도관리에 사용되는 일이 많으며 전기설비에 사용되는 예는 적다.

다. 더머페인트

더머페인트는 熱變色性 化合物을 液狀(페인트)으로 한 것으로 온도관리를 하려고 하는 물체에 塗布함으로써 페인트의 變色 유무에서 온도상승의 정도를 가늠하는데 사용된다. 可逆性, 非可逆性의 두가지가 있으며 스프레이 등에 의하여 간단히 도포할 수가 있으며 넓은 面, 복잡한 形狀의 面에 대해서도 용이하게 도포할 수 있으므로 기계공작물, 內燃機關, 차량, 加熱爐 등의 온도관리에 사용되고 있는데 電氣設備에 대해서는



〈사진 2〉 더머라벨 使用例(高壓負荷 開閉器端子部に 貼付한 예)



〈사진 1〉 各種 더머라벨의 例

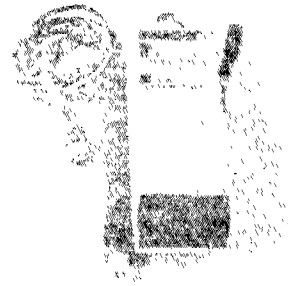
거의 사용되고 있지 않다.

3. 表面溫度計

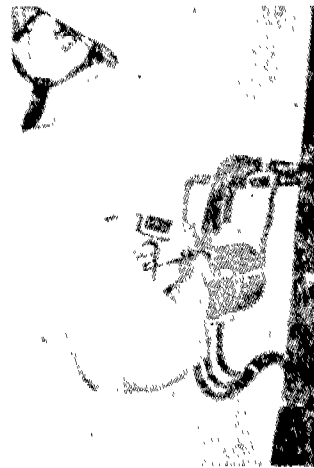
接觸形 溫度計測器의 대표적인 것으로는 표면 온도계가 있다. 표면온도계는 그 명칭이 뜻하는 바와 같이 測定하는 물체의 표면의 온도를 측정하는 計測器로서 온도를 檢知하는 센서部와 計器部로 구성된다. 센서로서는 주로 熱電對가 사용되고 있다. 열전대란 2종류의 다른 金屬線을 접속하여 하나의 閉回路를 만들고 2개의 接合點에 溫度差를 부여하면 金屬線間에 起電力(熱起電力이라고 한다)이 발생하여 電流가 흐른다. 이 관계를 이용하여 金屬의 接合點의 온도와 回路의 기전력과 관계를 명백히 함으로써 온도를 측정할 수가 있다. 이 金屬線의 구성을 말한다. 표면온도계에 사용하는 熱電對로서는 니켈 및 크롬을 주로 한 合金이 사용되고 있으며 이 熱電對는 온도에 대한 直線性이 양호하며 精度, 安定性이 우수하고 熱起電力이 크다는 등의 특징이 있다. 측정범위는 $-10\sim 600^{\circ}\text{C}$ 정도이며 指示應答도 빠르다. 아날로그 表示形과 디지털 表示形이 있으며 사진 3에 그 外觀을 들었다. 전기공작물의 온도를 측정할 경우에는 變圧器나 電動기의 외함, 케이블시스 表面, 低圧 絶緣전선, 絶緣물 표면 등 充電部 이외의 위험성이 없는 부분에 센서 部分을 가볍게 눌러 1~3분정도 計測함으로써 비교적 용이하게 해당 장소의 온도를 측정할 수가 있다. 사진 4에 그 使用例를 들었다. 최근에는 小形이고 운반이 용이한 디지털 表示形이 많이 사용되고 있으며 손쉽게 溫度測定을 할 수 있게 되어 있다. 디지털 表示形의 센서는 열전대 외에 너미스터를 사용한 것도 있다.

4. 放射溫度計

가. 放射溫度計의 原理



〈사진 3〉 表面溫度計의 例 (디지털 表示形)

