

# 길이의 標準供給體系

鄭 明 世 (韓國標準研究所 理學博士)

지난 2月 1일부터 2日동안 韓國標準研究所에서 國防部·工業振興廳·韓國防衛產業振興會·韓國標準研究所가 共同으로 開催한 80年度 第1回 防産技術세미나에서 길이標準分野에 대한 講演要旨를 收録한 資料이다 (編輯者 註)

## I. 머리말

길이의 計測을 말하기전에 우선 어떠한 양을 測定한다는 행위, 즉 計測의 중요성을 가장 簡單明確하게 표현한 19世紀 英國의 켈빈(Kelvin) 경의 말을 引用해 보면 “우리가 어떤 양을 測定하여 數値로 나타낼 수 있으면, 그것에 대하여 무엇이냐 알고 있다고 할수 있으며, 測定할 수 없어 數値로 줄수 없으면 그것에 대한 知識은 모호하고 실제로 알수 없다”라는 것이다.

즉, 아무리 高次元의이고 복잡한 科學이라도 결국 計測이라 말할 수 있는 것이다. 이러한 중요한 計測중에서도 옛날부터 우리 人間生活과 가장 밀접한 관계를 맺고 定義되고 發展되어 온 것이 計測이다.

오늘날에 있어서도 길이 및 길이와 관련된 양을 測定하여 그 정확한 값을 알아내야하는 作業은 모든 事業體, 科學系는 물론이요, 우리의 日常生活에서 항상 접하고 있는 중요한 과제 하나이며, 특히 産業體에서 요구되는 모든 測定의 80%이상 이 길이測定으로 추정되고 있다.

그러면 여기서 이와같이 중요한 길이測定の 基本이 되는 길이標準, 즉 그 單位와 基準이 어떻게 변천되어 왔고, 현재 어떻게 使用되고 있나를 간단히 기술해 보도록 하자.

## II. 古代의 길이標準

어떤 物體의 한점에서 다른점까지의 最短距離를 길이라고 한다. 그 거리를 測定하기 위해서는 어떤 基準이 있어서, 그 基準의 몇배로 길이를 나타내게 된다.

옛날 사람들은 우리몸의 일부분의 크기 또는 가까이 있는 物體의 크기를 基準으로 잡았다. 예를 들면 古代에 가장 많이 使用되던 單位의 하나인 큐비트(Cubit)는 가운데 손가락 끝에서 팔꿈치까지의 거리로 定義하였고 現在도 西洋에서 많이 使用되는 피트(Feet)는 엄지 발가락 끝에서 뒷꿈치까지의 거리로 定義하였다.

인치(Inch)는 마른보리 세계를 늘여는 길이로 길(Fathom)은 양팔을 펼쳤을 때, 손가락 끝에서 다른손의 손가락 끝까지의 距離로, 야드(Yard)는 길의 폭의 반으로 定義하였다.

그러나 民族에 따라서 身體의 길이가 다르고, 같은 民族이라도 연령에 따라서 일치하지 않는다. 그 結果 같은 1큐비트(Cubit)가 에집트(Egypt)에서는 52.4cm로 바빌론(Babylon)에서는 53.1cm로 使用되는등 같은 單位가 地域에 따라 다른 길이를 나타내었다.

또한 같은 國家에서도 時代에 따라 너무도 많은 種類의 다른 單位를 使用하여 왔다. 그러나 文化가 발달되고 交易가 增大됨에 따라 이런 單位를 統一하여야할 필요가 절실하여졌다. 특히 近代産業革命前後 人類는 工業經濟時代로 접어들고 이에따라 近代의 길이標準이 생기게 된 것이다.

## Ⅱ. 近代의 길이標準

프랑스 革命後 1790年 탈레이랑(Charles Maurice de Talleyrand Perigord: 1754~1838)의 提 案을 바탕으로하여, 1793年 8月 地球의 北極에 서 赤道까지의 자오선 길이의 1천만분의 1을 1m 로 하는 미터의 定義가 프랑스 國民會議에서 채택되어, 1795年 잠정적으로 宥쇠로 만든 미터자의 사용이 프랑스에서 法制化되어 公布되었다.

