



KR0000279

KAERI/TR-1617/2000

DUPIC 시설 감시시스템 설치 및 성능검사

The Installation and Performance Test of the Surveillance
System for DUPIC Facility

2000. 7

한국원자력연구소

**Please be aware that all of the Missing Pages in this document were
originally blank pages**

제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 “DUPIC 핵물질 안전조치 기술개발” 과제의 세부 연구인 “시설 격납 및 감시 시스템 개발” 의 기술보고서로 제출합니다.

2000. 7. 21.

주 저 자 : 김 동 영

공 저 자 : 김 호 동
차 홍 렬

요 약 문

DUPIC 감시시스템은 영상 및 방사선데이터를 함께 취득하여 통합처리하고 핵물질수송에 대한 지능적인 거동진단을 도입함으로써, 핵물질의 이동유무를 확인하는 감시상황에서도 일상적인 DUPIC 작업이 원활히 수행될 수 있도록 개발되고 있다.

DUPIC 감시시스템의 하드웨어는 He-3 튜브 기반의 중성자검출기, CCD 카메라, 영상 및 중성자검출기의 신호를 실시간으로 취득할 수 있는 시스템으로 구성되어 있다. 소프트웨어는 영상 및 방사선 신호를 취득 및 통합처리하고 핵물질의 수송상황을 진단하는 기능을 갖고 있으며 성능개선을 위한 연구를 하고 있다.

이 시스템은 적용시험을 위해 현재 원자력연구소의 조사재시험시설에 설치되어 시험운영되고 있으며, 또한 조사후시험시설에는 이 시설에서의 DUPIC활동에 대한 안전조치로 중성자검출기 및 데이터취득장비로 이루어진 시스템을 설치하여 운용중이다. 시험운영의 결과를 바탕으로 지능적인 거동진단을 갖춘 DUPIC 감시시스템을 완성하여 IAEA의 공인을 받고자 한다.

목 차

제 1 장 서론	1
제 2 장 DUPIC 감시시스템의 개요 및 개발이력	4
2-1절 DUPIC 감시시스템의 개요	4
2-2절 DSSS 및 PSSS의 개발이력	5
2-2-1. 1차 실험	5
2-2-2. 2차 실험	6
2-2-3. PSSS의 설치	8
2-2-4. DSSS의 설치(현재 구성)	8
제 3 장 DUPIC 감시시스템의 하드웨어	10
3-1절 하드웨어 구성 및 설치	10
3-2절 중성자 모니터(DSNM)의 개발	13
3-2-1 개요	13
3-2-2 설계 및 제작	16
3-2-3 성능검사	20
3-3절 DAQ 카드	23
3-3-1 DAQ 카드의 제작	24
3-3-2 DAQ카드의 성능검사	25
3-4절 CCD 카메라 및 영상 보드	26
3-4-1 CCD 카메라 시스템	26
3-4-2 여러 영상보드의 특성	27
제 4 장 DUPIC 감시시스템의 소프트웨어	30
4-1절 DSSS 소프트웨어의 개요	30
4-2절 소프트웨어의 구성 및 기능	31
4-2-1 사용자인터페이스	33
4-2-2 데이터 취득	33
4-2-3 데이터의 저장	35
4-2-4 원격통신, 보안, 인공지능망학습	36
4-3절 데이터의 분석 및 거동진단	36
4-3-1 방사선 데이터의 분석 및 핵물질 거동진단	38
4-3-2 영상처리	45
4-3-3 인공지능망을 이용한 수송용기의 거동진단	48

4-3-4 핵물질 및 수송용기 거동진단의 결과	55
제 5 장 PIEF 감시장비	57
5-1절 PIEF 감시장비의 개요 및 설치	57
5-2절 PIEF 감시장비의 하드웨어	60
5-3절 PIEF 감시시스템 소프트웨어	62
5-4절 PIEF 감시시스템의 운용 결과	63
제 6 장 결론 및 계획	64
[참고문헌]	65
[부록 A] DAQ 카드의 회로 및 사용	68
A-1 회로	68
A-2 DAQ 카드의 사용	70
A-3 DAQ 카드의 DIP 스위치 설정	70
A-4 8255의 제어	71
A-5 PPB를 통한 DAQ 카드의 제어	72
[부록 B] DAQ 카드로부터의 데이터 취득	74
[부록 C] 인공 신경망(Artificial Neural Network)	77
C-1 신경망의 특징	77
C-2 인공 신경망 구조	78
C-3 학습 알고리즘(Learning Algorithm)	79
C-4 오류 역전파 알고리즘의 학습 요소들	85

그림 목 차

그림 2-1 DUPIC 감시시스템의 설치	9
그림 3-1 DSSS의 구성	11
그림 3-2 DFDF의 서비스지역에 설치된 카메라 및 DSNM과 데이터 취득장비	12
그림 3-3 DSNM(DUPIC Safeguards Neutron Monitor)	13
그림 3-4 DFDF의 rear door에 설치된 DSNM1	15

그림 3-5 DFDF의 Isolation Room에 설치된 DSNM2	15
그림 3-6 He-3 Proportional Counter Tube & Preamp	18
그림 3-7 DSNM의 폴리에틸렌 몸체설계(단위: mm)	19
그림 3-8 DSNM의 설계(Top View)(단위:mm)	20
그림 3-9 High Voltage Plateau for Long and Short Cables	21
그림 3-10 PDT의 직렬연결	22
그림 3-11 DAQ 카드	24
그림 3-12 DAQ 카드의 구성	25
그림 3-13 DAQ카드의 성능검사	26
그림 3-14 카메라 시스템	26
그림 3-15 카메라에서 바라본 영상 및 Isolation Room에 설치된 카메라	27
그림 4-1 DSSS 소프트웨어의 구성	30
그림 4-2 DSSS 의 사용자 인터페이스	32
그림 4-3 2차실험의 영상데이터의 예	37
그림 4-4 2차실험의 방사선데이터의 예	38
그림 4-5 방사선 크기 N 과 오판 기울기 S	42
그림 4-6 히스토그램을 이용한 Obejct 영역의 추정	46
그림 4-7 캐스크의 위치 추정	46
그림 4-8 인공 신경망 모델 구축 흐름도	48
그림 4-9 캐스크 거동 감시를 위한 인공 신경망	49
그림 4-10 입력층과 첫 번째 은닉층 사이의 연결가중치	51
그림 4-11 첫 번째 은닉층과 두 번째 은닉층 사이의 연결 가중치	52
그림 4-12 두 번째 은닉층과 출력층 사이의 연결가중치	52
그림 4-13 2차실험의 EXP1 대한 인공 신경망의 학습 후 판단 결과	53
그림 4-14 캐스크 거동 감시 결과	53
그림 4-15 캐스크 거동 감시 결과 오차	53
그림 4-16 EXP0, 1, 4의 캐스크 거동을 진단한 오차 결과	54
그림 4-17 핵물질 및 수송용기 거동진단의 결과	56
그림 5-1 PIEF에 설치된 IAEA 및 KAERI 감시장비.	57
그림 5-2 9405 핫셀내에 설치된 DSNMII	58
그림 5-3 PIEF 감시시스템 및 신호의 분기	59
그림 5-4 DSNMII의 개념도	61
그림 5-5 PIEF 감시장비 소프트웨어의 사용자 인터페이스	62
그림 5-6 1999년 5월 4일 데이터. SF Rod Cutting.	63
그림 A-1 DAQ 카드의 회로(카운터제어 부분)	68

그림 A-2 DAQ 카드 회로(한 개의 카운터)	69
그림 A-3 DAQ 카드의 회로(영상선택)	69
그림 C-1 다층 구조를 가진 인공 신경망	78
그림 C-2 학습시 입력층은 입력정보를 모든 은닉 마디에 전달	80
그림 C-3 은닉층에서 출력층으로의 정보 전달	80
그림 C-4 은닉층으로의 오류 신호의 역전과	81
그림 C-5 입력층, 은닉층, 출력층을 가진 인공 신경망 구조	81
그림 C-6 오류 역전과 학습 알고리즘의 순서도	85
그림 C-7 연결 가중치와 오차 함수(Error Function)와의 관계	86

표 목 차

표 2-1 DUPIC 격납 및 감시시스템의 주요개발 이력	5
표 3-1 DSSS의 하드웨어구성 내역.	10
표 3-2 DSNM의 사양	17
표 3-3 케이블 체결방법에 따른 검출효과	23
표 4-1 이상적인 핵물질 거동진단. N은 방사선 데이터 값	39
표 4-2 실제적인 핵물질 거동진단	41
표 4-3 거리 및 핵물질의 양에 따른 한계속력의 예	43
표 4-4 2차실험의 Exp4 에서의 거리(r)에 따른 방사선 크기(N)	44
표 4-5 2차실험에서의 핵물질 양 M의 추정	45
표 5-1 PIEF 감시장비의 하드웨어구성 내역	60
표 A-1 DIP 스위치 설정 예(0X310 설정)	71
표 A-2 DIP 스위치 설정 예(0X338 설정)	71
표 A-3 카운터 모듈 및 카운터 IC의 선택	72
표 A-4 카운터 값 읽기 예제	73
표 A-5 영상채널의 선택	73

제 1 장 서론

DUPIC(Direct Use of Spent PWR Fuels in CANDU Reactors)은 PWR 사용후핵연료를 가공하여 CANDU 핵연료를 제조하는 핵비확산 핵연료주기로서 세계적으로 인정받고 있으며, 안전조치성도 기술적으로 가능하다고 판단되고 있다. 하지만 국제적으로 민감한 물질인 플루토늄이 포함되어 있는 사용후핵연료를 가공하는 DUPIC과 같은 공정에 대해 전 세계적으로 아직까지 안전조치 기술이 확립되어 있지 않은 상태이며 기존의 안전조치기술을 DUPIC에 적용할 경우 많은 제약이 예상되므로, 원활한 공정을 위한 진보된 안전조치기술의 개발이 필요하다[1].

DUPIC 안전조치기술의 일환인 DUPIC 격납 및 감시시스템개발은 기존의 시스템과 달리 영상 및 방사선신호를 동시에 취득하여 통합처리하고 인공지능망을 적용한 지능적인 핵물질의 거동진단을 도입함으로써 DUPIC 공정의 원활한 수행을 도울 수 있는 보다 나은 격납 및 감시시스템을 구축하고자 한다. 이 시스템은 무인으로 작동하며 인터넷을 통해 원격지에서 실시간으로 감시상황을 모니터하고 시스템의 제어 및 감시데이터의 취득이 가능하도록 개발되고 있다. 개발된 시스템은 IAEA의 공인을 받아 다른 공정에도 적용이 되어 국제사회에 기여할 수 있도록 하고자 한다.

현재 DUPIC 활동은 한국원자력연구소의 조사후시험시설과 조사재시험시설에서 이루어지고 있다. 조사재시험시설(IMEF)의 M6 핫셀에서 모든 DUPIC 공정이 이루어지며, 조사후시험시설(PIEF)의 9405 핫셀에서는 본격적인 DUPIC 공정을 시작하기 전에 사용후핵연료를 사용한 사전 특성시험이 이루어진다. 따라서 각 시설에 대해 적절한 감시시스템의 개발이 필요하다.

PIEF에서의 DUPIC 활동에 대한 안전조치를 위해 방사선 모니터 및 데이터 취득 장치로 이루어진 감시장비를 개발하여 성능검사를 거친 후 설치하였고 1998년 10월부터 운영하고 있다. 또한 DFDF(DUPIC Fuel Development Facility)¹⁾에서의 DUPIC 활동에 대한 안전조치를 위해서 CCD 카메라와 방사선 모니터 및 데이터 취득장치로 이루어진 통합감시장비를 개발중이다. 현재 장비는 시설내에 설치되어 작동중에 있으며 소프트웨어는 취득된 데이터 및 운행상황에 기초하여 개발하고 있다. 편의상 PIEF에서의 DUPIC 보장조치를 위한 시스템을 'PIEF 감시시스템(PIEF Safeguards Surveillance System, PSSS)', DFDF에서의 DUPIC 보장조치를 위한 시스템을 'DUPIC 감시시스템(DUPIC Safeguards Surveillance System, DSSS)' 이라 한다. 이것은 DUPIC의 주요 활동이 DFDF에서 행해지고, 그동안 이 시설에 대한 감시시스템을 'DUPIC 감시시스템'이라 불러왔기 때문이다.

현재 DUPIC 활동이 PIEF 및 IMEF에서 행해지고 있기 때문에 그에 대한 안전 조치로 IAEA는 각 시설에 그들의 C/S(Containment & Surveillance) 장비를 설치하여 운영하고 있는데, 그동안의 DUPIC 안전조치기술개발의 성과를 바탕으로 DUPIC의 장비 역시 활용하고 있다. PIEF에서의 DUPIC 활동에 대한 C/S는 방사선에 대해서만 행해지고 있으며, IAEA는 방사선검출기 및 데이터취득장비를 설치하였고 DUPIC의 PIEF 감시장비(PSSS)의 DSNM신호 역시 취득하고 있다. IMEF에서의 DUPIC활동에 대해서는 영상 및 방사선을 이용하여 C/S를 하고 있는데, 방사선에 대해서는 IAEA는 데이터취득장비만을 설치하여 DUPIC 감시장비(DSSS)의 두 대의 DSNM 및 DUPIC 계량관리용 중성자카운터(DSNC)의 신호를 취득하고 있다. 영상신호의 취득을 위해 IAEA는 3대의 카메라와 SDIS 서버를 설치하여 운영중이다.

이 보고서에는 현재까지의 DUPIC 격납 및 감시시스템의 개발에 대해 기술하였는데, 주로 하드웨어의 개발에 그 초점을 맞추었다. 소프트웨어는 현재 개발중으로

1) DUPIC의 본 연구가 이루어지고 있는 조사재시험시설(IMEF)의 M6핫셀을 가리킨다.

이 보고서에는 간단한 언급만 하였으며 다음 보고서에서 자세히 다루어질 것이다.

2장에는 DSSS의 전반적인 개발이력에 대해 간략히 설명하였고, DSSS의 하드웨어 및 소프트웨어에 대한 자세한 설명은 3장 및 4장에 각각 기술되었다. PSSS는 DSSS의 기술 일부를 사용한 것으로, 5장에 간단히 설명되었다. 부록에는 DSNM의 데이터를 취득하기 위해 개발한 DAQ카드에 대한 기술적인 사항이 있다.

제 2 장 DUPIC 감시시스템의 개요 및 개발이력

이 장에서는 DSSS에 대한 개요 및 DSSS와 PSSS²⁾의 개발이력에 대해 설명하였다. PSSS는 DSSS의 기술을 사용하여 만든 것으로 DSSS개발의 한 부분을 공유하기에 DSSS의 개발이력에 PSSS에 대한 소개도 간략히 하였다.