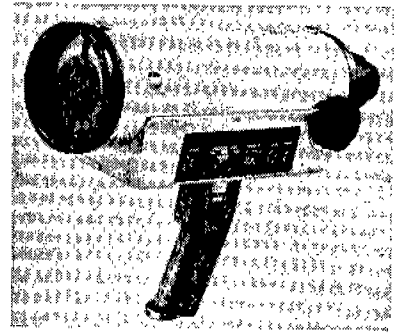


〈사진 4〉 表面溫度計의 使用例

모든 물질은 그 溫度에 상당하는 에너지를 放射하고 있다. 다시 말해서 어떤 물체도 絶對零度 이상이면 어떤 波長의 에너지를 放射하고 있는 것이다. 이 放射 에너지는 그 물질의 온도와 일정한 관계가 있기 때문에 그 放射 에너지를 檢知함으로써 그 물체의 온도를 알 수가 있다. 이것은 *1원의 變位則이나 *2스테판·볼츠만의 法則, *3플랑크의 法則에 의하여 설명되고 있다. 이것이 放射溫度計의 원리이다. 방사온도계로서는 물체에서 방사되는 赤外線을 이용하는 경우가 대부분이며 放射溫度計라고 하면 이 적외선 방사온도계를 말한다.

나. 放射溫度計의 종류

실제로 사용되고 있는 放射溫度計로는 측정하는 장소를 사람의 눈으로 直視 파인더로 잡아서 온도계의 數値를 볼 수 있는 이른바 放射溫度計와 물체에서 방사되는 적외선을 카메라로 촬영하여 물체의 표면 溫度分布를 CRT에 영상으로서 표시하는 이른바 熱圖像 放射溫度計(또는 열화상 온도측정장치)의 두가지가 있다.



(사진 5) 直讀式(스포트形) 放射溫度計
(望遠形)

다. 直讀式(스포트形) 放射溫度計

直讀式 방사온도계는 측정 장소에서 방사되는 赤外線 에너지를 온도계 내로 받아 들여 이것을 受熱板에 모아 그 온도상승을 熱起電力이나 저항치로 변환하여 測溫하는 것으로 $-50 \sim 1,000$ °C 정도까지의 측정이 가능하다. 溫度 센서로서 더미스터보르미터 등이 사용되고 있다. 이 온도계의 測定操作은 극히 용이하며 측정장소를 直視 파인더로 포착하여(조점을 맞춘다) 부속되어 있는 온도계 또는 파인더 내에 표시되는 溫度를 直讀함으로써 용이하게 측정할 수 있다. 이 온도계에는 閉鎖配電盤內 電氣機器, 전동기 브러시·슬립링 등 비교적 근접된 장소(5m 정도 이내)에 시설되어 있는 것을 측정하는 데 적합한 핸드타이프와 특별고압 수변전설비 등 高所, 원거리의 장소에 시설되어 있는 것을 측정하는 데 적합한 望遠 타입의 것이 있다. 두가지 모두 記錄計를 부속시킬 수가 있어 메이터로서 남길 수가 있다. 취급이 용이하고 비교적 精度도 높고 측정치를 直讀할 수 있기 때문에 많이 사용되고 있다. 사진 5에 그 외관을 들었다.

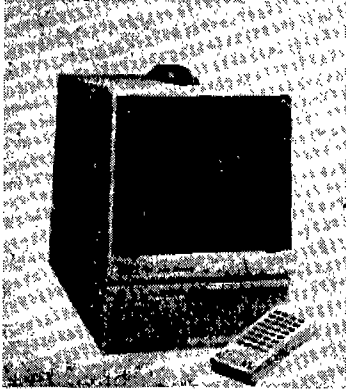
라. 熱圖像 溫度測定裝置

열화상 온도측정장치 또는 赤外線 映像裝置라고도 하는 이 장치는 물체 표면에서 방사되고 있는 赤外線 에너지의 강약에 대응하는 물체 표면의 溫度分布를 영상으로서 CRT(브라운관)에 표시하는 것이다. 이 장치는 기본적으로는 赤外線 에너지를 모아 이것을 電氣信號로 변환하는 溫度檢出部(통칭 카메라라고 한다)와 변환된 전

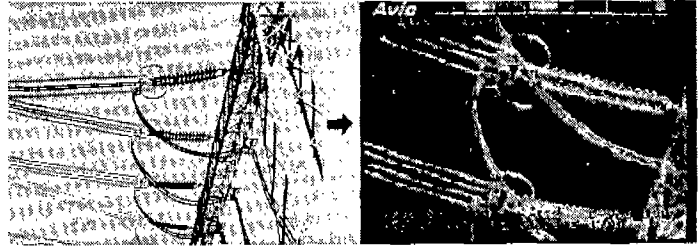
기신호를 처리하는 부분 및 이것을 표시하는 부분으로 구성되며 기타 여러가지 부속품(울선: 可視象合成裝置, 비디오, 컬러프린터 등)도 접속이 가능해졌다. 시스템 構成例를 그림 1에 들었다.