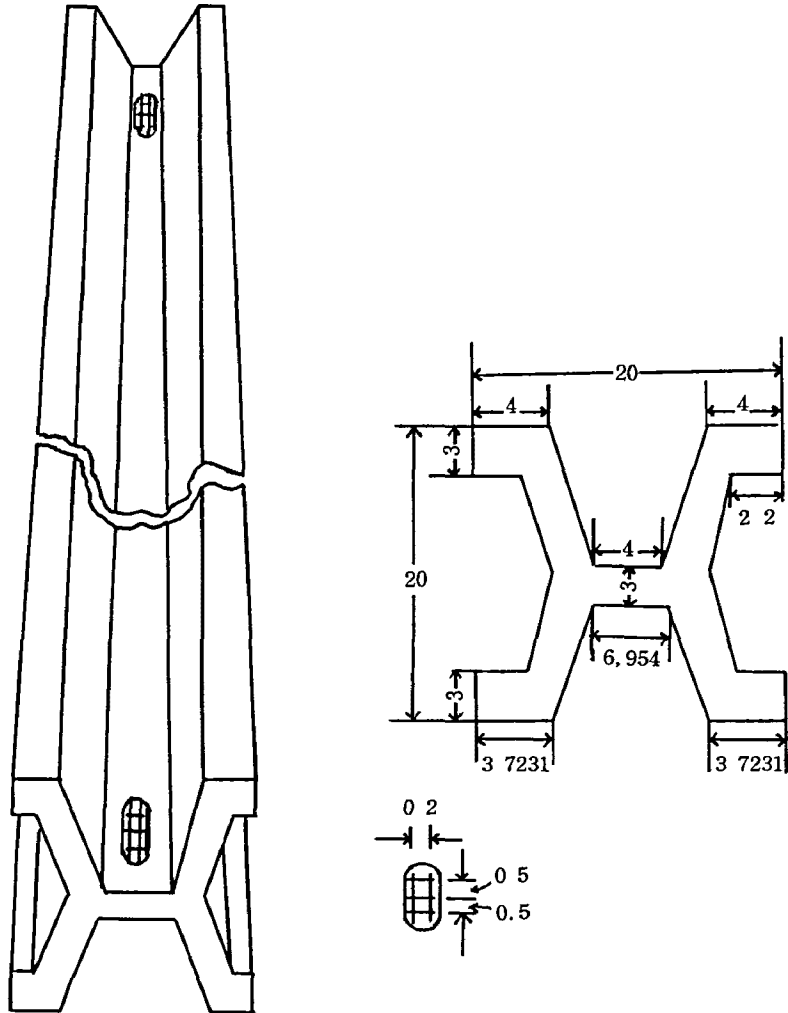
1799年 몇개의 國家로 구성된 國際會議에서 검토한 결과 地球의 자오선의 길이를 바탕으로 한 미터를 현시하는 순백금제의 標準미터原器가

만들어 졌다.

이 原器는 全體 길이가 1m가 되고 양쪽면이 평행하게 만든 일종의 단면 標準型 原器였으며, 保管場所인 古文書保管所(Archives)의 이름을 따서 메트로 데자르시이브(Metre des Archives)라고 불리운다.

그러나 이 標準미터原器는 경도(Hardness), 휨(Deflection), 안정도(Stability)에 있어서 우리가 필요한만큼 完全치는 못하였다.

1872年の 國際미터 委員會에서 새로운 單位계 의 기초로 확정 미터原器를 들것을 결정하였고, 이에따라 새로운 原器를 製作하기로 결의했다. 이 결의에 의해 다수의 새로운 原器가 製作되어



<그림 1>

서로 比較檢討한 결과 No. 6의 記號가 붙은 原器가 확정, 미터原器에 가장 가깝다는 點에서, 이것이 國際미터原器(International Prototype Meter)로 선정되어 1889년의 제 1 회 國際度量衡總會에서 결정되었다.

