

## 보건물리장비의 국산화 개발



정 종 은  
한국원자력 연구소  
계장기술연구실장

### I. 서론

현재 우리나라에서는 전력생산의 절반이상을 원자력이 점유하고 있고, 산업의 발전 및 다변화에 따라 핵물질을 이용하는 산업체가 계속 증가하고 있는 실정이다. 이에 따라 방사성 물질을 다루는 작업종사자도 증가하고 있으며, 영광에서의 무뇌아 사건과 서해안의 핵폐기물 처리시설 건설계획 등의 크고 작은 사건들이 매스컴에 보도되면서 방사선의 피해와 원자력의 안전성에 대한 국민적 관심이 높아져 가고 있다.

방사선을 이용하는데 있어서는 작업종사자, 방사선구역 수시출입자, 시설주변의 주민이 불필요하게 방사선에 피폭되는 것을 최대한으로 억제하고 방사선 사고를 미연에 방지하도록 조치를 취해야 한다. 이를 위해서 방사선을 검출하고 감시하는 장치가 사용되며, 작업환경 감시, 개인감시, 특수감시등 여러가지 형태의 방사선 감시가 수행되고 있다. 특히 방사선 작업종사자에 대한 개인감시를 위하여 Pocket Dosimeter, Film Badge, TLD

Badge, Whole Body Counter 및 손발오염감시기등 여러가지 계측장치가 사용되고 있다. 현재 국내에서 사용되고 있는 보건물리 장비는 거의 대부분 수입에 의존하고 있으며, 더우기 제작회사들이 해마다 성능을 보강하여 생산하기 때문에 장비 사용 및 보수유지에도 많은 어려움이 따르고 있다. 이러한 문제를 극복하기 위해서는 선진기술의 추적과 비교 검토를 통하여 기술현황을 파악하고 나아가 보건물리 장비의 국내생산을 위한 기술확보가 필요하다.

본고에서는 보건물리 장비의 국산화 기술 개발의 일환으로 당 연구소에서 '88년~'89년에 시제한 손발오염감시기에 대한 내용과 이에 따른 몇가지 문제점을 기술하고자 한다.

### II. 본론

#### 1. 감시기 개요

원자력발전소나 연구소내의 핵시설에 종사하는 작업종사자 및 출입자들의 방사능 오염

관리를 위한 손발오염감시기를 단일칩 마이크로콘트롤러(Single Chip Microcontroller)인 i8752BH를 사용하여 제작하였다.

감시기는 검출부, 신호정형부, 제어부, 표시부, 전원부로 구성되며, 7개의 GM tube를 사용하였다. 손·발 검출용으로는 검출면적(Active Area)이 넓은 flat type을, 옷검출(Frisker)용으로는 pancake 형의 GM tube를 사용하였다.

동작은 준비(Ready), 측정중(Counting), 재측정(Recounting), 정상(Clean), 오염(Contamination)의 기능으로 수행되며, 측정시간은 4초간으로 되어 있으나 용도에 따라 30초까지 임의로 변경시킬 수 있다.

사용자와의 대화부분인 표시부는 9" 크기의 EL flat panel로 구성되며, 각 동작마다 사용자가 쉽게 판독할 수 있도록 그래픽 화면이 표시된다.

주요기능은 초기설정치 키 입력, 자기진단, 검교정, 자동 주변선량 보상, 파손검출기 검출, 고전압 이상검출, 날짜/시계 기능 등을 들 수 있다.

## 2. 감시기 특징

### 가. 감시기 사양

항 목	사 방
측정방사선 종류	$\beta$ , $\gamma$
동작온도	+10°C ~ +50°C
내장온도	-40°C ~ +50°C
전 원	AC 110V, 60Hz
검출기(손, 발, 옷)	GM Counter Tube
최대손면적	252cm <sup>2</sup> (Aptec FT - 252B)
최대발면적	366cm <sup>2</sup> (Aptec FT - 366B)
Frisker 검출기	15.5cm <sup>2</sup> (LND 7311)
외 형	76cmW×140cmH×89.3cmD
중량(차폐물포함)	360Kg
표시부 화면	EL Flat Display(9")
측정시간	1~30초(default : 4초)
경보준위	0~999CPS
주변선량 갱신	1회/(측정시간×10회)
$\beta$ Efficiency	~20%
$\gamma$ Sensitivity	36,000CPM/mR/Hr for Co-60

## 3. 감시기 구성

감시기는 검출부, 신호정형부, 제어부, 표시부, 전원부로 구성되며, 블럭도는 그림 1과 같다.