물체에서 방사되는 赤外線의 波長은 $0 \sim \infty$ 인데 통상적인 온도의 측정범위는 $-50 \sim 1,500$ °C이며 人氣의 透過特性이 양호한 영역의 $3 \sim 14$ μm 의 波長이 사용된다(檢知된다). 적외선 검출부(카메라)에는 HgCdTe InSb 등의 특수한 半導體檢知器가 사용되고 있으며 이 부분에서 적외선 에너지를 電了勵起에 의하여 電氣 에너지(신호)로 변환한다. 이 변환을 효율적으로 하기 위해 液體窒素나 아르곤가스가 사용됨으로써 半導體檢知器가 극히 저온상태로 유지되는 것이다. 또한 이 액체질소나 아르곤가스는 소모품이며 이들을 수납하고 있는 容積의 용량에도 좌우되지만 적어도 이 장치는 연속 4시간 정도 이상은 사용할 수 있는 것으로 되어 있다. 사진 6에 裝置의 外觀을 들었고 사진 7에는 熱圖像의 예를 들었다.

이 장치는 측정대상물 표면의 溫度分布를 CRT에 色의 차이로 표시하는 것으로, 온도는 일반적으로 12~16色으로 표시되는데 寒色系는 언더(低溫域), 暖色系는 오버(高溫域)로 설정되는



〈사진 6〉 熱画像溫度測定裝置例
(CRT 및 處理裝置)



〈사진 7〉 CRT에 表示된 熱画像例(우측). 좌측은 實物寫眞

경우가 많다.

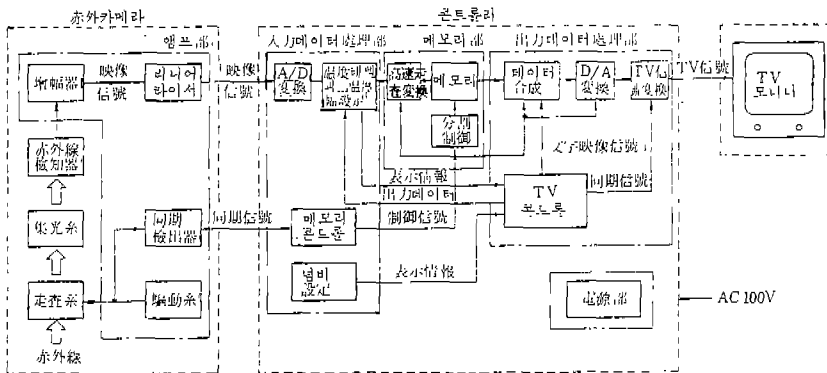
측정은 檢出部(카메라)를 측정대상장소 또는 대상물체로 향하게 하고 일반 카메라와 마찬가지로 초점을 맞추므로써 측정할 수가 있다. 또한 측정 전에 CRT에 표시되는 색 1色當 몇 °C의 록(벤드)을 부여하는지의 설정작업이 필요하다. 이 幅을 작게 하면 세밀한 溫度分布의 色表示가 되고 크게 하면 거친 색표시가 되므로 측정물의 상태 또는 測定目的에 적합하게 설정해야 된다. 熱画像는 사진 7과 같이 익숙해지기까지는 判別이 어려운 것으로 예상되는데 회

수를 거듭해 갈수록 요령을 얻게 된다. 이 불편을 해소하는 것으로 근년에 可視像(實物像)과 熱画像를 合成하여 CRT에 표시할 수 있는 장치도 있어 더욱 測定判定이 용이하게 되었다.

이 장치를 사용할 때의 주의점으로서는 다음과 같은 사항을 들 수가 있다 (이 사항은 다의 直讀式 放射溫度計에도 적용된다).

(1) 放射率의 영향

측정장소의 放射率을 정확히 알지 못하면 참다운 온도측정이 곤란해진다. 방사율은 물체의 放射나 흡수효율을 표시하는데 물체고유의 定數이며 물체의 표면상태, 溫度波長에 따라 변한다. 따라서 測定對象場所에 따라 放射率을 그때마다 補正해야 한다. 장치에는 이 보정기능이 부가되어 있는 것이 많은데 放射率을 간단하게 구하는



〈그림 1〉 熱画像 溫度測定裝置의 構成例

방법은 여러 가지가 있으므로 이를 이용하여 가급적 放射率을 올라가도록 노력하면 測定精度가 올라가게 된다. 이 점에서 직독식 방사온도계는 精度가 약간 떨어진다. 또한 온도의 가늠을 할 수 있는 정도의 것이라면 精細한 放射率의 보정은 필요치 않을 것이다.