國際미터原器는 主成分 백금(Pt) 87.7% 이리듐(Ir) 9.4%의 合金으로 (표 1 참조), 전 길이가 102cm이며, 그림 1에서 보는 바와 같이 그 단면은 "X"모양(Tresca Type)인데 홈 바닥에는 단면 양끝에서 1cm되는곳에 각각 가로 2줄 세로 3줄의 가는線을 다이아몬드로 무늬를 새기고, 그 두곳의 세로 3줄중 가운데 線사이의 거리를 0°C때 1m가 되게한 선표준형의 原器이다.

단면을 이와같이 특이한 X모양(Tresca Type)으로 한것은 많은 科學者들의 研究 및 實驗結果를 최소로 줄일 수 있는 형태라는것이 알려져 있기 때문이었다.

이 原器는 同一平面上에 대칭적으로 位置하고 서로 57.2cm의 距離에 있는 최소한 지름이 10mm인 2개의 굴뚝대로 받쳐 놓는다.

〈표 1〉 미터原器 No. 10의 化學적 성분

성분	Pt	Ir	Ro	Pd	Ru	Cu	Fe	계
%	87.7	9.4	0.4	0.1	1.4	0.2	0.8	100

우리나라는 1874年 프랑스에서 만들어진 No. 10미터原器가 현재 韓國標準研究所에 보존되어 있다.

#### IV. 현재의 미터標準

1892年부터 1940年까지 約 50年동안 世界各國에서 실시한 미터原器와 카드미움(Cd) 光波長과의 比較測定結果 原器가 經年변화를 한다는 사실이 밝혀졌다.

原子에서 放射되는 光의 波長은 이룰때면 自然單位이고, 經年변화는 전혀 없다고 가정하면 波長으로 測定한 原器의 길이 변화는 바로 미터原器 그 자체의 經年변화라고 생각할 수 있다.

測定은 9회에 걸쳐 행하여졌는데, 그 결과 測定值間의 상대오차는  $\pm 2 \times 10^{-7}$ 이고 이는 原器相互間의 比較測定の 정밀 정확도와 같다. 이 결과로 볼때 미터原器로서의 미터는 이 정도의

精密正確度 밖에는 定義할 수 없다는 것을 의미한다.

더욱 이 미터原器는 선과 선의 간격의 길이標示이므로 눈금 그늘매의 精密度는 잘해야 0.1~0.2 $\mu$ m로서 따라서 測定하는 길이가 짧아지면 짧아질수록 상대 精密正確度는 낮아진다.

최근 科學技術의 진보는 工業用 標準에서도  $2 \times 10^{-7}$  정도의 精密正確度를 요구하게되어 미터原器로는 길이標準의 역할을 다할 수 없게 되었다.

따라서 필연적으로 등장하게 된것이 光波長에 의한 미터의 定義이다. 光波長이 미터의 標準으로 대치하게 된것은 마이켈슨(Michelson)의 光波간섭에 의한 實驗이후이다.

시카고(Chicago)大學教授였던 그는 1892年에 國際度量衡會(BIPM)에 초치되어 光波간섭 기술을 구사하여 미터原器와 카드미움의 赤色光의 比較測定을 행하였다. 그로부터 1940年까지 이런 측정이 世界各處에서 9회에 걸쳐 행해진 것은 이미 기술한바이다.

그러는 동안 1927年 제 7 회 國際度量衡總會에서는 그때까지 주어진 데이터를 바탕으로 카드미움 赤色光의 파장치가 정해졌다.

이미 지적한 바와같이 미터原器에 의한 길이 定義는 짧은 길이測定에 있어서 상대 精密正確度가 낮아지는 결함이 있으나 光의 波長을 기준으로 한 간섭측정은 정밀정확도가 미터原器에 비해 훨씬 좋으므로 波長의 값만 정해지면 짧은 길이라도 극히 높은 상대 정밀정확도로 測定할 수 있다.

이런 뜻에서 1927年的 결정은 미터標準에 있어 중대한 의미를 갖는다. 그러나 카드미움 램프는 미터原器에 있어 보좌역에 불과하였고 그 자체는 미터標準의 자리에는 오르지 못하였다.

2次大戰중 科學技術의 研究는 戰後 計測分野에서도 큰 유산을 남겼다. 특히 單一同位元素를 만들어내는 기술은 光波에 의한 미터定義의 실현에 큰 추진력이 되었다.