2-1절 DUPIC 감시시스템의 개요

모든 DUPIC 공정이 이루어지는 조사재시험시설(IMEF)의 M6 핫셀에서의 핵물질 반입, 반출을 감시하는 것은 공정에 사용되는 핵물질의 계량관리만큼 중요하다. 따라서 동 시설에서 핵물질이 이동 가능한 모든 경로에서 핵물질의 움직임을 모니터링 할 필요가 있는데, M6 핫셀에는 핵물질의 출입이 가능한 봉인되지 않은 2개의 경로가 있다. 모든 핵물질의 반입 및 반출이 이루어지는 핫셀 rear door가 1개 있으며, 또한 장비의 수리 및 보수를 위한 핫셀 지붕의 roof door가 1개 있다.

이들 출입구로의 접근을 감시할 수 있도록 CCD 카메라를 설치하였으며, 핵물질의 출입을 파악하기 위해 출입구의 바깥쪽에 중성자검출장비(DUPIC Safeguard Neutron Monitor, DSNM)를 설치하였다. 중성자 검출장비(DSNM)는 DUPIC 핵물질인 사용후핵연료에서 방출되는 중성자를 검출하여 핵연료의 움직임을 파악할 수 있도록 개발되었다.

CCD 카메라 및 DSNM으로 부터의 영상 및 방사선신호는 PC를 기반으로 한 데이터 취득장비에 의해 실시간(Real Time)으로 동시화(time-synchronized) 취득되고, 취득된 데이터는 소프트웨어에 의해 처리되어 핵물질의 거동을 자동진단할 수 있도록 개발되었다. 또한 데이터는 향후 Review를 위해 저장된다.

2) IMEF 및 PIEF에 대한 감시시스템. 1장 참조.

DUPIC 감시시스템(DSSS)은 위의 CCD 카메라, DSNM, 데이터 취득장비(PC), 처리 소프트웨어로 이루어진 시스템을 말한다. DUPIC 감시시스템은 현재 개발중으로, 이 보고서는 현재의 시스템 구성 및 1998년 3월 IMEF M6 핫셀에서 수행한 실험데이터의 분석결과를 중심으로 기술되었다.

2-2절 DSSS 및 PSSS의 개발이력

DUPIC 감시시스템은 현재 개발중이며 그동안 시스템의 성능을 평가하기 위한 실험이 있었는데, 각 실험에 있어 시스템 구성이 다르기 때문에 이해를 돕기 위해 먼저 실험을 중심으로 DSSS의 개발이력을 간단히 기술하고자 한다.

	주요사항	비고
1997년 4월	1차 실험	-IMEF M6에서 SF의 캐스크를 이용한 이송실험 -방사선 및 영상취득
1998년 3월	2차 실험	-IMEF M6에서 SF의 캐스크를 이용한 이송실험 -방사선 및 영상을 동기화하여 취득
1998년 10월	PSSS 설치	-PIEF에 PSSS 설치, 가동
1999년 12월	DSSS 설치	-IMEF에 DSSS 설치, 시험가동

표 2-1 DUPIC 격납 및 감시시스템의 주요개발 이력

2-2-1. 1차 실험

DSSS를 위한 1차 실험이 1997년 4월에 IMEF M6 핫셀에서 수행되었다. 사용 후핵연료(SF)를 10cm 길이로 절단한 rod-cut을 핫셀로부터 핵물질 이송용기인 캐스크에 옮겨 싯고 캐스크를 일정위치까지 이동한 후 다시 원위치로 돌아온다. 이런 과정을 몇번 반복한 후, SF를 캐스크에서 꺼내 핫셀에 보관한 후 실험을 종료하였다.

영상데이터를 얻기 위해 M6 핫셀의 rear door를 잘 바라볼 수 있는 위치에 비디오 카메라를 설치하여 실험과정을 녹화하였으며 방사선신호를 취득하기 위해 개발된 중성자검출장비(DSNM)를 M6 핫셀 rear door 바깥쪽에 설치하였다. DSNM의 신호(방사선데이터)는 PSR과 NCCWIN 프로그램을³⁾ 사용하여 매 10초마다 취득되었다. 실험 종료 후, 실험상황이 녹화된 영상을 VTR로 재생하여 PC에 설치된 MVB034) 영상보드에 입력하였으며, 매 10초마다의 640X480, 8bit Gray의 정지영상을 캡처하였다. 이것은 매 10초마다 취득된 방사선데이터와 시간동기가 이루어지도록 행해졌다.

캐스크의 위치를 알아내기 위하여 영상처리를 하였다. 영상처리는 먼저 적당한 영상을 '기본영상'으로 정하고 기본영상과 다른 영상의 차이를 구해 이진화 하였다. 이진영상을 10X10개의 소화면으로 나누고 각 소화면내의 흰색 픽셀의 수를 계산하여 그 값을 기준으로 캐스크의 위치를 정하였다. 이렇게 얻은 실험데이터의 일부를 사용하여 인공신경망을 기반으로 하는 진단 프로그램에 입력하여 학습을 시켰으며 학습된 데이터를 이용하여 나머지 실험데이터에 대한 핵물질의 거동을 진단하였다. 이 실험 및 분석을 통하여 영상 및 방사선데이터를 통합하여 인공신경망을 기반으로 한 핵물질 거동의 자동진단시스템의 타당성을 확인하였다.[2]

2-2-2. 2차 실험

DSSS 개발을 위한 2차 실험은 1998년 3월 IMEF M6 핫셀에서 행해졌는데, SF rod-cut(시용후핵연료 절단연료봉, 10cm) 36개를 캐스크를 사용하여 M6 핫셀안으로 옮긴 후, SF rod-cut 1개, 5개, 36개를 M6 핫셀에서 외부로 이송하였다.

3) PSR(Portable Shift Register)은 Aquila Tech사의 제품으로 중성자신호를 취득하고 분석하는데 사용되는 장비로, 사용된 모델명은 PSR-B이다. NCCWIN은 로스알라모스연구소에서 개발된 프로그램으로, PSR등을 통해 데이터를 취득하고 분석하는 프로그램이다.

4) 삼성전자의 흑백영상보드로, 현재의 DSSS에는 사용치 않는다.

실험에 사용된 하드웨어 구성은, 4대의 CCD 카메라(2대는 컬러, 2대는 흑백)가 M6 핫셀의 DFDF(DUPIC Fuel Development Facility) 지역에 설치되어 M6 핫셀의 rear door를 감시할 수 있도록 하였으며, CCD 카메라의 영상은 MVB03 영상카드에 직접 입력되어 PC에서 실시간으로 영상데이터를 취득할 수 있도록 하였다[3]. 한편 1대의 DSNM은 1차 실험과 마찬가지로 rear door 옆에 설치되었다. 1차 실험에서 DSNM의 신호를 취득하기 위해 사용된 NCCWIN 프로그램으로는 영상신호를 받을 수 없으므로 DUPIC C/S를 위한 프로그램을 개발하여 사용하였다. 한편 PSR 장비는 PC와 serial port를 통해 통신을 하는데, 이것은 CPU 점유율이 높아 영상처리를 같이 할 경우 많은 제약이 따른다. C/S를 위해서는 단지 검출된 중성자의 수를 계수하는 것으로 충분하기 때문에 간단한 카운터를 제작하여 PSR을 대신하였다. DSNM의 신호는 이 카운터를 통해 MVB03의 패러렐 포트에 입력되어 PC에서 읽히도록 하였다. 이들 영상데이터와 방사선데이터는 매 6초마다 실시간으로 동시에 취득되었다. DSNM의 프리앰프용 전원 및 He-3 튜브의 고전압은 PSR을 사용하여 공급하였다.

1차 실험에서는 PSR과 NCCWIN 프로그램을 사용하여 방사선 데이터를 얻었는데, 그 특성상 일정시간 간격 또는 정해진 시간에 데이터를 취득하기에는 무리였다.(특히 NCCWIN 는 이런 용도를 위해 만들어진 프로그램이 아니다.) 또한 실험 후 방사선 데이터에 맞추어(시간동기화 하여) 녹화테이프로부터 정지영상을 얻어야 했는데, 쉽지 않은 작업이었다. 하지만 2차 실험에서는, DSNM 과 CCD 카메라의 방사선 및 영상신호를 PC에서 직접 취득할 수 있는 하드웨어(PC 인터페이스 및 카운터) 및 소프트웨어를 개발하여, 실험중에 방사선 데이터 및 정지영상을 시간동기화하여 실시간으로 취득할 수 있었다.

2차 실험에 사용된 프로그램은 Win95환경에서 동작하며 GUI(그래픽 사용자 인터페이스)를 갖춰 사용하기 편리하도록 만들었다. 그 후 영상처리 및 Review 기능

과 1차 실험의 성과를 토대로 인공신경망을 사용한 핵물질의 거동진단기능도 추가하였다.

2-2-3. PSSS의 설치

PIEF 시설의 9405 핫셀에서 이루어지고 있는 DUPIC 분말/소결공정에 대한 안전조치의 필요성에 의해 DSNM-II와 앞의 2차실험에서 사용되었던 카운터를 PSR 및 PC와 함께 PIEF에 설치하였다. DSNM-II는 DSNM과 기본적으로 동일하지만 핫셀내에 설치되는 관계로 납차폐를 갖추었다. DSNM-II의 신호는 카운터에 의해 계수되고 카운터와 PC간의 인터페이스는 V-IO카드⁵⁾를 사용하였다. DSNM-II의 프리앰프 전원 및 고전압은 PSR을 사용하여 공급하였다. 2차 실험에서 사용한 프로그램을 바탕으로 데이터 취득 소프트웨어를 만들었으며, 이 시스템은 1998년 10월 설치된 이후 현재까지 잘 작동하고 있다. 한편 IAEA는 그들의 안전조치 장비를 별도로 설치하여 운영중인데, 그외에 DSNM-II의 신호를 분기하여 함께 취득하고 있다. PIEF에 대한 C/S 장비에 대해서는 5장에 좀 더 자세히 서술하였다.

2-2-4. DSSS의 설치(현재 구성)

2차실험후 IAEA의 카메라설치에 맞추어 동일위치에 DUPIC의 감시카메라 3대를 그림 2-1과 같이 설치하였다. DUPIC 감시카메라는 모두 컬러로 설치하였으며, Pan/Tilt 기능을 갖추어 원격조정이 가능하도록 하였다. 영상취득은 Marvel-G200 영상보드를 사용하였으며 취득되고 있는 영상은 640X480, 16bit color 이다.

IMEF M6 핫셀의 roof door 및 rear door 에 각각 1대씩의 DSNM을 설치하였고 2차실험에서의 카운터를 바탕으로 PC인터페이스를 갖춘 4채널입력의 DAQ 카드를 제작하여 두대의 DSNM과 M6핫셀내에 설치된 DSNC⁶⁾의 데이터 취득에

5) Ohm사의 제품으로, PC 및 주변기기와 간단한 인터페이스를 가능하도록 해준다..

사용하고 있다.

취득된 영상 및 방사선데이터를 실시간으로 분석하고 핵물질의 거동을 진단할 수 있는 소프트웨어를 2차 실험을 토대로 개발하였으며 현재 시험운영중이다. 자세한 내용은 3장 및 4장에서 소개한다.

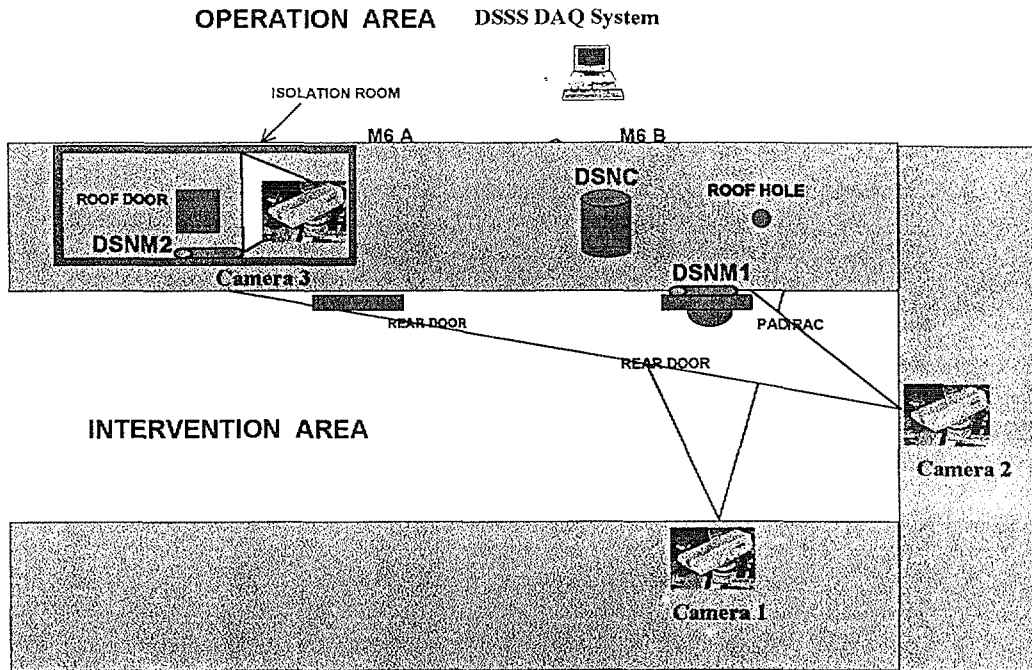


그림 2-1 DUPIC 감시시스템의 설치

6) DSNC(Dupic Safeguards Neutron Counter)는 사용후핵연료의 Cm양을 측정해 간접적으로 U 및 Pu의 양을 비파괴적으로 측정하는 장치이다. “DUPIC 핵물질 계량관리를 위한 DSNC의 교정 및 IAEA 인증시험”, 차홍렬외, KAERI/TR-1477/2000, 2000

제 3 장 DUPIC 감시시스템의 하드웨어

이 장에서는 DUPIC 감시시스템(DSSS)의 하드웨어에 대해 소개한다. 주로 현재 개발되어 있는 것을 중심으로 기술하였으며 과거 개발이력도 간략히 설명하였다.

3-1절 하드웨어 구성 및 설치

주요 하드웨어 사양			
	모델	수량	공급자
PC	PIII 500	1	조립
CCD 카메라	SAC-410MD	3	삼성
중성자 모니터	DSNM	2	KAERI
중성자 카운터	DSNC	1	KAERI
영상보드	Marvel G200	1	Matrox
DAQ 카드	DAQ 카드	1	KAERI
그 외 하드웨어			
Pan/Tilt	SPT-2410	3	삼성
Pan/Tilt Controller	SPC-1004	1	삼성
Multiplexer	SDM-16	1	삼성
Camera Power Supply	SPW-1008	1	삼성
IAEA 장비			
AMSR	JSR	2	Aquila Tech.