(2) 백그라운드의 영향

低温領域(특히 室温 이하) 측정시에는 측정대상개소로부터의 赤外線 에너지가 미약해지기 때문에 공간의 영향을 쉽게 받는다. 또한 옥외에서의 측정시에는 太陽光의 直射나 反射가, 옥내에서도 주위의 물체에서의 反射光이나 迷光(散亂光)이 모두 악영향을 미친다. 이것을 방지하기 위해서는 焦點을 확실하게 맞추고 測定對象場所 근방에 고온물체가 존재할 경우에는 멀리 피하거나 차폐 등의 조치도 필요하다. 또한 太陽光의 영향을 받지 않는 時間帶(가령 야간), 날씨를 선택하는 등의 방책도 있다.

이 장치는 최근에 이르러 기능이 매우 향상되어 精度도 높아졌고 많은 분야에서 각각의 용도에 따라 많이 사용되고 있으며 앞으로 더욱 이용이 확대될 것으로 예상되는데 다만 한가지의 문제점은 장치가 매우 高價라는 것이다.

앞에서 기술한 바와 같이 電氣設備의 보수, 관리에서 溫度管理는 예방보전상 극히 효과적이라고 할 수 있다. 지금까지 소개한 바와 같이 溫度管理機材에는 여러 가지가 있으며 또한 가격 면에서도 저렴한 것에서부터 高價의 것까지 있다. 특히 高價의 것을 사용하지 않아도 충분히 목적을 달성할 수 있는 경우도 상당히 있으므로 충분히 연구하여 시행하도록 한다. 근년에는 無停電이 매우 강력히 요청되고 있으며 이에 대응하는 것으로 非接觸形 溫度測定裝置가 많이 사용되고 있으며 그 위력을 발휘하고 있다. 어떤 機材를 사용하거나 계속해서 관리하는 일이 중요하며 일시적인 것으로 끝내버린다면 무의미하다. 機材를 잘 사용하고 잘 관리하도록 연구해야 될 것이다.

〈참 고〉

*① 윈의 變位則

온도 T[K]의 黑體의 최대방사 에너지 W_m 에 대응하는 波長 λ_m 는 온도 T에 逆比例한다. 따라서 다음 식으로 표시된다.

$$\lambda_m \cdot T = C_3 [\mu m \cdot K]$$

$$C_3 : 2.898 [\mu m \cdot K]$$

*② 스테판·볼츠만의 법칙

절대온도 T의 黑體에서 半球面에 방사되는 에너지는 다음 식에 의하여 구할 수 있다.

$$W = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} W_{\lambda} d\lambda = \sigma T^4$$

W : 단위면적당의 黑體의 全放射 에너지

σ : 볼츠만定數 ($5.673 \times 10^{-12} [W/cm^2 \cdot deg^4]$)

이것이 스테판·볼츠만의 法則이며 방사 에너지 W는 波長과는 상관없이 없으며 절대온도의 4乘으로 결정된다. 이것은 방사 에너지 W를 測定함으로써 그 물체의 온도를 알 수가 있다. 실제로는 0 ~ ∞까지의 파장의 赤外線을 검지하는 것은 불가능하며 반드시 波長特性을 가지고 있다. 따라서 檢知器가 받는 에너지 W는 다음 식과 같이 된다.

$$W_0 = A \cdot \sigma T^n$$

A : 定數

n : 波長特性과 측정온도에 따라 결정되는 定數

黑體 : 入射된 적외선의 모두를 완전히 흡수하는 물질 또는 어떤 온도에서 다른 어떤 물질보다도 放射 에너지가 큰 物質

*③ 플랑크의 법칙

溫度放射의 기초가 되는 法則으로 온도 T[K]의 黑體에서 방사되는 에너지의 波長分布는 다음 식으로 표시된다.

$$W_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 (\epsilon^{C_2/\lambda T} - 1)} [W \cdot cm^{-2} \cdot \mu^{-1}]$$

W_{λ} : 分光(스펙터) 放射發散度

λ : 波長 [μm]

T : 절대온도 [K]

$$C_1 : 3.7415 \times 10^8 [W \cdot cm^{-2} \cdot \mu^4]$$

$$C_2 : 1.438 \times 10^4 [\mu m \cdot K]$$