美國에서는 2次大戰後 2~3年간에는 이미 수은(Hg) 198램프를 완성, 이어서 西獨에서는 크립톤(Kr) 84와 85램프를, 또한 소련에서는 카드미움(Cd) 114램프 등을 연이어 發表하였다. 이

들 램프에서 發生되는 빛은 간섭거리가 종래의 카드미움 램프의 100~150mm에 비해 훨씬 길어 수은(Hg) 198램프로 400mm 크립톤(Kr) 84와 86램프로는 800mm의 길이도 직접 測定할 수 있는 것이었다.

國際度量衡委員會는 미터의 定義를 새로이 검토해야 할 時期가 왔다고 판정, 자문위원회를 만들어 그 심의에 착수하게 되었다. 이 委員會는 眞空中에서 크립톤(Kr) 86램프로 부터의 등직선( $2P^{10} \sim 5d^5$ )을 택하여 1m는 이 波長의 1,650,763.73 배라고 定義하였다.

이 定義는 1960年 제11회 國際度量衡總會에서 정식으로 채택하여 오늘날에 이르기까지 使用되고 있다. 그후 表 2에 표시된것 같은 12개의 2次標準 波長도 결정되었다.

<표 2> 2 차 표준波長(진공중)

광 원	파 장( $\mu\text{m}$ )	정밀 정확도
크립톤 86	0.64580720	$2 \times 10^{-8}$
	0.64229006	
	0.56511286	
	0.45036162	
수은 198	0.57922683	$5 \times 10^{-8}$
	0.57711983	
	0.54622705	
	0.43395624	
카드미움 114	0.64402480	$7 \times 10^{-8}$
	0.50872379	
	0.48012521	
	0.46794581	

## V. 미래의 미터 標準展望

光의 波長을 길이의 標準으로 쓸 경우 스펙트럼선의 형태가 단순한 대칭형이어야 한다. 크립톤(Kr) 86램프의 등직선의 경우 비대칭형 스펙트럼임이 最近 밝혀졌으며, 그 간섭거리는(測定 가능한 최대 길이에 해당한다) 800mm에 불과하고 精密正確도가  $10^{-9}$ 정도이다.

한편, 크립톤 86에 의한 미터原器가 정식으로 채택된 1960年경에 레이저(LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)가 出現하여 다음번 미터標準의 유력한 후보로 주

목되고 있다.

크립톤 86에 의한 光波측정기 보다 레이저를 이용하면 간섭거리가 엄청나게 길어지고, 光의 強度가 강하여 레이저光을 이용하면 짧은 거리는 물론 長距離標準에도 가능하게 된다.

또한 크립톤 光波간섭계에 비해 다루기가 쉬울뿐더러, 크립톤 86의 光보다도 스펙트럼의 폭이 더 좁은 단색광이므로 精密度가 더욱 높아진다.

그러면 레이저가 어떻게하여 이와같이 스펙트럼의 폭이 좁은 단색광을 發生시킬 수 있는지 알아 보자. 레이저란 일종의 빛의 發生증폭장치로서 종래의 빛의 分散方法에 의해 얻은 단색광에 비해 레이저에서 얻은 빛은 均一한 한가지 波長(단색광)이 증폭에 의해 그 강도(Intensity)가 매우 높아 醫學, 工業, 通信등 각 방면에 利用되고 있으며, 또한 그 간섭거리가 길고 波長이 安定되어 있어 현재 길이標準으로 各광을 받고 있다.

레이저에는 그 사용하는 증폭매질에 따라 고체, 반도체, 액체, 가스레이저가 있으나 여기서는 가스레이저에 관하여 說明하고자 한다.

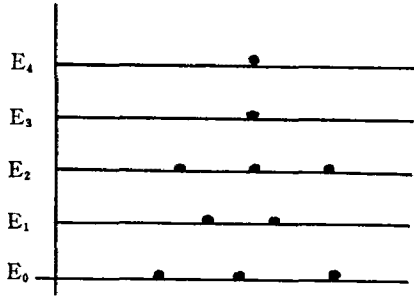
이제 레이저의 動作原理를 정성적으로 간단히 說明해 보자. 사람중에 힘이 센 사람과 약한 사람이 있듯이 分子의 집단에도 에너지가 큰 分子와 작은 分子가 있다.