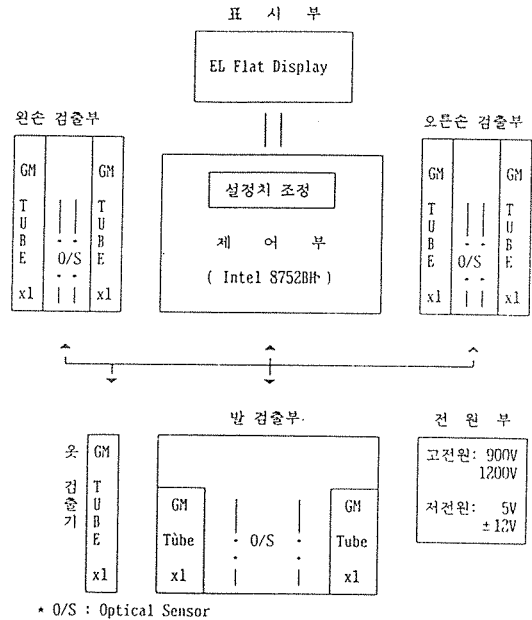


그림 1. 감시기 블럭도

### 가. 검출부

검출부는 작업종사자의 외부 노출부분에 대한 방사성 물질의 표면오염을 검출하는 부분으로 손, 발, 옷(frisker) 검출부로 구분되며, 검출기와 바이어스 회로로 구성된다.

검출기는 감지면적(active area)이 크고 출력펄스의 전압이 높은 GM tube를 사용하였으며, 표 1은 사용된 검출기의 주요 특성을 나타낸다.

검출기 수는 양손에 각 2개씩, 양발에 각 1개씩 그리고 옷 검출용으로 pancake형의 GM tube 1개로 모두 합쳐 7개가 사용되었다. 표 2는 검출기의 주요 동위원소에 대한 감도를 나타낸다.

옷 오염 검출기는 감시기의 상부몸체 밑에 걸어두고 사용자가 검출기를 들어 검출하고

자 하는 부위를 표면에서 약 3cm/초의 속도로 훑으면 오염 정도에 따라 단속음이 들리고 음의 빈도로 오염정도를 판단한다.

손, 발의 검출기 주위에는 주변선량(background)을 줄이기 위하여 2cm 두께의 납으로 차폐시켰으며, 주변선량 보상을 위하여 감시기가 사용되고 있지 않는 동안 오염검출기가 주변선량을 4초간 10회 측정하여 평균값을 구한다. 이 4초간의 평균값을 채널마다 구해져서 메모리에 저장되며, 오염 측정시 전체 계수치(gross count)에서 주변선량 값을 뺀 순수오염치(net count)로 오염 판정을 한다.

표 1. 감시기에 사용된 GM 검출기 사양

항목/모델명	LND 7311	Aptec FT-252B	Aptec FT-366B
Application	$\alpha, \beta, \gamma$	$\beta, \gamma$	$\beta, \gamma$
사용전압	900 V	1200 V	1200 V
Active Area (KS 권고값)	15.5cm <sup>2</sup>	252cm <sup>2</sup> ( >240cm <sup>2</sup> )	366cm <sup>2</sup> ( >390cm <sup>2</sup> )
Window Density	2mg/cm <sup>2</sup>	7mg/cm <sup>2</sup>	7mg/cm <sup>2</sup>
충전가스	Ne+Hal	He+Organic	He+Organic
Dead time	min. 30 sec.	150 sec.	150 sec.
Background	max. 30 cpm	ave. 186 cpm	ave. 186 cpm
검출기 수명	-	>10 <sup>8</sup> counts	>10 <sup>8</sup> counts
Lower Energy Limit	-	= 75KeV = 5KeV	= 75KeV = 5KeV
Type	Pancake	Flat	Flat
사용위치	Frisker(옷)	손	발