표 3-1 DSSS의 하드웨어구성 내역.

현재 DSSS의 구성은 다음의 표 3-1 및 그림 3-1과 같다. 3대의 컬러

CCD 카메라와 2대의 DSNM, 그리고 데이터취득장비 및 PC이다. 방사선 및 영상신호는 시간적으로 동기되어 취득되고 처리되어 핵물질거동진단이 이루어진다. 이 결과는 네트워크를 통해 원격의 PC에 전달될 수 있으며, 또한 원격의 PC에서 DSSS의 제어 및 데이터로의 접근이 가능하다. 표 3-1에서 DSNC는 핵물질계량관리에 사용되는 장비로 DSSS에 의해서도 그 데이터가 취득되고 있다. IAEA는 별도의 방사선검출장비를 설치하는 대신 DSNM 및 DSNC의 데이터를 DSSS와 공유하는데, DSNM 및 DSNC의 전원과 고전압을 IAEA의 장비(JSR)⁷⁾를 통해서 공급하고 있다.

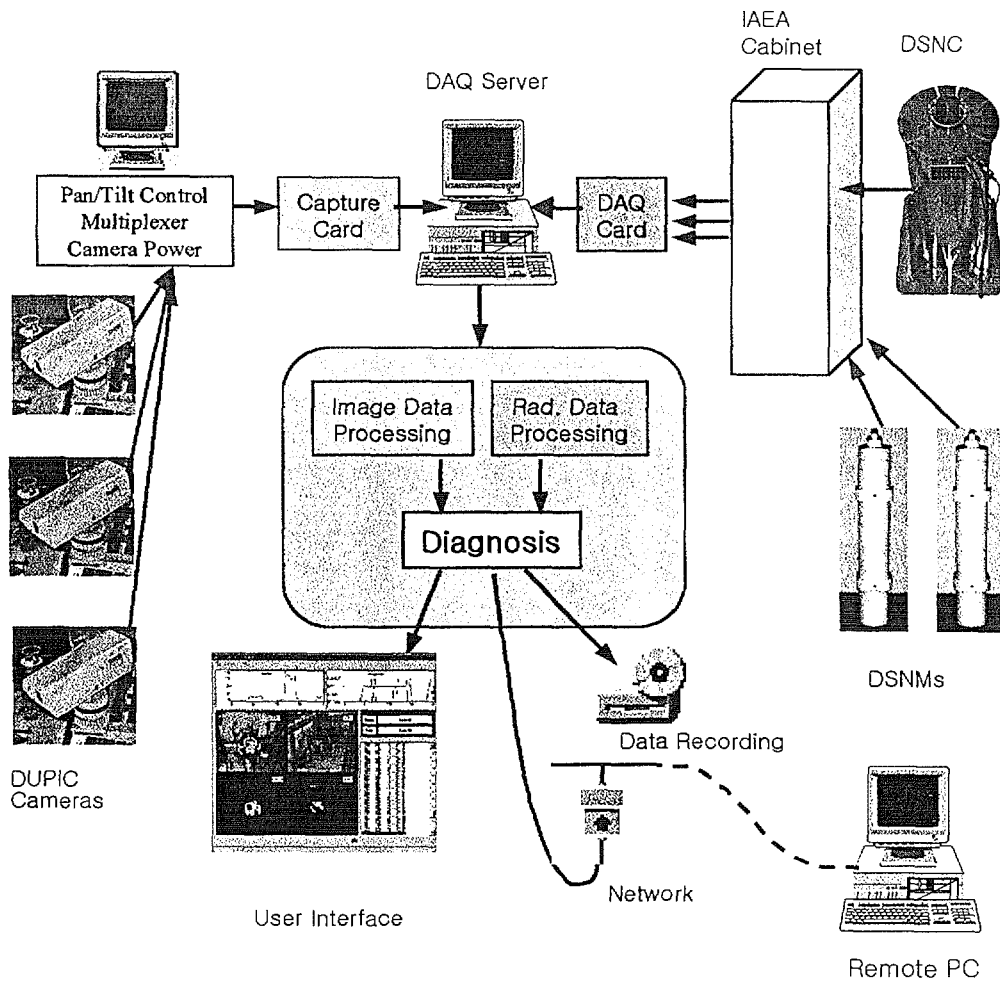


그림 3-1 DSSS의 구성

7) 표 3-1에는 DSSS와 직접적인 관련이 있는 IAEA장비만을 표시하였다.

그림 3-2에 나타난 바와 같이, PC 및 데이터 취득장비는 DFDF의 작업 구역에 설치하였고, 카메라 및 DSNM은 DFDF의 서비스구역에 설치하였다. 그림 2-1과 같이 CCD 카메라는 Roof Door 및 Rear Door를 감시 할 수 있도록 설치하였으며, DSNM 은 시설운영에 방해를 주지 않으면서 핵 물질의 이동을 잘 모니터링 할 수 있도록 Roof Door 및 Rear Door 근처에 설치하였다. DFDF 지역에 설치한 DSNM 및 CCD 카메라로부터 작업 구역의 데이터 취득장치까지는 약 40m 케이블로 연결하였다.

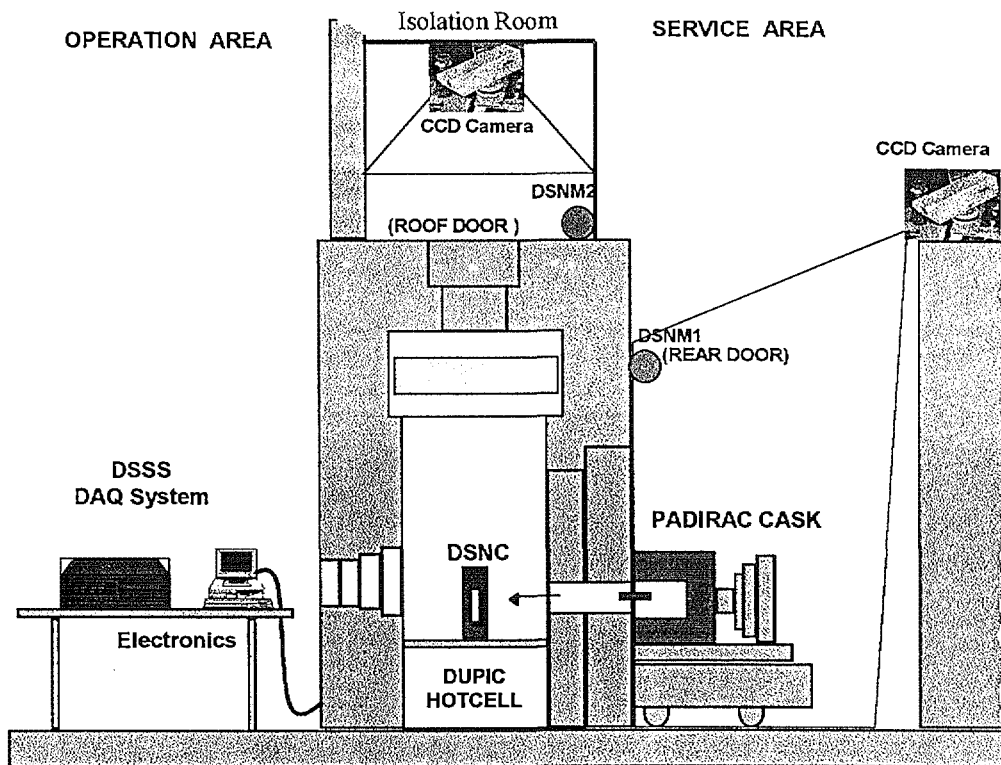


그림 3-2 DFDF의 서비스지역에 설치된 카메라 및 DSNM과 작업구역의 데이터 취득장비

3-2절 중성자 모니터(DSNM)의 개발

3-2-1 개요

DUPIC 공정에서 사용되는 핵물질은 사용후핵연료로서 강한 세기의 방사선을 방출하는데 특히 중성자나 감마선의 세기는 매우 크다. 이들 방사선을 검출할 수 있는 검출장비는 높은 방사선에 잘 견딜 수 있어야 하며, 또한 설치될 공간의 요건을 만족해야만 한다. DSNM은 중성자신호를 검출할 수 있도록 설계된 장비로써 조사재시험시설의 M6 핫셀 내부의 매우 제한된 공간을 고려하여 그림 3-3와 같이 외부에 설치하도록 제작되었으며 또한 검출된 신호에 대한 IAEA 안전조치를 만족하기 위해서 IAEA 봉인(sealing)을 할 수 있도록 설계 및 제작되었다.

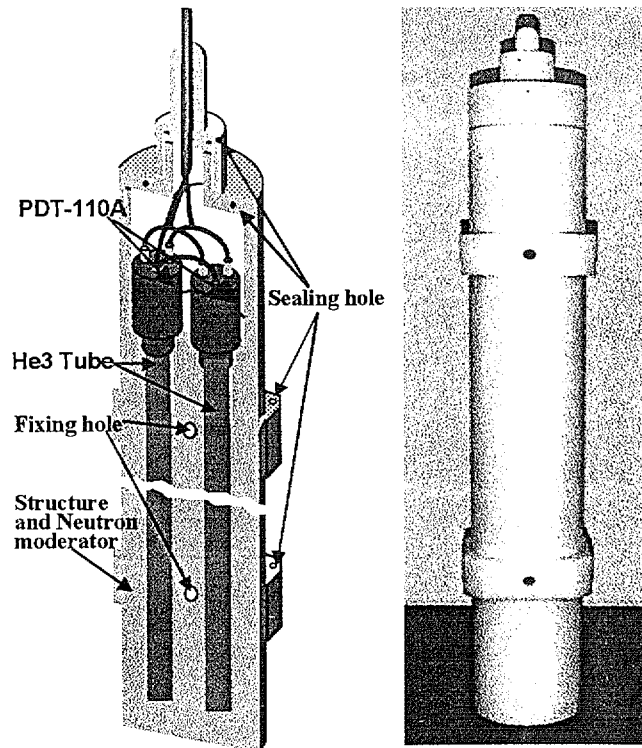


그림 3-3 DSNM(DUPIC Safeguards Neutron Monitor)

DSNM은 중성자 검출기(He-3 proportional counter tube)와 검출된 신호를 증폭시켜주는 전치증폭기(preamplifier & amplifier)로 이루어져 있으며, DSNM의 몸체는 중성자 검출 효율(He-3의 중성자 흡수단면적)을 높이기 위하여 고밀도 폴리에틸렌을 사용하였는데, 고속 중성자는 감속제인 폴리에틸렌에 의해 열 중성자로 감속되어 중성자 검출기의 헬륨가스와 잘 반응하게 된다. DSNM에는 검출효율과 신뢰성을 높이기 위해 두 쌍의 He-3 proportional counter tube 와 전치증폭기를 사용하였다[4-5].

감속된 열중성자를 검출하기 때문에 중성자의 원래의 에너지나 운동량의 정보는 얻을 수 없다. 때문에 신호의 크기(일반적으로 에너지 정보를 담고있는)는 무의미해 지고, 검출된 방사선 신호는 전치증폭기에 의해 단순한 TTL 신호로 변환되어진다. 이 TTL 신호의 수는 검출된 방사선(중성자)의 수에 해당된다. 비록 에너지나 운동량 정보를 잃더라도, 신호들 사이의 시간적 상관관계를 이용하여 방사선을 내는 핵종의 구별이 어느정도 가능한데, 이는 중성자가 핵종에 따라 (a,n) 반응, 자발 또는 유도핵분열에 의해 방출되며 이들 각 과정으로부터 방출되는 시간적으로 상관있는 중성자의 수가 다르기 때문이다.⁸⁾ 하지만 감시목적으로 사용되는 DSNM에 있어서는 핵종보다는 핵물질의 유무 또는 이동을 실시간으로 파악하는데 관심이 있으므로 단순히 TTL 신호를 계수하기만 하면 된다.

DSNC의 신호를 취득하고 분석하는데 PSR(Portable Shift Register) 장비와 NCCWIN 이라는 프로그램을 사용하는데, PSR 은 핵종의 구별을 위해 입력신호의 시간 상관관계를 분석할 수 있는 기능을 갖추고 있다[6-7]. 하지만 DSNM에 있어서는 단순히 신호의 계수만 하면 되고, 실시간으로 데이터 취득이 가능해야 한다. PSR은 이런 목적에 잘 맞지 않기 때문에 다음절의 DAQ 카드를 제작하여 사용하고 있다.

8) DSNC는 이러한 원리를 이용하여 사용후핵연료의 Cm양을 측정한다.