現代物理의 발전에 힘입어 이러한 分子들이 가질 수 있는 에너지는 연속적이 아니며, 마치 階段과 같이 단계적으로 되어있다는 것이 알려졌으며, 이러한 에너지들의 상태를 에너지 준위라 한다.

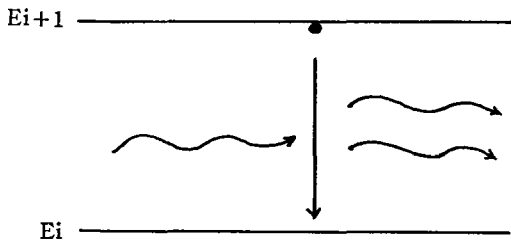
이것을 그림으로 標示해 보면 아래 그림 2와 같다. 즉 한 例를 들면 10개의 分子中 3개는  $E=0$ , 2개는  $E_1$ , 3개는  $E_2$ , 1개는  $E_3$ , 1개는  $E_4$ 의 에너지를 가지고 있다.

이와같이 分子들은 여러가지 에너지 준위를 가질 수 있으며, 이러한 分子들의 집단에 外部에서 에너지를 供給하면 낮은 에너지 준위에 있는 分子가 이를 吸收하여 흡수한 에너지만큼 높은 에너지 준위로 올라갈 수 있다.

또한 높은 에너지 준위에 있는 分子는 자신이 가지고 있는 에너지를 放出하면서 낮은 에너지



〈그림 2〉



〈그림 3〉

준위로 떨어질 수도 있다.

특히 外部에서 빛을 쬐어 빛의 에너지가 어느 특정한 두 에너지 준위차와 같을때 높은 에너지 준위에 있는 분자에 에너지를 충격으로 放出하게하여 낮은 에너지 준위로 떨어뜨리며, 이때 放出된 에너지를 吸收하여 더 強度가 높은 에너지를 가지고 나가게 되는데 이러한 현상을 유도 방출이라 한다.

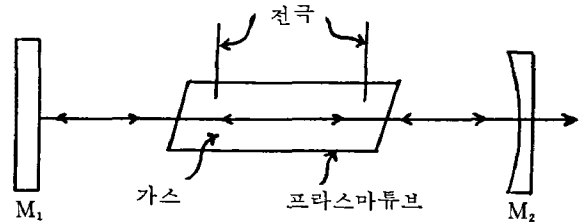
이제 특정한 두 준위를 생각해 보자, 그림 3에서와 같이 들어온 빛의 에너지  $h\nu$ 가  $\Delta E_{i+1} - E_i$ 와 정확히 같을때 유도방출이 일어나며, 이때문에 나오는 빛은 強度가 높고 단일~파장을 갖인 빛만 나오게 되는것이다.

여기서 한가지 問題가 되는것은 정상상태에 있는 분자는 대부분 낮은 에너지 준위에 있으며, 높은 에너지 준위에는 그 密度가 매우 적다는것이다.

레이저光線을 얻기 위해서는 높은 에너지준위에 있는 분子數가 많아야 強度가 높은 빛을 얻을 수 있다. 이렇게 더 많은 분子數가 높은 에너지 준위에 있게하기 위하여 外部에서 어떤 형태로든 에너지를 供給해야 하며, 가스레이저의

경우는 電氣的인 스파크를 利用한다. 이와같이 높은 에너지 준위에 더 많은 분子가 있는 상태를 밀도전도(Population, inversion)라 한다.

레이저의 基本原理를 그림 4를 利用해서 설명해 보면, 파이렉스로된 프라스마튜브에 가스(He-Ne, Ar, CO<sub>2</sub>...)를 채우고, 電極에 高電壓을 걸면 스파크가 일어나며, 튜브내의 가스분자에 밀도전도가 생기며 스파크에 의해 생긴 빛중에 에너지가 분자의 특정한 두 준위의 차와같은 빛이 높은 에너지 준위에 있는 분子是 낮은 에너지 준위로 떨어뜨리면서 그 차이의 에너지를 吸收하여 나가게 된다.