표 2. 검출기의 주요 방사성동위원소에 대한 감도

MDA(Minimum Detectable Activity) :

- with background of 0.1 mR/h
- 95% confidence of alarm(5% false alarm)
- based on source size of 100cm<sup>2</sup>

Isotopes\모델명	Aptec FT-252B	Aptec FT-366B
Cs-137	0.9 nCi	2.5 nCi
Cs-60	1.8	5.6
Cs-58	2.3	6.3
Cs-134	1.3	3.8

#### 나. 신호정형부

신호정형부의 역할은 검출기로 부터의 음(negative)의 펄스를 다음단의 신호처리부(계수 및 제어부)에서 처리할 수 있도록 디지털 펄스로 변환시켜 주는 기능을 수행하며, 단안정(monostable) 멀티바이브레이터인 CMOS 14528이 사용되었다. 신호입력은 음의 트리거 입력단자를 Vcc(+5V)로 풀업(pull-up)시켜 사용하였으며, 출력펄스폭은 외부의 R, C 값을 조정하여 2 usec.로 설정하였다.

#### 다. 제어부

##### 1) 하드웨어의 구성

손, 발오염감시기를 제어하기 위한 하드웨어는 크게 시스템의 제어와 데이터의 기록을 위한 CPU 및 기억회로, 각 검출기에서 검출되는 방사선의 량을 측정하기 위한 펄스계수회로, 이상발생 및 Frisker 측정량을 소리로 알리기 위한 경보음 발생회로, 손, 발 삽입 여부를 감지하는 센서 및 키입력을 위한 조종키의 입출력회로, EL 모듈을 구동하기 위한 EL 인터페이스회로, 그리고 직렬통신을 위한 RS-232C 포트 등으로 구성된다.

제어부는 시스템 전체를 제어하는 가장 중요한 부분으로서 고장발생빈도 및 가능성을 최소화하고 부품수를 최대한 줄이기 위하여 중앙처리장치로 CPU, EPROM, RAM, Timer/Counters, Interrupt sources, I/O ports, Serial port 등이 한 패키지에 집약되어 있는 One Chip Microcontroller 8752BH를 사용하였다.

방사선이 검출되어 신호정형부를 거쳐 들어오는 펄스의 수를 계수하기 위하여 2개의 8253 Counter/Timer를 사용하였으며 I/O의 Address는 PAL 14L8을 사용하여 decoding 한다. 한편 외부 데이터 기억소자로서 저소비전력과 Refresh구동이 필요없는 SRAM 6264을 채택하고 전원이 공급되지 않는 경우에도 외부 기억소자 내에 있는 데이터를 유지하기 위하여 battery backup 전원회로를 구성한다.

시스템 클럭은 12MHz의 Quartz Crystal을

HMOS Microcontroller의 내장진동자(On - Chip Oscillator)와 연결된 외부단자에 부착함으로써 발생시킨다.

• 제어부의 전체구성도(Block Diagram)는 그림 2와 같다.

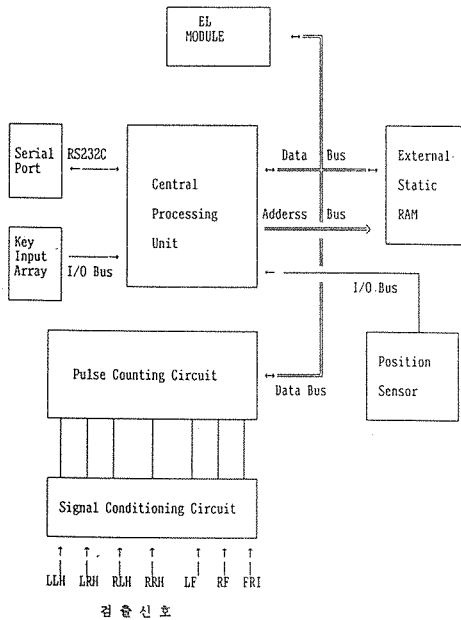


그림 2. 제어부의 전체구성도 (Block Diagram of Control Part)