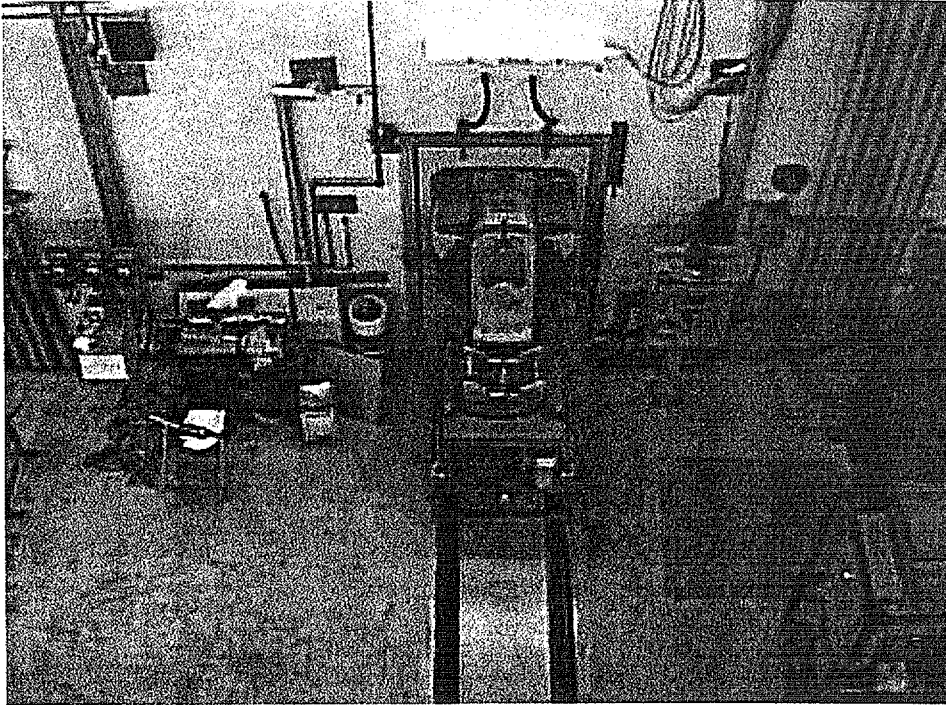


그림 3-4 DFDF의 rear door에 설치된 DSNM1

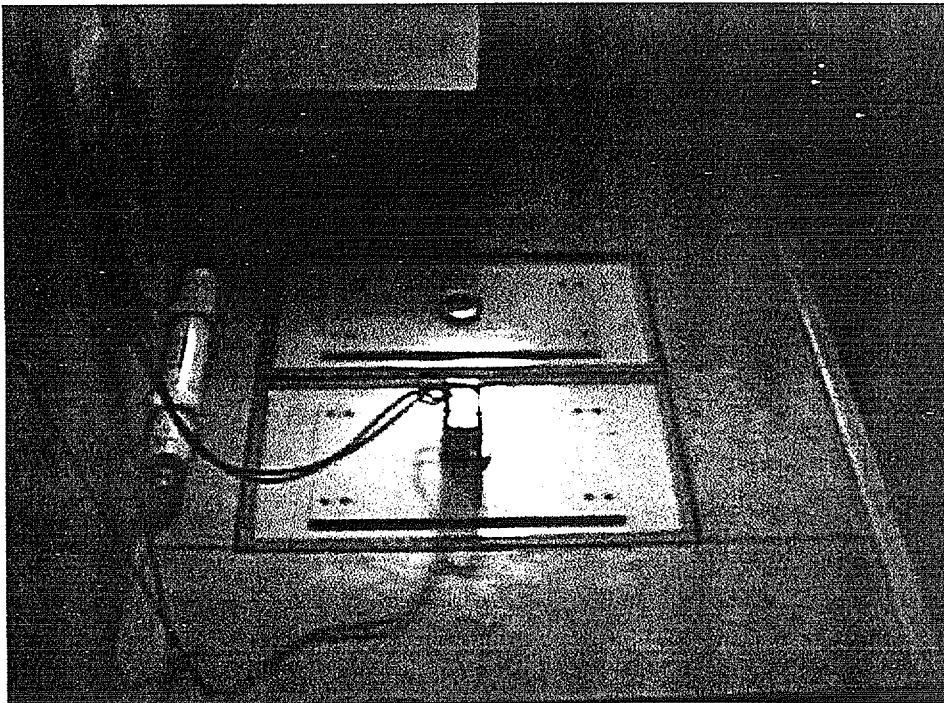


그림 3-5 DFDF의 Isolation Room에 설치된 DSNM2

현재 M6핵셀에서 사용후핵연료를 사용한 DUPIC 연구가 진행되고 있으며 DSNM 및 DSNC는 정상 작동을 하고 있다. IAEA는 DSNM 및 DSNC를 IAEA 안전조치 수단으로 사용하고 있으며⁹⁾ IAEA가 보유하고 있는 authenticated neutron source 인 Cf-252(activity 0.143 MBq, source No. Y-124)를 사용하여 주기적으로 DSNM의 건전성을 점검할 예정이다.

DSNM을 작동시키려면, He-3 tube에 고전압을 인가하고 프리앰프에 5V의 전원을 공급해 주어야 한다. 검출되는 신호의 rate(신호수/초)는 인가되는 고전압에 따라 달라지므로 일정하게 유지시켜 주어야 한다. IAEA에서 DSNM 및 DSNC를 안전조치 수단으로 사용하고, DSNM 및 DSNC의 전원공급은 그들의 장비인 JSR에 의해 이루어지고 있기에 DSSS에서는 전원공급장치를 채용하지 않았다.

3-2-2 설계 및 제작

DSNM의 사양은 표 3-2와 같으며 설계시 다음 사항을 고려하였다.

- DSNM은 제한된 핵셀의 공간을 고려해 핵셀외부에 설치하며, 감마선차폐는 고려치 않는다.
- 중성자검출효율을 높이기 위해 고밀도($0.95\text{g}/\text{mm}^3$ 이상) 폴리에틸렌을 사용하여 몸체를 제작한다.
- 방향성과 검출효율을 높이기 위해 He-3 tube 2개를 사용한다.
- DSNM의 건전성을 유지하기 위해 봉인(sealing)이 가능하도록 한다.

9) DSNC의 신호는 3개로 분기된다. 하나는 IAEA가 사용하며 다른 하나는 DUPIC 계량 관리용 PSR 및 PC에 사용되고 남은 하나는 DSSS에 연결되어 있다. 2대의 DSNM신호는 각각 2개씩 그 신호가 분기되어 한쌍은 IAEA 장비로, 한쌍은 DSSS에 데이터가 취득된다.

- 검출된 방사선 신호는 길이 20m 이상의 신호선에 대해서도 신호의 손실이 없어야 한다.
- 수중에도 설치가 가능하도록 방수개념을 도입한다.

중성자 검출기(He-3 proportional tube)	
모델	RS-P4-0828-114, Reuter-Stokes, USA
유효길이	28 inch
지름	1 inch
가스압력	4 atm
혼합가스	N2 gas
케이스	Aluminium with carbon coating

전치증폭기	
Model	PDT-110A, Precision Data Technology Inc., USA
Mounting threads	1/4-12UNF-2A
Power	+5V DC
Output Signal	TTL Pulse of width 50 nsec

DSNM 몸체	
재질	폴리에틸렌
밀도	0.95 g/mm ³ 이상
크기	φ 150XH1030 mm
두께	30mm
본체고정용 홀	2개
개봉방지 봉인 홀	12개

표 3-2 DSNM의 사양

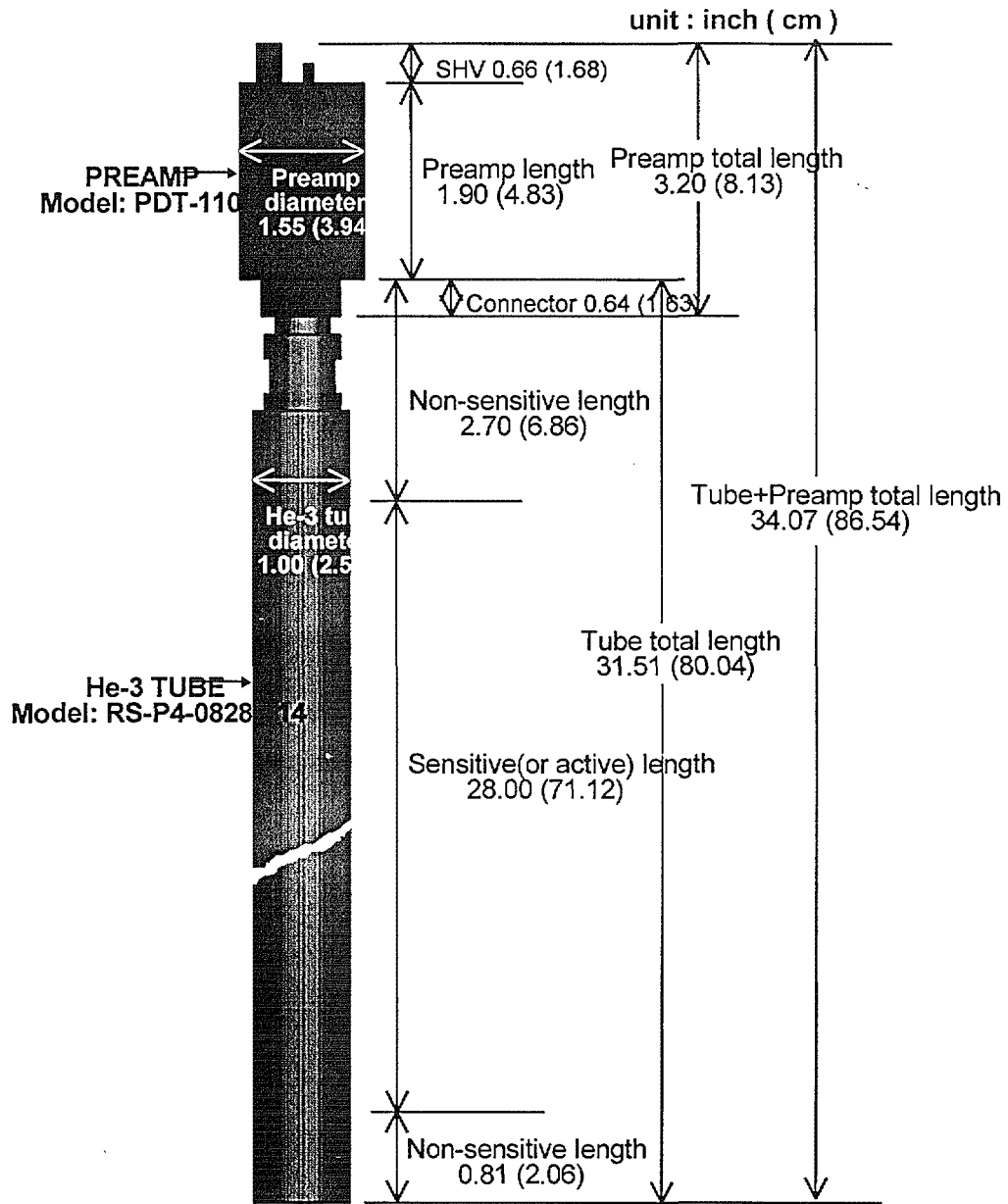


그림 3-6 He-3 Proportional Counter Tube & Preamp

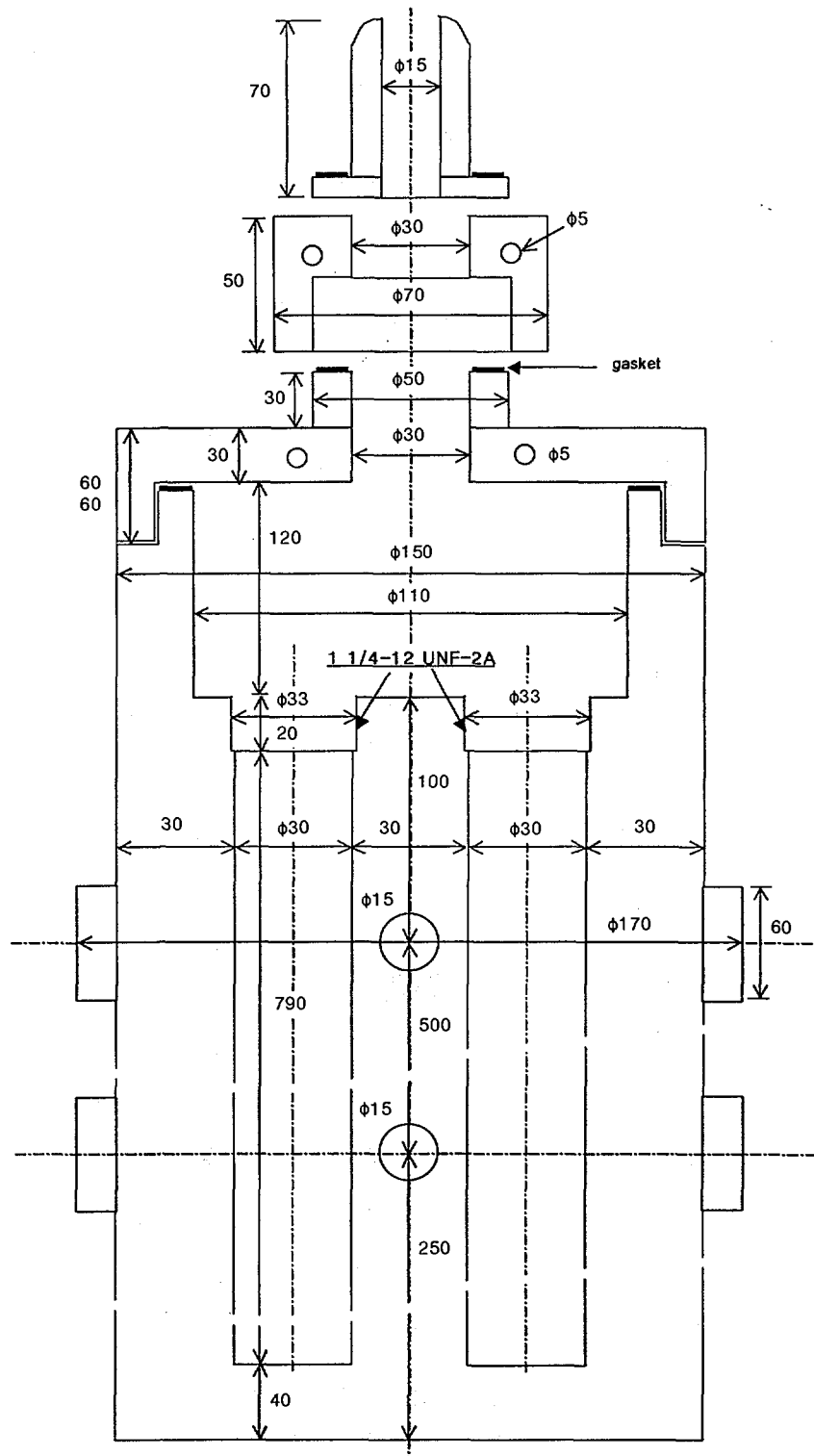


그림 3-7 DSNM의 폴리에틸렌 몸체설계(단위: mm)

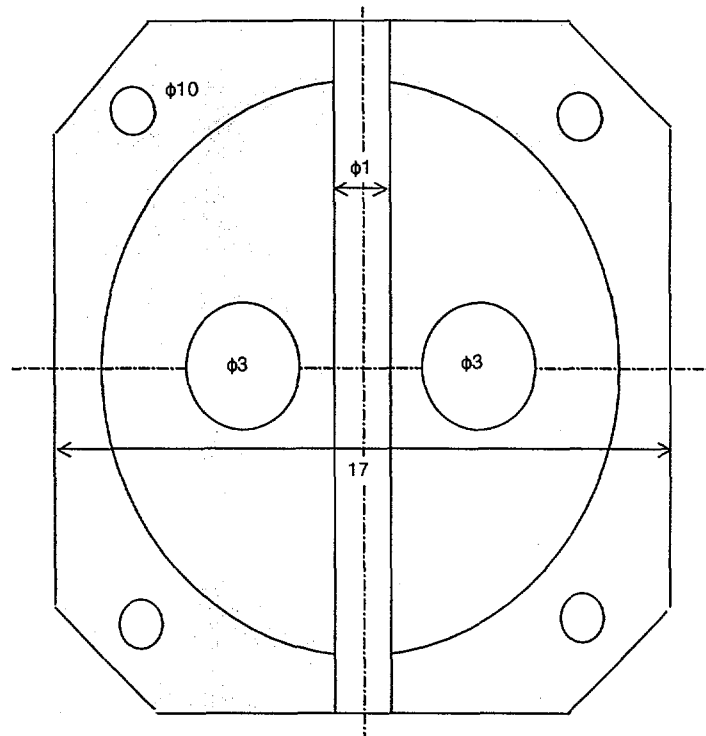


그림 3-8 DSNM의 설계(Top View)(단위:mm)

3-2-3 성능검사

핵물질에서 방출되는 중성자는 (α, n) 반응에 의한 중성자와 자발 및 유도핵분열에 의한 중성자 등이 있으나 핵물질 이동을 모니터링 목적 측면에서는 이들을 구별할 필요가 없이 다만 총 중성자수만 검출하면 된다. 즉, 검출되는 중성자수를 정량분석하는 것이 아니고 중성자를 방출하는 물질의 이동 유,무에 관심이 있기 때문에 검출기의 상대적 효율은 큰 의미가 없다. DSNM의 검출기 부분과 신호처리기 사이의 신호선 길이가 약 20 m로 길기 때문에 생길 수도 있는 부분적인 효율손실을 보정해 줄 필요가 없다는 의미다. 제작된 DSNM에 대해 다음 3가지 경우에 대해 성능시험을 수행하였다.