〈그림 4〉

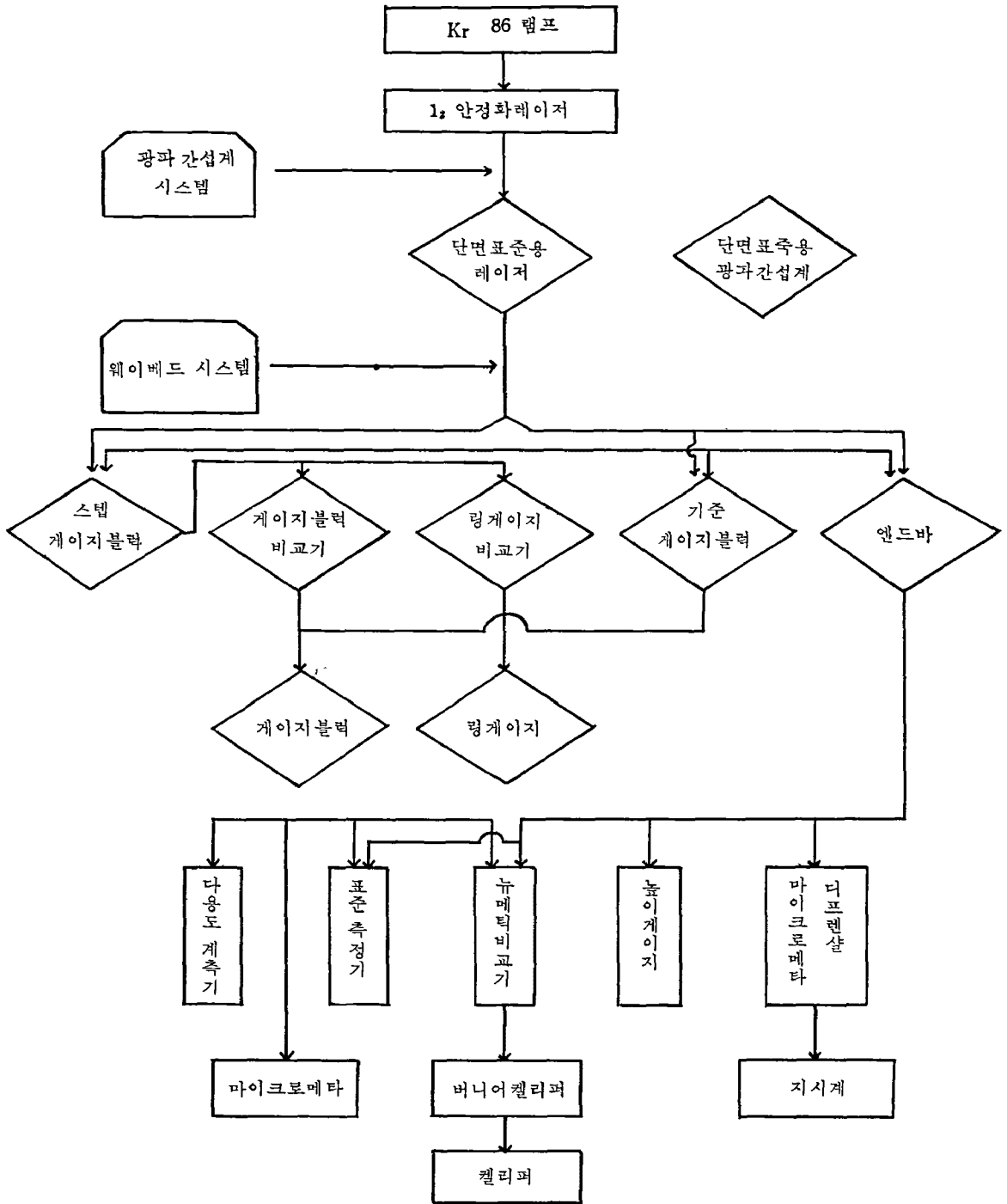
이러한 과정을 여러번 되풀이하여 강한 光線을 얻기위하여 튜브 양쪽에 거울 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>를 놓아 빛이 여러번 튜브사이를 進行하도록 하는 동시에 電極에 계속 高電壓을 걸어 밀도전도 상태를 유지하게하면, 強度가 상당히 높은 光線을 얻게한다.