2) 소프트웨어

가) 사용언어

손, 발 오염감시기를 제어하기 위한 시스템 프로그램은 Intel MCS - 51 Macro Assembler와 美 Archimedes Software사의 Archimedes C - 51 Cross Compiler Kit를 사용하여 작성하였다. MCS - 51 Macro Assembler는 Intel에서 발표한 8051 Microcontroller 계열의 프로그래밍을 위한 어셈블리 언어이며 Archimedes C - 51 Kit 역시 8051계열을 위한 C 언어이다. Archimedes C - 51은 K & R(Kernighan and Ritchie)의 정의를 따른 표준 ANSI C와 완전한 이식성을 가짐으로써

여타 C Compiler에의 적용을 쉽게 하기 위한 대부분의 공통 라이브러리 함수를 포함하고 있다. C - 51은 응용 범위에 따라 다음과 같은 4가지의 메모리 모델을 제공한다.

- Small : 내부 RAM만 사용
- Medium : 외부의 RAM과 EPROM을 혼합한 64KB의 메모리영역 사용
- Large : 64KB의 EPROM과 64KB의 외부 RAM 사용
- Banked : 8MB까지의 Banked - Switched EPROM과 64KB의 외부 RAM

여기에서는 Medium모델을 선택하였다.

Archimedes C - 51 Compiler Kit는 Compiler(C - 51), Linker(XLINK), Assembler(A8051), Librarian(XLIB) 등으로 구성되어 있다.

나) 흐름도

손, 발 오염감시기의 프로그램은 초기화면, 시스템진단루틴, 검교정루틴, 손·발오염도

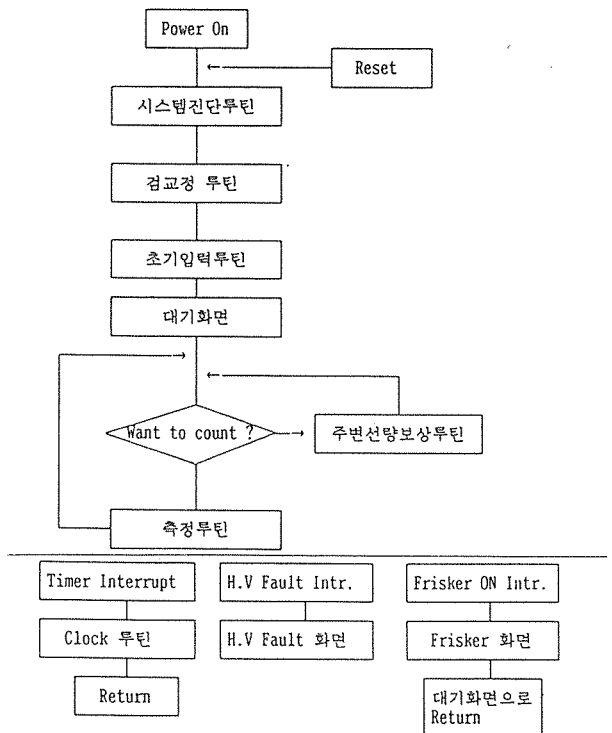


그림 3. 흐름도

측정, Frisker를 사용한 측정, 주위오염도 측정 등의 기능을 수행하며 전체적인 프로그램의 흐름은 그림 3과 같다.

다) 시스템진단기능

시스템의 진단기능은 전원을 인가하거나 Reset Switch를 눌렀을 때 하드웨어 각 부위의 고장여부를 점검하여 결과를 화면에 표시하여 주는 기능이다. 시스템 진단기능이 수행되면 콘트롤 보드의 CPU, EPROM, EEPROM, SRAM, CTC1, CTC2등과 고전압 전원의 이상 유무를 점검하며 그림 4와 같이 표시된다.