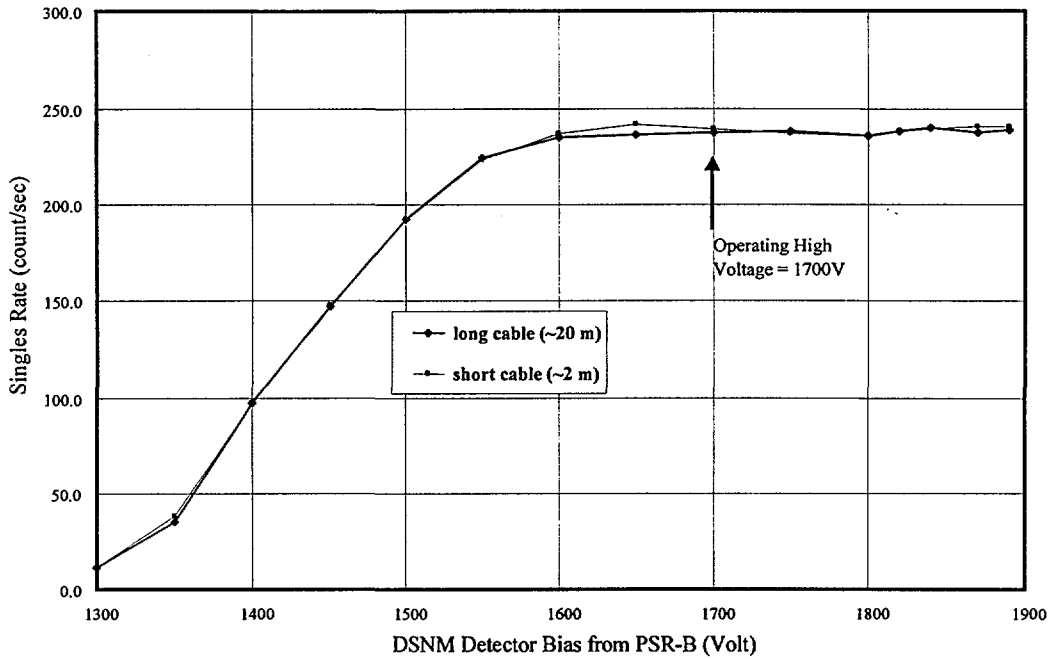


그림 3-9 High Voltage Plateau for Long and Short Cables using Cf-252 Source

(1) High Voltage Plateau 결정

DSNM의 He-3 검출기에 인가되는 고전압을 결정하기 위하여 plateau test를 수행하였다, 실험은 DSNM의 검출기부에서 신호처리까지의 signal, +5V 그리고 H.V. cable 길이가 2m와 20m에 대해 각각 수행하였으며, 검출효율을 높이기 위하여 전치전폭기의 threshold adjustment를 최대로 개방하였다. 사용된 중성자 선원은 Cf-252 중성자 선원(00000000 n/s as 1997. 1. 13)으로 DSNM의 길이방향으로 중앙 표면에 위치하도록 하였다. 전자신호처리의 gate는 64 μ s, predelay는 4.5 μ s 그리고 측정시간은 10초씩 10회 반복하였다. 그림 3-9는 각각의 cable 길이에 따른 H.V. plateau로 cable 길이에 따른 signal 및 high voltage 등의 손실이 전혀 없음을 볼 수 있으며 따라서 1700V를 동작전압으로 결정하였다.

(2) Cable 연결방법에 따른 계수율 변화

DSNM에 사용된 2개의 H-3 검출기와 전치증폭기에서 검출된 중성자 신호는 전자신호처리부의 PSR-B로 입력이 된다. 이때 2개의 검출기를 그림 3-10과 같이 연결했을 때와 각각의 검출기로부터 검출된 신호와의 계수율손실 관계를 살펴보았다. 먼저 +5V cable과 H.V cable은 “T” 콘넥터를 사용하여 연결하고, signal cable은 직렬로 연결하여 측정하였으며, 각각의 검출기에 독립적으로 cables을 연결하여 측정한 값을 비교하였다. 측정조건은 앞 절에서 기술한 것과 동일하며 단지 측정시간은 10초씩 30회 반복하였다.

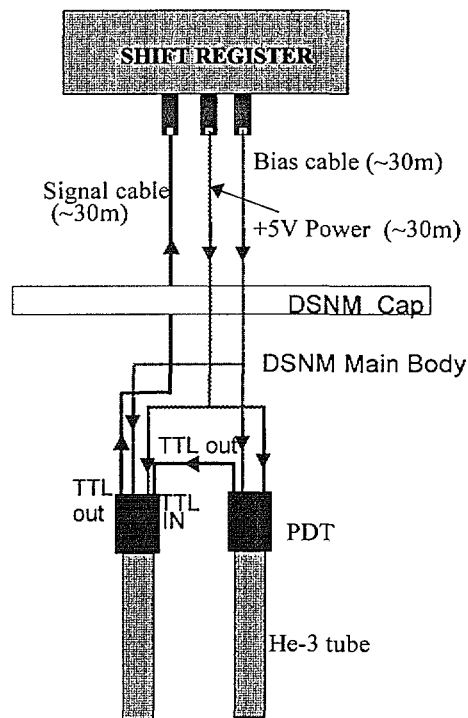


그림 3-10 PDT의 직렬연결

표 3-3는 2개의 검출기를 각각 독립적으로 측정한 결과 및 두 값의 산술적인 합 그리고 2개의 검출기를 그림 3-10과 같이 서로 연결했을 때의 결과를 보여준다. 표 3-3에서 Singles rate에 대해 독립적으로 측정한 결과를 합한 것과 서로 연결했을 때의 결과는 거의 같다. 이는 DSNM에서

cable 체결방법에 의한 signal 손실은 없음을 보여준다.

	Tube A	Tube B	Tube A + Tube B	Tube A+B
Short Cable (~2 m)	251.95 +/- 0.98	246.41 +/- 0.97	498.36	498.83 +/- 1.47
Long Cable (~20 m)	249.92 +/- 0.98	245.28 +/- 0.09	495.20	495.85 +/- 1.47

표 3-3 케이블 체결방법에 따른 검출효과

(3) 사용후핵연료를 사용한 실증실험

2차실험에서 사용후핵연료 이송을 DSNM을 사용하여 모니터링하였으며 이에 대한 논의는 다음에서 이루어 질 것이다. 실험의 결과 DSNM은 사용후핵연료의 이송을 매우 잘 감지하였고 현재 DSSS의 방사선모니터장비로 활용중이다.

3-3절 DAQ 카드

앞절에서 기술한 바와 같이, 여러개의 DSNM의 입력을 실시간으로 처리하기 위하여 DAQ 카드를 제작하였다. 또한 입력채널의 수가 1개뿐인 영상카드에서 여러 카메라 입력을 받을 수 있는 기능도 추가하였다. 참고로 여기서는 그 특성에 대해서만 기술하였으며 DAQ 카드의 회로 및 사용방법은 부록 1 및 부록 2를 참조하기 바란다.

3-3-1 DAQ 카드의 제작

2차실험(1998년 3월) 당시에는 실시간 방사선 데이터 취득을 위해 1채널 입력의 카운터를 제작하여 영상보드 MVB03의 패러렐 포트를 통해 PC로 데이터를 전송하였다. 현재는 이 카운터를 원형으로 하여 PC의 ISA 슬롯에 꽂아 사용할 수 있는 DAQ 카드를 제작하였다(그림 3-11).

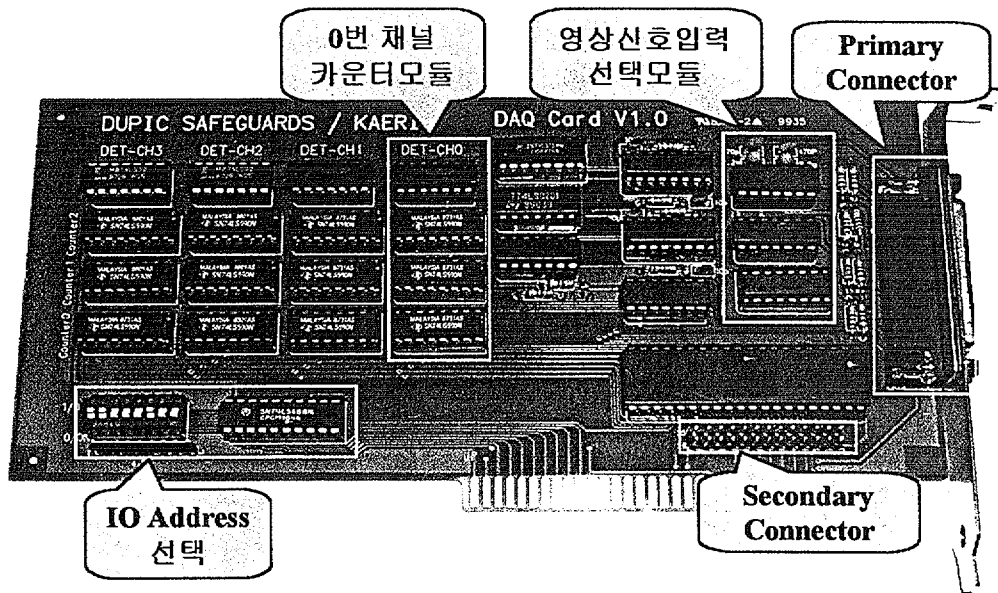


그림 3-11 DAQ 카드

DAQ 카드의 회로는 그림 3-12와 같이 인터페이스 모듈[8-9], 제어신호 모듈, 카운터 모듈, 영상선택 모듈의 4 부분으로 나뉜다. 인터페이스 모듈은 PC와 각 모듈사이의 인터페이스를 담당하고 제어신호 모듈은 카운터 모듈의 제어를 위한 펄스를 발생시킨다. 장착된 4개의 카운터 모듈은 독립적으로 동작하여 4대까지의 방사선검출기 신호를 계수할 수 있고, 영상선택 모듈은 4개의 영상입력 중에서 한 개의 영상입력을 선택하여 출력한다.

각 카운터는 24비트까지($\sim 10^7$) 계수할 수 있으며 최대 입력 주파수는

16MHz로 DSNM의 신호(10MHz)를 충분히 처리할 수 있도록 설계되었다. PC로부터 한 개의 Reset 신호를 받으면 카운터는 그동안 수한 값을 카운터 IC내의 레지스터에 저장한 후 0으로 Reset 되고 새로 계수를 시작하며, 레지스터에 저장된 값은 PC로 읽혀진다. Reset 신호 받은 후 새로운 계수를 시작할 때까지의 시간을 Dead Time 이라 하며 Dead Time 은 1 μ S 이하로서 거의 연속적인 데이터 취득을 한다고 할 수 있다.

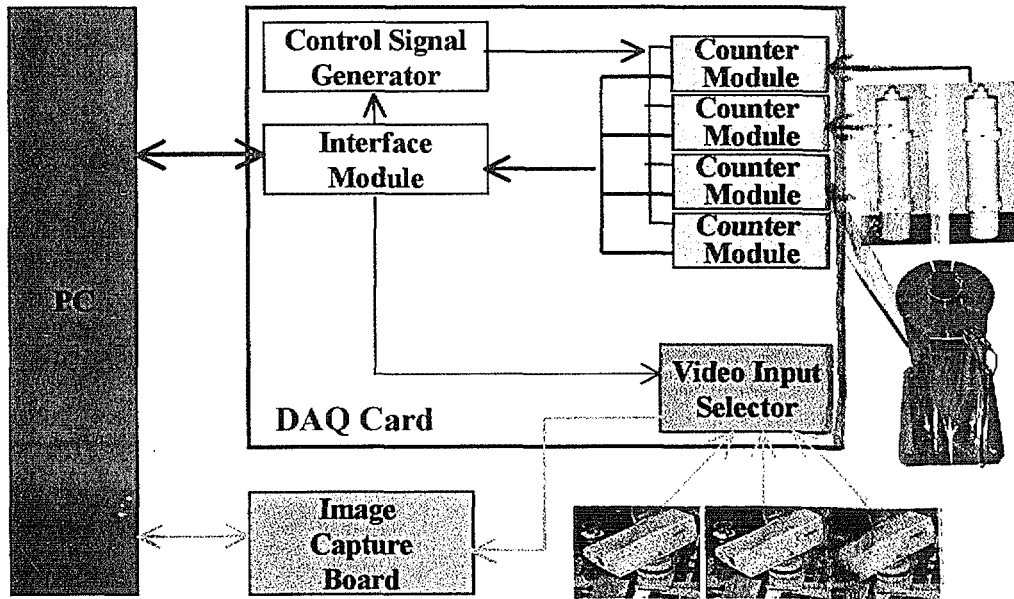


그림 3-12 DAQ 카드의 구성

3-3-2 DAQ카드의 성능검사

DSNM의 신호를 분기하여 PSR과 DAQ카드를 사용하여 데이터를 동시에 취득하였다. PSR의 신호는 노트북컴퓨터에 NCCWIN을 실행하여 취득하였고 DAQ카드는 데스크탑 PC에 설치하여 DSSS 프로그램으로 취득하였다. 10초간격으로 데이터를 받았으며 Cf-252 방사선 소스를 DSNM 근처에서 먼 위치까지 이동시켜 보았다. 결과는 그림 3-13과 같으며 두 시스템에서 데이터는 비교적 잘 일치하고 있다. 두 시스템에서 차이가 나는

부분이 있는데, 그것은 시스템간에 시간에 대한 동기화가 이루어지지 않았기 때문이다.