거울 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>의 반사율을 100%로 하지말고 99%정도로 하면, 그 強한 빛의 일부, 즉 1%가 거울을 透過하여 나오게 되며, 이 빛이 소위 말하는 레이저光線이다.

가스 레이저중 특히 He-Ne 레이저는 그 스펙트럼의 폭이 좁고 強度가 강해 길이標準으로 가장 작광을 받고있다.

近來에는 He-Ne 레이저에 아오다인(I<sub>2</sub>)튜브를 덧붙혀 스펙트럼의 폭을 더욱 줄이고 재현성을 높인 安定된 레이저(옥소 안정화 레이저)가 開發되었으며, 그 精密度를 10<sup>-10</sup> 이상~까지 增加시킬 수 있어, 이미 여러나라에서 잠정적인 길이標準으로 사용하고 있는중의다.

# 길이 標準供給體系



<그림 5>

## VI 길이의 표준공급 체계

以上에서 기술한 光波長을 이용한 길이의 測定은 그 精密度가 높은 이점이 있는반면 測定時에 高度한 技術이 필요하며, 많은 時間이 소요되어 標準을 유지하거나 高度의 精밀도가 요구되는 研究에는 반드시 필요하다. 실제 一般産業體에서 사용하는데는 부적당하다.

따라서 精密度가 좀 떨어지지만 使用하기 간편하고 産業體에서 요구되는 精密度에는 충분히 상응할 수 있는 基準物, 例를 들면 게이지 블럭 (Gage Block)등을 光波長을 이용 그 정확한 값을 測定하여 이것을 길이의 標準物로 사용되고 있다.

그림 5에서 이러한 길이의 標準供給體系를 살펴볼 수 있다. 길이를 현시할 수 있는 標準物로서는 크게 선표준과 단면표준으로 나눌 수 있으며, 선표준은 1960년까지 國際 길이標準物의 자리를 지켜왔던 國際미터原器를 위시해서 標準줄자 등이 이 범주에 속하는 標準物이다.

단면표준의 代表的인것은 19世紀末 칼 조한슨 (Carl, Johanson)이 고안해낸 게이지 블럭이다. 이 게이지 블럭은 평행면을 갖는 금속의 작은 조각으로 되어있으며, 이 작은 조각들을 적당히

組合하여 필요한 어떤 길이를 만들 수 있다. 이러한 게이지 블럭은 時日經過에 따른 치수變化를 최소로 하는 熱處理가 되어있어 精밀·정확도를 維持하기가 비교적 쉽고, 또한 使用하거나 移動하기에 간편하여 1次標準機關에서 2차표준기관, 2차표준기관에서 3차표준기관, 또는 産業體로 전파되는 精밀 정확도 유지도 주로 이것을 利用維持 전달되고 있다.

끝으로 길이 測定時 고려해야 할 몇가지 事項을 기술하면, 모든 物質은 溫度變化에 따른 길이의 변화가 있다는 것을 상기해 보면, 되도록 溫度를 정확히 維持한 상태에서 測定이 행하여져야 한다는 것이다. 물론 濕度나 壓力도 많은 영향을 주지만 역시 가장 큰 영향은 溫度變化에 의한 것이다.

모든 길이는  $20^{\circ}\text{C}$ 에서의 값으로 주어지게 되어있으므로 되도록 이 溫度를 유지할 수 있는 환경이 重要하며, 이 溫度를 유지할 수 없을때는 測定時的 대상물의 溫度를  $0.01^{\circ}\text{C}$ 까지 正確히 알아내어 이에 의한 팽창이나 수축을 계산해 주어야 하다

다시 한번더 溫度變化에 따른 길이測定 값의 변화를 강조하기 위해 注意할 점은, 첫째도 온도 둘째도 온도 셋째도 溫度라는것을 말하고 싶다.