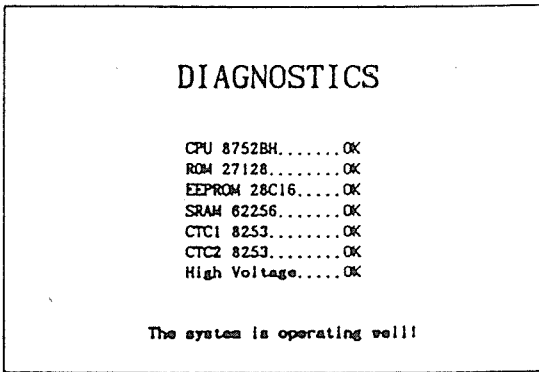


그림 4. 시스템 진단 결과 화면

라) 검교정 루틴

시스템진단기능이 완료되면 검교정루틴으로 넘어가게 되는데 이 때에는 Test Source에 의해 실제 Activity와 조정인수(0.1~ )를 입력하고 검출기마다 4초간 측정을 하여(식 1)에 따라 검출효율을 계산한다.

$$\text{검출효율 } E = \frac{\text{Net CPS of Source}}{\text{DPS of Source}} \dots\dots\dots (\text{식 } 1)$$

그리고 각 검출기마다 오염기준치를(식 2)에 의해 계산한 뒤 검출효율과 오염기준치를 메모리에 저장한다.

$$\begin{aligned} \text{오염기준치} &= \text{허용표면오염도}(10^{-4} \text{ uCi/cm}^2) \\ &\times \text{조정인수}(0.1) \times \text{오염면적} \\ &(\text{손: } 200\text{cm}^2, \text{ 발: } 250\text{cm}^2) \times \text{검출효율}(E) \times 4 \dots\dots\dots (\text{식 } 2) \\ &= 3.7 \times 10^{10} \times 10^{-4} \times 10^{-6} [\text{dps/cm}^2] \times (200 \text{ 또는 } 250) \times E \times 4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{손오염기준치} &= (0.37 \times 200) \times E \times 4 \dots\dots\dots (\text{식 } 2-1) \\ &= 29.6 \times E \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{발오염기준치} &= (0.37 \times 250) \times E \times 4 \dots\dots\dots (\text{식 } 2-2) \\ &= 37 \times E \end{aligned}$$

이 루틴은 검출기의 성능저하등 필요할 경우에만 입력하도록 하며 정상시에는 이전에 저장된 검출효율을 사용한다. 그림 5는 검교정루틴 화면을 나타낸다.

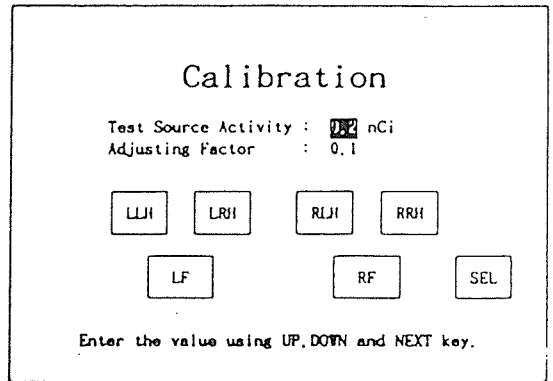


그림 5. 교정루틴 오염기준치계산 화면

마) 초기설정치 입력화면

이 화면에서는 검교정루틴에서 얻은 오염기준치가 표시되며 사용자가 원할 경우 전면 패널에 부착된 키를 이용하여 날짜, 시간 오염기준치 등을 수정할 수 있다.(그림 6)

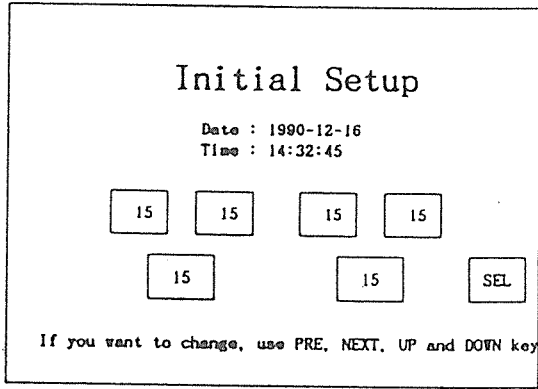


그림 6. 초기화면

바) 주변선량 보상루틴

주변선량보상루틴은 주위환경 변화에 따른 주변선량을 계속 보정하여 각 검출기의 특성에 맞는 오염기준치를 설정하기 위한 것이다. 주변선량의 보정은 사용자가 없는 동안 측정시간×10회 측정하여 측정된 값을 평균하여 메모리에 저장하며 Frisker를 제외한 6개의 검출기를 순차적으로 수행한다.