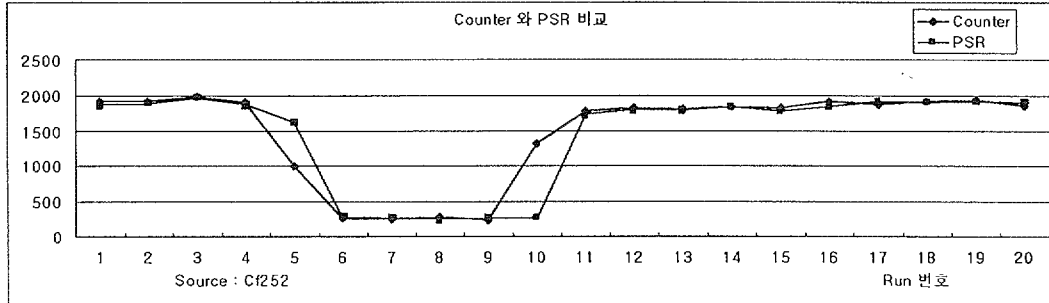


그림 3-13 DAQ카드의 성능검사

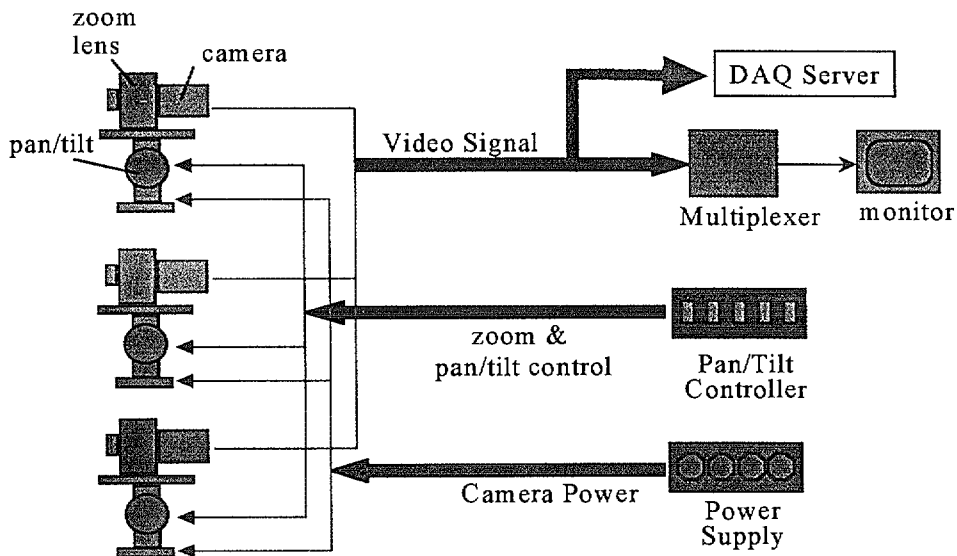


그림 3-14 카메라 시스템

3-4절 CCD 카메라 및 영상 보드

3-4-1 CCD 카메라 시스템

현재 DFDF에는 컬러 CCD 카메라 3대가 그림 2-1와 같은 위치에 설

치되어 있다. 그림 3-15는 각 카메라에서 바라본 영상과 DFDF의 Isolation Room에 설치된 카메라이다. 앞서 설명한 바와 같이 DUPIC과 IAEA는 영상을 각각 취득하고 있다. 그림 3-14에 보여진 바와 같이 DUPIC 카메라는 Pan/Tilt 와 줌 기능을 갖추고 있다. 카메라의 영상신호는 DAQ 서버에 의해 취득되는 한편 멀티플렉스를 통해 카메라용 모니터에 보여진다.

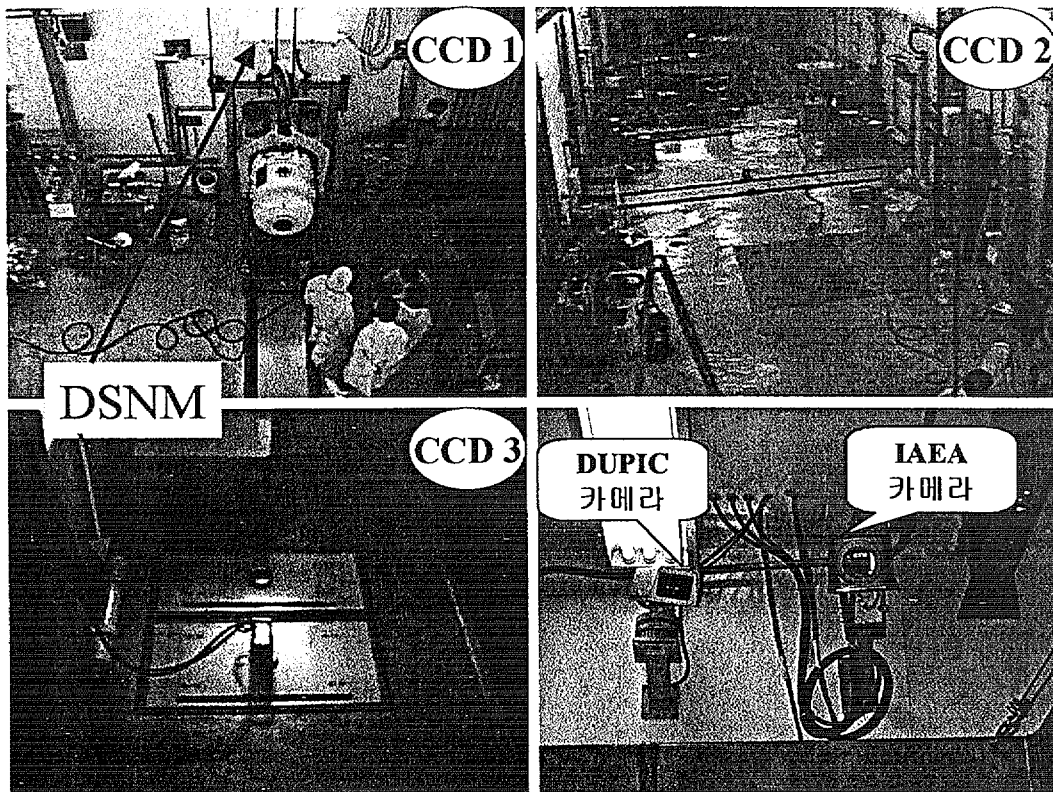


그림 3-15 각 카메라에서 바라본 영상 및 M6의 Isolation Room에 설치된 카메라(CCD3)

3-4-2 여러 영상보드의 특성

초기에는 삼성의 MVB03을 테스트하였으나 그후 팬택의 MMPro를 거쳐 현재는 Matrox의 Marvel-G200을 영상보드로 사용하고 있다. 여기서는

이들 보드의 특성에 대해 간략히 기술하였다.

(1) 삼성의 MVB03[3]

이 카드는 6개의 흑백영상을 받을 수 있고 자체적인 DSP(Digital Signal Processor)를 사용해 내부적으로 몇가지 영상처리기능을 갖고 있는 반면, 컬러영상은 처리할 수 없고 그 처리속도 또한 상대적으로 느렸다(한 장의 640X480 8bit Gray 영상을 캡처하고 영상처리 없이 PC의 메모리로 전송하거나 하드디스크에 저장하는데 약 1초 정도의 시간을 필요로 한다). 입력포트는 6개이지만 영상을 6개의 입력에서 동시에 받을 수 있는 것은 아니고, 순차적으로 취득할 수 있을 뿐이다.

(2) 팬택의 MMPro

캐스크를 잘 구분해 내기 위해 컬러 영상을 처리해야 할 필요성이 대두되었고, MVB03에서 제공되는 영상처리기능 외에 자체적인 영상처리 루틴이 필요하였다. 또한 캐스크의 이동을 적절히 파악하기 위해서는 좀 더 빠른 처리속도가 요구되어졌다. PC의 빠른 속도와 충분한 메모리, 자체적인 영상처리 루틴의 필요성으로 모든 영상처리는 PC의 메모리 상에서하기로 결정하였으며, 따라서 영상보드는 단순한 정지영상 캡처 기능만이 필요하기에 저가의 영상보드 중에서 팬택의 MMPro를 선택하여 테스트하였다. MMPro는 영상입력 채널의 수가 2개이고 컬러영상을 다룰 수 있으며 정지영상을 캡처하여 PC의 하드디스크에 저장하는데 있어 MVB03 보다 빠르다(약 1/2). 하지만 이 보드 역시 다음에 기술될 여러 문제점이 있어 다음에 기술될 Matrox의 Marvel-G200으로 대체되었다.

MVB03도 마찬가지로이지만 MMPro는 특정 VGA 카드(속도가 느린 구형)와 사용해야만 제 기능을 하는데, 이런 구형의 VGA 카드는 오히려 구하기 어렵다. 또한 MMPro는 개발 완료된 제품으로 16bit 환경(Window

3.1)에서의 SDK((Software Development Kit) 만이 제공되고 있는 실정으
로 DUPIC 감시 시스템은 Win98 환경에서 32bit로 개발중이기 때문에,
16bit 와 32bit 프로그래밍을 병행해야 하는 어려움이 있다.

(3) Matrox Marvel-G200

이 카드는 VGA카드와 영상캡처장치가 함께 있는 제품으로써 비교적
저가이면서 괜찮은 성능을 보이고 있어 현재 이 보드를 기반으로 DUPIC
감시시스템을 개발하고 있다. 마블 G200 은 입력채널의 수가 1개이지만,
DAQ 카드의 영상입력선택 장치를 사용하여 4대까지의 CCD 카메라의 신
호를 처리할 수 있게 되었다. 단점은 위의 다른 보드도 마찬가지로지만 여
러 카메라의 영상을 동시에 처리할 수 없기에, 고속으로 영상을 취득 및
처리할 수 없다는 점과 다른 VGA 카드와는 함께 사용할 수 없다는 것이
다.

소프트웨어의 개발에 있어서 Windows의 'Video For Window(VFW)'
라는 표준 라이브러리 함수를 사용하고 있는데, 개발된 소프트웨어는 차후
VFW를 지원하는 다른 영상카드를 사용하더라도 수정없이 사용할 수 있
다.

제 4 장 DUPIC 감시시스템의 소프트웨어

4-1절 DSSS 소프트웨어의 개요

DSSS 의 소프트웨어는 Windows 98을 기반으로 작성되었으며 사용자 인터페이스는 친숙한 메뉴기반의 GUI 이다. 프로그램의 개발은 Borland 의 C++ Builder 4에서 이루어져왔는데, C++를 기반으로 하고 있어 실행시간이 빠른 제품을 만들 수 있고 다양한 컴포넌트를 사용하여 제품 개발에 소요되는 시간을 크게 단축시킬 수 있기에 선택되었다[10-14].

DSSS 소프트웨어는 하드웨어로부터 영상신호 및 방사선신호를 취득하고 이를 처리한다. 처리된 데이터를 거동진단 알고리즘에 입력하여 현재의 상황에 대한 판단을 내리고 그에 따라 데이터의 저장 및 원격서버로 결과를 송출한다.

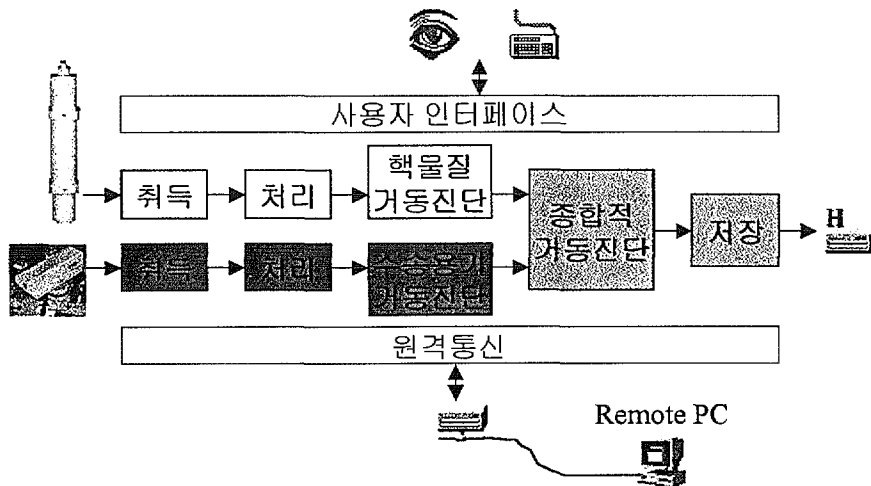


그림 4-1 DSSS 소프트웨어의 구성

프로그램의 구성은 데이터 측면에서 구분하면 “DAQ” 와 “Review” 로 나눌 수 있는데, 거의 동일하며 단지 DAQ(주 메뉴에서 New에 해당)는

새로운 데이터를 하드웨어로부터 직접 취득하는 반면 Review(메뉴의 Open)는 저장된 데이터파일로부터 읽어들인다. 기능적인 측면에서 나누면 그림 4-1과 같이 사용자인터페이스, 데이터취득, 데이터처리, 거동진단, 원격통신, 그리고 인공지능망학습의 5가지로 나눌 수 있다.

거동진단은 1단계의 개별적 거동진단과 2단계의 종합적 거동진단으로 나누어진다. 1단계에서는 방사선데이터를 사용한 핵물질 거동진단과 영상 데이터를 이용한 수송용기 거동진단이 서로 독립적으로 이루어지는데, 거동진단의 결과는 'No Detection', 'Fade In', 'Rest', 'Fade Out' 의 4가지 중의 하나이다. 2단계에서는 1단계에서의 핵물질 거동진단, 수송용기 거동진단의 결과 및 영상과 방사선데이터를 종합하여 총체적인 핵물질 수송에 대한 거동진단을 한다. 1단계 거동진단에 대한 연구가 아직 진행중이며 이 보고서에는 1단계 거동진단의 결과만 언급되었다.

DSSS 소프트웨어에서 핵심적인 부분은 데이터 처리 및 거동진단 알고리즘인데, 현재 그 연구가 진행중에 있으며 그 외의 다른 부분(사용자 인터페이스, 보안, 원격통신)은 기본적인 기능만을 구현해 놓았으며 차후 개선해 나갈 것이다. 앞서 밝힌 바와 같이 이 보고서에서는 소프트웨어에 대해 지금까지의 결과를 바탕으로 간략히 서술할 것이며 다음 보고서에서 자세히 다룰 예정이다.

4-2절 소프트웨어의 구성 및 기능

데이터의 처리 및 거동진단은 다음절에 설명하였고 이 절에는 그 외의 부분을 설명하였다.

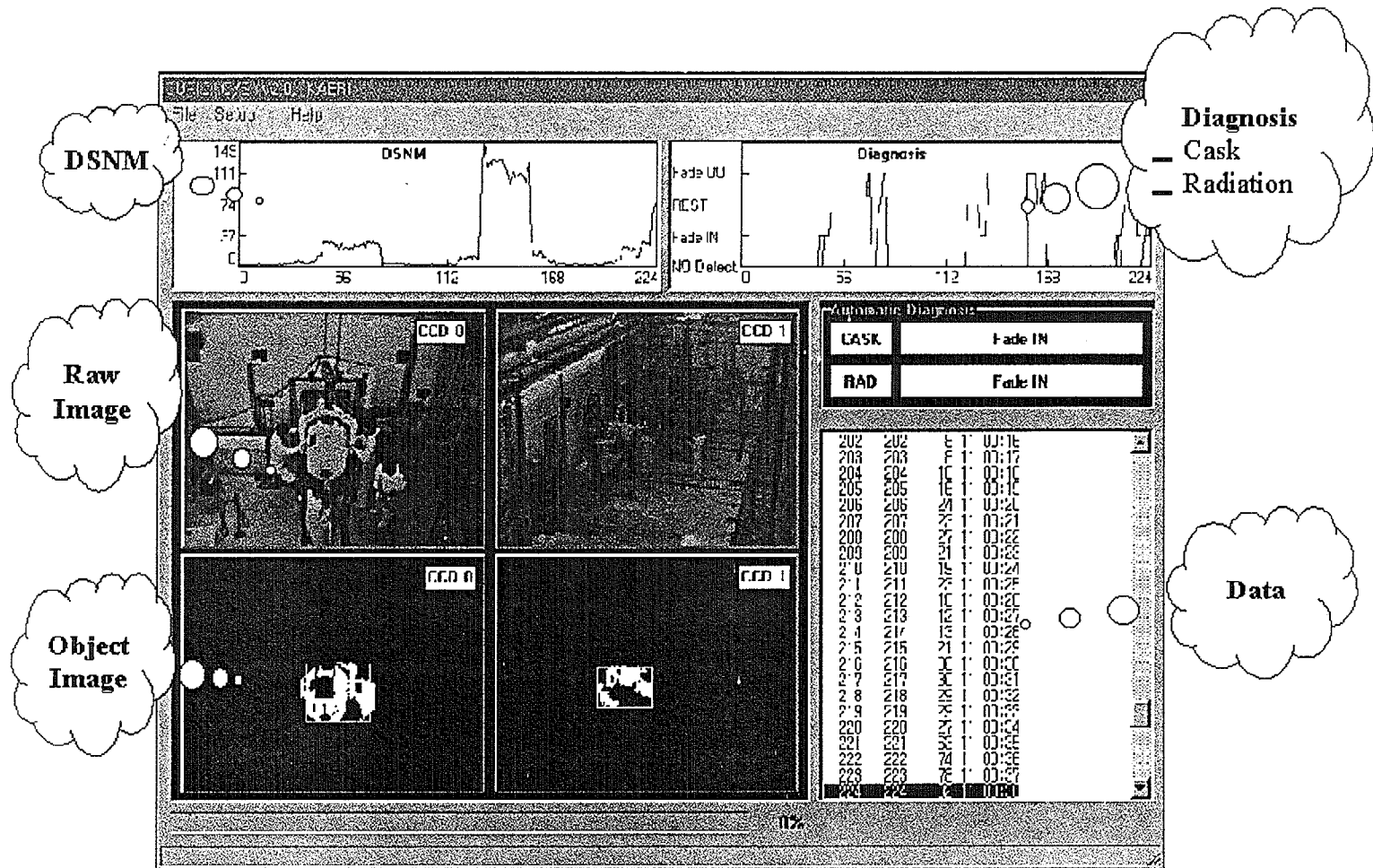


그림 4-2 DSSS 의 사용자 인터페이스

Main User Interface of the DUPIC Surveillance Software

4-2-1 사용자인터페이스

DSSS의 메인 윈도우는 그림 4-2과 같이 DSNM의 데이터와 핵물질 거동진단의 결과를 그래프로 보여주고 또한 취득된 영상을 보여준다. 사용자는 메뉴를 통해 필요한 기능을 실행시키거나 설정을 변경할 수 있다.

4-2-2 데이터 취득

DUPIC 감시 시스템(DSSS)의 소프트웨어는 Windows 98을 기반으로 하고 있다. 때문에 DSSS는 진정한 의미에서 실시간으로 데이터를 취득하고 진단하는 시스템은 아니지만, 1초에 1-2 frame의 이미지와 방사선 데이터 처리를 목표로 하는 DSSS는 현재의 PC의 처리속도에 비추어 볼 때 실시간 감시시스템이라 여길 수 있다.

DUPIC 감시시스템의 주 감시대상은 사용후 핵연료(SF)와 이를 운반하는데 사용되는 캐스크인데, SF로부터 나오는 다량의 방사선은 중성자를 제외하고는 대부분이 캐스크에 의해 차폐된다. 이 중성자는 DSNM에 의해 검출되고, DSNM으로부터의 TTL 신호는 DAQ 카드의 카운터에 의해 계수되어 PC로 읽혀진다. 한편 3대의 CCD 카메라는 DAQ 카드의 영상신호 입력선택기를 거쳐 영상보드로 입력되어 정지영상으로 캡처된다. 캡처된 카메라의 영상의 크기는 640X480이며 2차실험 때에는 8bit gray였고 현재는 24bit 컬러이다(이 보고서에서 분석에 사용된 데이터는 2차실험때 취득한 것이다).

정해진 시간마다 이와 같이 영상 및 방사선 신호를 취득하고 또한 이때의 시간을 1/100초 단위로 읽는다. DAQ 카드는 별도의 타이머를 내장하고 있지 않기 때문에 PC의 타이머로부터 시간을 읽어들이는데, 읽어들이

시간은 데이터가 취득된 시간이 되며 또한 단위시간당 DSNM으로부터 취득된 방사선의 수(중성자/초)를 계산할 때 사용된다. DSSS 하드웨어는 별도의 타이머 또는 시계를 내장하고 있지 않다. 이 시간은 실제로 DAQ 카드의 카운터가 계수를 끝낸 시간과 약간 다를 수 있지만 데이터를 읽어들이는 간격이 “초” 단위이기에 PC 빠른 처리속도에 비추어 이로 인한 오차는 거의 무시될 수 있는 정도이다. 만약 PC의 속도가 현저히 느리거나, PC가 데이터 취득 이외의 다른 목적으로 여러 프로그램을 동시에 실행시킨다면, 앞서의 시간오차를 무시할 수 없는 상황이 일어날 수 있기에, 이에 대한 주의를 요한다.

영상신호의 취득에 있어서도 한가지 주의할 점이 있는데, 그것은 채택한 영상보드(마블 G200)의 입력채널이 하나뿐이라서 3대의 카메라의 영상은 DAQ카드의 영상입력선택기를 거쳐 영상보드로 입력되어 취득된다. 영상입력선택기는 단순히 여러 입력중에서 한 개를 선택해 출력해주는 것으로 3대의 카메라의 영상을 동시에 취득할 수는 없다. 영상입력을 순차적으로 선택해 각 카메라의 영상을 취득하는데, 사용되는 CCD 카메라는 NTSC 방식으로 그 특성상 영상보드에 처음 영상이 입력되고 난 후(또는 입력되는 카메라를 바꿀 때, 1번 카메라->2번 카메라) 안정화된 영상을 얻기까지는 약간의 시간(~100mS)이 필요하다.

현재 영상취득에 사용되고 있는 보드는 Marvel-G200로 VGA 및 영상 캡처기능을 갖고 있는데, 이것은 Windows 95/98에서 VFW(Video For Windows)를 사용하여 제어될 수 있다. 현재 DSSS에서 영상캡처에 사용된 루틴은 이 라이브러리를 사용하고 있는데, VFW는 윈도우즈에서 영상 입출력에 관한 표준라이브러리로서 VFW를 지원하는 어떤 영상보드를 사용하더라도 프로그램은 수정없이 사용될 수 있다. 프로그램에서는 C++ Builder4용 컴포넌트의 하나인 ImageEn을 사용하고 있는데 이것은 VFW

에 관련된 처리를 해주며 영상의 입출력 및 처리에 관한 다양한 기능을 제공한다. 이러한 컴포넌트는 개발시간을 단축해 주고 개발을 쉽게 해준다.

4-2-3 데이터의 저장

취득된 데이터는 저장되어 후에 Review에 사용되는데 효과적인 데이터의 저장방법이 현재 연구중이다. 2차실험에서는 매 6초마다 데이터를 취득하였는데 모든 영상을 Bitmap형식의 파일로 저장하였고 방사선데이터는 비트맵파일의 빈 공간에 저장하였으며 Bitmap파일 한개의 크기는 약 300KB이다. 현재의 시스템은 방사선데이터는 독립적인 이진파일에 저장되고 각 영상은 JPEG파일로 저장되는데, 모든 영상을 저장하는 대신 영상에 큰 변화가 있을 때에만 저장된다. 현재 매 5초마다 데이터를 취득하고 있는데 한 개의 JPEG파일 크기는 약 20KB이며, 24시간 데이터를 취득할 경우 방사선데이터 파일의 크기는 약 500KB이고 영상데이터는 약 80MB이다. 현재 영상데이터가 이렇게 큰 것은 DFDF에서 많은 작업이 이루어지기 때문이 아니고, 경고등이 주기적으로 켜지기 때문이다. 이것은 영상에 변화를 주어 시스템으로 하여금 영상데이터를 저장토록 하고 있는데, 이것을 피하기 위한 진보된 영상처리를 현재 연구중이다. 또한 데이터의 크기를 줄이기 위해 영상의 변화된 부분만을 저장하는 방법이 연구되고 있다.

현재 30GB정도의 IDE 하드디스크는 싸게 구입할 수 있는데, 이 하드디스크에는 일년동안의 감시데이터(80MB/일)를 저장할 수 있다. 물론 앞서 언급한 데이터의 크기를 줄이기 위한 여러 방법이 구현될 경우 그 이상의 기간에 해당되는 데이터를 저장할 수 있을 것이다. 데이터를 하드디스크에 저장하는 외에 안전을 위해 DVD-RAM에도 저장하는데 현재 DVD 한 장에 약 5GB를 저장할 수 있다.

4-2-4 원격통신, 보안, 인공신경망학습

원격통신, 보안, 인공신경망의 학습은 현재 기본적인 기능만 구현하였으며 차후에 보완해 나갈 계획이다. 보안에 대한 기능은 아직 미비한 상태이고, 인공신경망학습은 독립된 프로그램으로서 사용자인터페이스가 아직 미흡하다. 인공신경망학습은 거동진단에 지대한 영향을 미치고 일반적인 감시상황에서는 사용할 필요가 없기 때문에 감시소프트웨어와 별도의 프로그램으로 만들었다. 이 프로그램은 학습에 사용될 데이터와 이에 대한 사람의 판단(거동진단)을 입력하여 인공신경망을 학습시켜 거동진단에 필요한 가중치의 값을 계산한다. 이 결과는 파일로 저장되어 감시소프트웨어에서 읽혀진다.

DFDF에 설치된 DAQ 서버와 원거리의 클라이언트는 인터넷을 통해 통신을 할 수 있는데, DAQ 서버에 접속할 수 있는 클라이언트는 보안을 위해 미리 설정된 특별한 IP 어드레스를 갖고 있는 것만 허락된다. 서버는 클라이언트에서 요구하는 감시정보를 제공하는데 네트워크 속도 및 서버의 성능에 따라 모든 데이터를 제공할 수도 있고 거동진단의 결과만 제공할 수도 있다. 또한 서버의 관리를 위해 원격클라이언트에서 DSSS 프로그램의 제어(DAQ의 중지 및 실행 등)를 할 수도 있다.

4-3절 데이터의 분석 및 거동진단

이 절에서는 방사선데이터 및 영상데이터의 처리와 거동진단에 대해 설명하였다. 여기서 논의된 내용은 2차실험의 분석을 바탕으로 하고 있다. 방사선데이터는 DSNM1을, 영상데이터는 CCD1 만을 사용하였다.

앞서 밝힌 바와 같이 거동진단은 2단계에 걸쳐 이루어지는데, 여기서는 1단계인 핵물질거동진단 및 수송용기거동진단에 대해서만 다루었다. 그것은 2단계인 종합거동진단은 아직 개발되고있기 때문이다. 1단계의 거동진단에서는 핵물질 및 수송용기에 대해 ‘검출 안됨(No Detection)’, ‘다가움(Fade In)’, ‘정지(Rest)’, ‘멀어짐(Fade Out)’의 네 경우로 판단한다. 여기서 핵물질 및 수송용기의 거동은 DSNM1 또는 핫셀문에 대한 것이다.