사) 대기화면

피측정자를 기다리는 화면으로서 화면 중앙에 한국원자력연구소의 표식(Symbol Logo)을 나타내어 감시기가 사용가능임을 알려주는 화면이다.(그림 7)

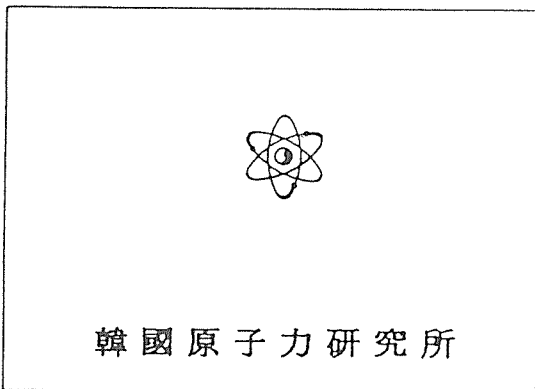


그림 7. 대기화면

아) 측정루틴

(1) 준비

피측정자가 측정을 시작할 수 있도록 손·발을 제 위치에 정렬시킬 때까지 기다리는 상태이다. EL 디스플레이 화면에는 준비가 완료되는 동안 중앙에 한글과 영문으로 “준비”와 “Ready”라는 문구가 표시된다. (그림 8)

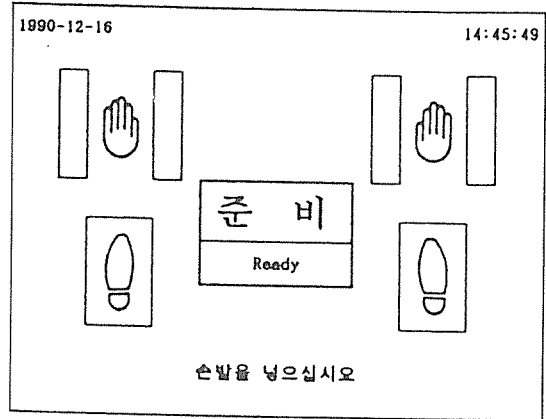


그림 8. 준비화면

(2) 측정

손·발이 모두 정확히 삽입되면 측정이 시작되는데 이때 표시되는 화면으로서 설정시간 동안 화면에는 “측정중”과 “Counting”이라는 문구가 표시되며 화면 중앙 상단에는 경과된 시간이 나타난다.(그림 9)

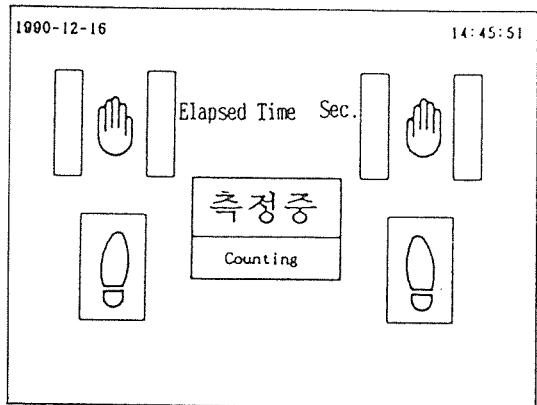


그림 9. 측정화면

(3) 재측정

측정 도중 손 또는 발이 정상위치를 이탈하거나 측정 후 다시 측정할 필요가 있을 때 표시되는 화면으로 “재측정”과 “Recount”라는 문구가 나타나고 이탈된 손이나 발은 사라진다. 화면 하단에는 “손발을 넣으십시오”라는 문구가 나타난다. 손발 모두 이탈되었을 경우에는 대기화면으로 되돌아 간다.(그림 10)

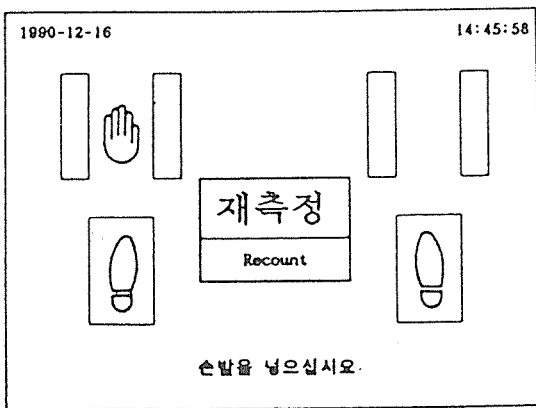


그림 10. 재측정화면

(4) 정상

측정결과 오염기준치를 초과하지 않은 정상 상태를 가리키며 화면에는 “정상”과 “Clean”이라는 문구가 표시되며 한음질의 Beep음이 발생한다.(그림 11)

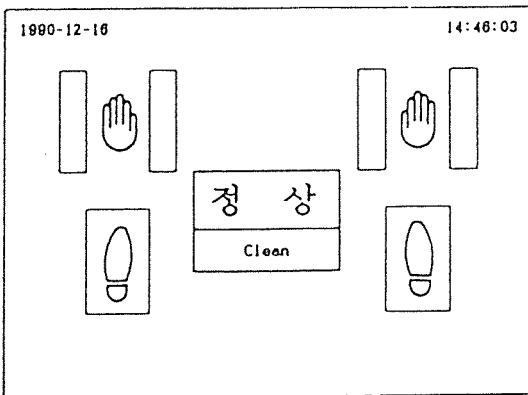


그림 11. 정상화면

(5) 오염

측정결과 오염기준치를 초과한 상태를 가리키며 화면에는 “오염”과 “Contamination”이라는 문구가 표시되며 해당 오염부위가 칠해진다. 화면 하단에는 “다시 측정하기를 원하시면 그대로 계십시오”라는 문구가 나타나는데 손발을 삽입한 상태로 기다리고 있으면 다시 측정해볼 수 있다. 이때 스피커에서는 경보음이 단속적으로 발생한다.(그림 12)

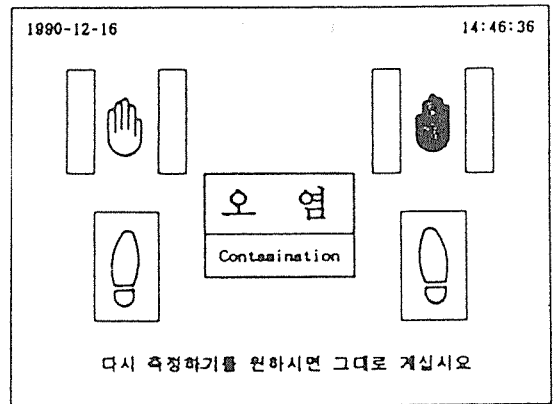


그림 12. 오염화면

(6) Frisker

손·발 이외의 부위를 측정하고자 할 때 Frisker를 사용하는데 이때는 계수된 펄스의 양이 표시된다. 이때 스피커에서는 검출된 방사선이 소리로 변환되어 출력되는데 음의 빈도로 오염정도를 판단한다.(그림 13)

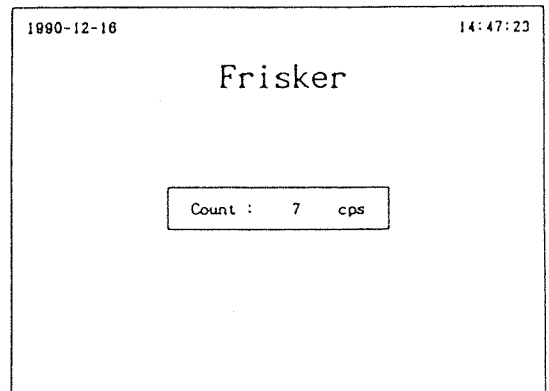


그림 13. Frisker 사용화면

자) 고전압전원 이상발생화면  
 고전압전원회로에 이상이 발생하였을 때  
 표시되는 화면이다.(그림 14)

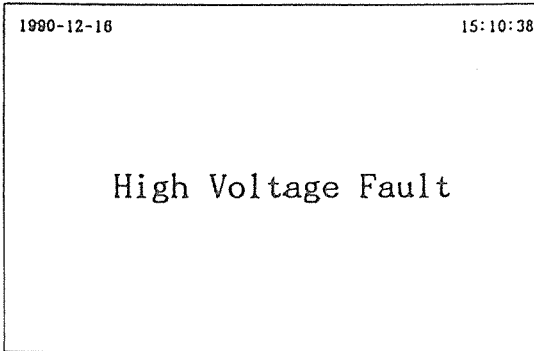


그림 14. 고전압 전원 이상발생화면  
 라. 표시부

감시기의 출력정보중 문자 및 도형을 표시하여 사용자와의 직접적인 인터페이스 역할을 하는 부분으로, 표시장치는 최근에 개발되어 응용분야가 확대되고 있는 EL(Electroluminescent) flat display를 사용하였다. 이 표시장치의 특징은 오렌지 색의 자기발광 특성이 있기 때문에 어두운 곳에서도 판독성이 우수하다.

표 3은 이 표시장치의 주요 사양을 나타낸다.

표 3. 감시기 출력부 표시장치의 주요 사양

항 목	사 방
Active area	121.8mm×195.0mm
Resolution	640×400pixels
Pixel pitch	0.305mm
Pixel size	0.221mm square
Display color	Yellow - orange(585nm)
Luminance	38 fl
Viewing angle	>160°
크 기	176mmH×267mmW×19mmD
내장온도	-40℃~75℃
동작온도	0℃~55℃
습 도	95℃ RH non - condensing
Maker	Planar Inc.
Model	EL8358HR

마. 전원부

손·발오염감시기의 고전압원은 용도에 따라 두종류로 구성된다. 손·발의 오염도 측정을 위해 사용되는 flat type 검출기의 고압 바이어스 정격전압 1200V와 옷 오염도 측정을 위한 frisker에 사용되는 pancake type 검출기의 고압 바이어스 정격전압 900V이다.

고전압회로는 검출기에 안정된 전압을 공급하기 위해 부하에 따라 변화되는 전압을 검출하여 기준전압과 비교하여 출력을 일정하게 유지하도록 하는 feedback 회로를 갖는 스위칭 전원공급방식을 이용하였으며, potentiometer에 의해 800~1300V까지 가변할 수 있도록 설계되었다.

본 기기에서는 출력전압을 potentiometer를 조정하여 1200V로 조정한 후 저항에 의한 전압분할방식을 사용하여 900V출력을 얻는다.

### III. 결론

최근의 반도체 기술의 발달로 마이크로프로세서 등의 LSI들은 보편화되었으며, 본 감시기의 두뇌인 제어부에는 CPU, EPROM, RAM, Timer/Counters, Interrupt sources, I/O ports, Serial port 등이 한 패키지에 집약되어 있는 Single Chip Microcontroller 8752 BH를 채택함으로써 사용부품수를 줄일 수 있었으며, 이에 따라 고장발생 확율이 감소되었다.

또한 사용자와의 인터페이스 부분인 표시 부분은 자체 발광특성이 있는 EL display를 사용함으로써 어두운 곳에서도 화면을 쉽게 판독할 수 있으며, 사용자편의의 화면설계를 하므로써 사용상 효율을 높였다.

그러나 대부분의 부품은 국내에서 조달이 가능하였으나 검출기 및 표시장치 등 몇가지 부품은 수입에 의존해야 하는 어려움이 있었다.

따라서 한국에서 보건물리장비의 국산화 개발의 활성화를 위해서는 부가가치가 높은 핵심부품(검출기, 표시장치 등)의 개발에 정부나 유관기관에서 적극적인 지원이 필요하며, 산업체에서의 관심과 산·학·연의 협력 체계가 필요할 것으로 사료된다.