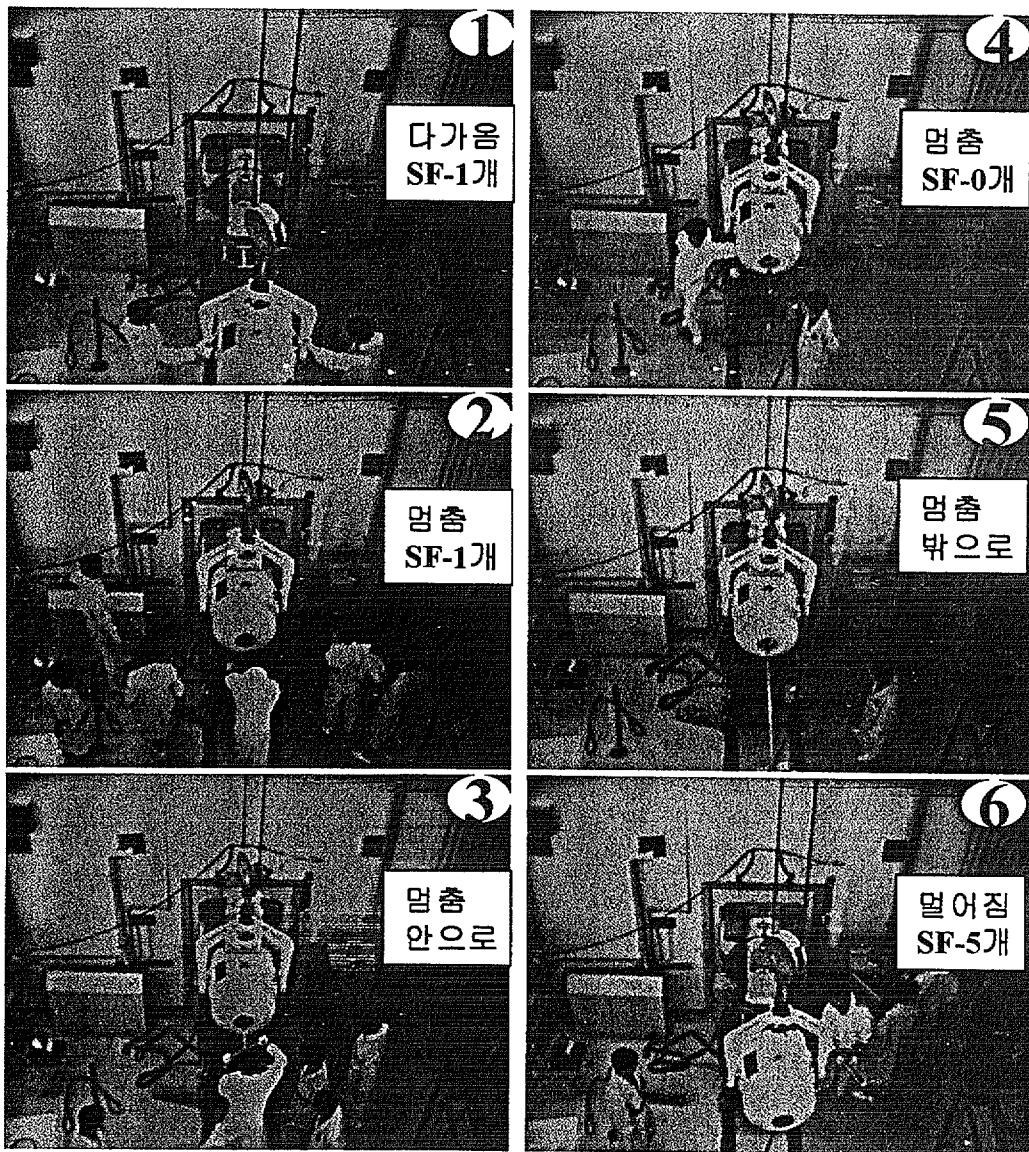


그림 4-3 2차실험의 영상데이터의 예

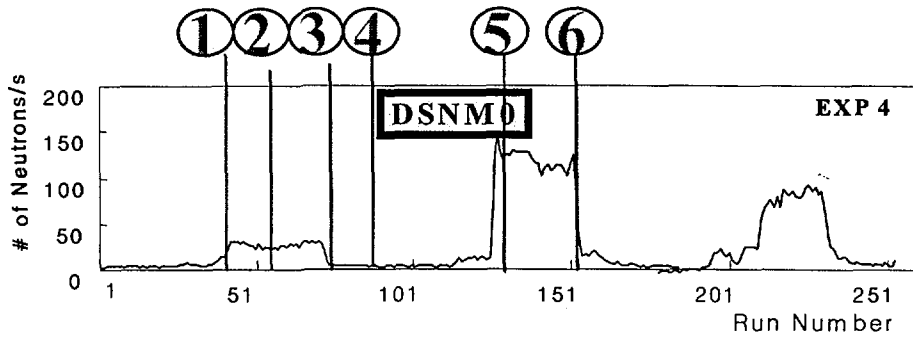


그림 4-4 2차실험의 방사선데이터의 예

그림 4-3과 그림 4-4는 2차실험에서 얻은 영상데이터 및 방사선데이터의 예이다. 2차실험은 몇 개의 작은 실험으로 이루어졌으며 위의 예로 보인 EXP4 는 그 중의 하나인데 여기서 주로 사용할 데이터이다.

2차실험은 기본적으로 수송용기(캐스크)에 사용후핵연료(SF) 봉을 10cm 길이로 절단한 rod-cut을 넣어 핫셀로부터 이송하는 실험이었다. 위의 그림 4-3에서(EXP4) ① 1개의 rod-cut을 담은 캐스크가 핫셀에 접근하여 ② 캐스크가 핫셀의 Paddirac에 정지해 있다. (핫셀 문이 열리고) ③ 캐스크는 정지해 있는 상태에서 그 안의 rod-cut 1개가 핫셀 안으로 이송되었고 ④ 빈 캐스크는 정지해 있다. ⑤ 5개의 rod-cut이 핫셀로부터 빈 캐스크로 이송되고 (핫셀 문이 닫히고) ⑥ 5개의 rod-cut을 탑재한 수송용기가 핫셀로부터 멀어지고 있다.

4-3-1 방사선 데이터의 분석 및 핵물질 거동진단

(1) 개요

DSSS의 목적은 DUPIC의 공정에 전혀 영향을 주지 않으면서 실시간으로 핵물질의 거동을 감시하는 것이기 때문에 방사선의 변화로부터 핵물질의 위치 변화만을 검출한다. 이로부터 핵물질의 거동을 앞서 설명한 4가지

로 진단하는데, 수송용기 거동진단과는 달리 인공지능망을 사용하지 않고 방사선의 변화로부터 간단한 알고리즘을 사용하여 거동진단을 하였다. 방사선의 경우 그 처리가 비교적 단순하기 때문에 데이터처리와 거동진단이 특별히 분리되지는 않는다.

핵물질의 양과 핵물질의 이동속도는 안전조치에 크게 기여할 수 있는데, 이를 알기 위해서는 방사선데이터 외에 영상데이터의 처리를 통해 수송용기(캐스크)의 위치를 알아내야 한다. 또한 영상내에서의 위치를 실제의 위치 또는 거리로 환산하려면 감시지역에 대한 자세한 기하학적 분석이 필요한데, 여기서는 대체적인 분석을 통해 그 가능성만을 알아보았다.

(2) 방사선데이터의 처리 및 거동진단

거동진단	검출 안됨	다가움	멈춤	멀어짐
방사선데이터(N)	$N = 0$	$dN/dt > 0$	$dN/dt = 0$	$dN/dt < 0$

표 4-1 이상적인 핵물질 거동진단. N은 방사선 데이터 값

자동으로 핵물질의 거동을 진단하기 위해서는 방사선데이터(N)의 값과 시간 변화율을 살펴보면 되는데, 표 4-1과 같다. 하지만 실제적인 거동진단을 위해서는 백그라운드 및 통계적인 오차를 고려해 주어야 한다.

최근 5개의 데이터를 사용해 거동진단을 하였는데, 예를 들면 Run Number가 50번일 때 거동진단은 Run Number 46-50의 5개 데이터로부터 계산되었다. 즉 최근 30초 동안의 데이터의 변화율을 본 것이다. 따라서 핵물질이 정지상태에서 이동을 시작한다고 할 때, 거동진단에 의해 그 움직임이 감지되는 것은 이동을 시작한 후 보통 10초 내지 20초 후이다.

핵물질로부터 방출되는 방사선은 무작위로 방출되기 때문에 통계적 고려를 해 주어야 한다. 핵물질이 정지해 있는 경우에도, 검출되는 방사선 데이터(N)는 통계적 fluctuation을 갖는다. 단지 5개의 데이터로부터 기울기를 구하기 때문에 핵물질이 정지해 있더라도 그 기울기가 0에 가깝지 않을 수 있다. 어떤 Threshold 값을 적용할 수도 있지만, “N”이 검출된 방사선 수(데이터)라면 통계적 fluctuation은 대략 \sqrt{N} 이므로, N 의 크기에 따라 다른 Threshold를 적용해 주어야 한다.

여기서는 $\chi^2/d.o.f.$ 를 사용하여 Threshold를 설정하였는데, χ^2 는 보통 이론과 실험이 얼마나 일치하는지를 가늠하는 값으로 일반적으로 다음과 같이 정의된다. 여기서 N_T 은 이론적인 값이고 N_i 는 실험데이터, ΔN_i 는 N_i 의 오차이다. $\chi^2/d.o.f.$ 값이 1 근처이면 실험과 이론이 잘 일치하고, 크면 클수록 일치하지 않는다.

$$\chi^2/d.o.f. = \sum_{i=1}^T \frac{(N_T - N_i)^2}{\Delta N_i^2} / (T-1) \quad (4-1)$$

핵물질이 정지해 있고 N_i 는 검출된 방사선의 수라고 할 때 이 값은 Gaussian 분포를 따르며 통계적 오차만 고려할 때, $\Delta N_i = \sqrt{N_i}$ 이다. 정지해 있는 경우, 기대되는 방사선의 수(이론적인)는 시간에 대해 일정할 것이므로, N_T 을 N_i 의 평균값으로 택한다.

$$N_T = \bar{N} = \sum_{i=1}^T N_i / T \quad (4-2)$$

여기서는 5개의 데이터로부터 변화율을 구하므로, T=5이다.

$$\chi^2/d.o.f. = \sum_{i=1}^5 \frac{(\bar{N} - N_i)^2}{N_i} / 4, \quad \bar{N} = \sum_{i=1}^5 N_i / 5 \quad (4-3)$$

이와 같이 구한 값들을 사용하여 표 4-2와 같이 거동진단을 하였다.

거동진단	검출 안됨	다가움	멈춤	멀어짐
조건	$\bar{N} < 10$	$\bar{N} > 10$ $\chi^2/d.o.f. > 2$ $dN/dt > 0$	$\bar{N} > 10$ $\chi^2/d.o.f. < 2$	$\bar{N} > 10$ $\chi^2/d.o.f. > 2$ $dN/dt > 0$

표 4-2 실제적인 핵물질 거동진단

(3) 핵물질 거동의 오진

아주 서서히 핵물질이 이동한다면 $\chi^2/d.o.f.$ (이동/정지의 Threshold)의 값이 2 보다 작아 정지해 있다고 잘못 판단할 수도 있을 것이다. 이것을 알아보기 위해 다음과 같이 가정하였다.

- 1) 방사선 데이터의 통계적 fluctuation이 없다.
- 2) 방사선 데이터는 다음과 같이 Run Number "u"에 따라 단조증가

$$N_u = u \cdot S, \quad u \text{ 은 "Run Number", } S > 0 \text{ 인 기울기}$$

이러한 상황은 외부로부터 핵물질이 핫셀로 접근하는 경우이다. 앞서 기술한 바와 같이 Run Number "u" 일 때 u을 포함한 과거 5개의 데이터 ($N_u \sim N_{u-4}$) 의 $\chi^2/d.o.f.$ 및 기울기로부터 핵물질의 거동을 판단한다. 편의상 5개의 데이터를 다음과 같이 표기하자.

$$N_{ui} = (u-i) \cdot S \quad i=0,1,2,3,4 \quad (4-4)$$

그러면 평균 및 $\chi^2/d.o.f.$ 는,

$$\bar{N}_u = \sum_{i=0}^4 N_{ui}/5 = au - 2a \quad (4-5)$$

$$\chi_u^2/d.o.f. = \sum_{i=0}^4 \frac{(\bar{N}_u - N_{ui})^2}{N_{ui}} / 4 = \frac{S}{4} \sum_{i=0}^4 \frac{(2-i)^2}{u-i} \quad (4-6)$$

$\chi_u^2/d.o.f. = 2$ 이 되는 기울기 S를 구하면,

$$S = 8 / \sum_{i=0}^4 \frac{(2-i)^2}{u-i} \quad (4-7)$$

$N_u = u \cdot S$ 이므로, N_u 과 S의 관계는 그림 4-5와 같다.

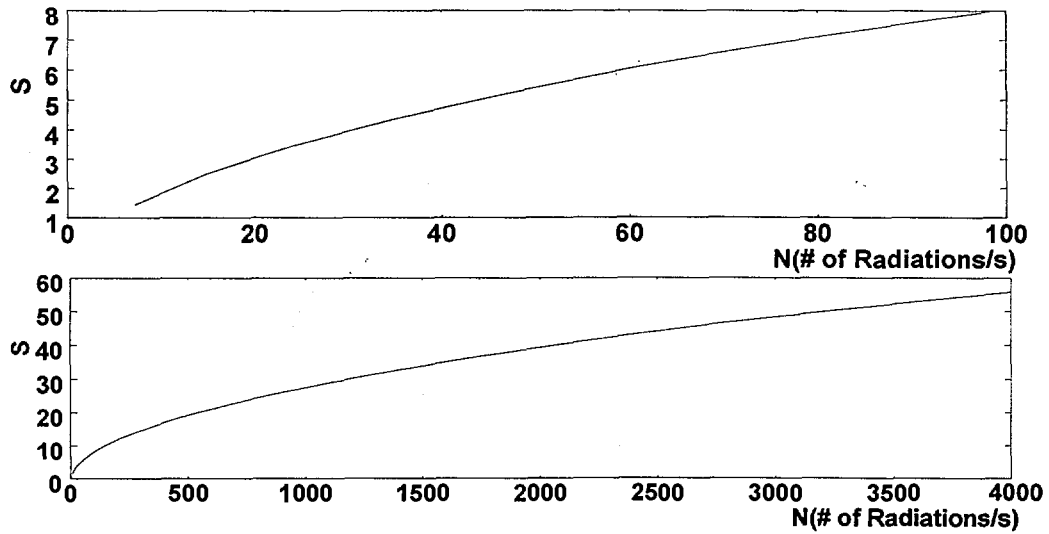


그림 4-5 방사선 크기 N 과 오판 기울기 S

따라서 현재 방사선 데이터 N이 3000 가량 될 때, 기울기 S 가 45 이 하이도록 핵물질이 이동하면 “정지” 라고 그 거동을 잘못 판단한다. 이 기울기에 해당하는 핵물질의 한계속력을 계산하자(한계속력이란 그 속력이 하로 이동하는 경우 거동진단이 정지라고 판단하는 속력을 지칭). 각 Run 은 6초에 해당하므로, $u=6t$ 라고 할 수 있다. 이때 t 는 시간(초).

$$N=6St, \quad \frac{dN}{dt}=6S$$

한편 검출된 방사선의 수는 핵물질의 양에 비례하고 검출기(DSNM)와 핵물질 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 한 종류의 핵물질만을 생각한다면, 핵물질이 없을 때 데이터는 거의 0에 가까우므로 다음과 같은 식을 세울 수 있다.

$$N=\frac{AM}{(r+r_0)^2}, \quad r+r_0=\sqrt{\frac{AM}{N}} \quad (4-8)$$

여기서 N = 검출된 중성자 수/초, A = 검출기 및 핵물질 특성에 관련된 계수, M = 핵물질의 양(SF 10cm rod-cut 개수), r = 핵물질과 DSNM 사이의 거리(m), r_0 = 계수이다.

$$v = \frac{dr}{dt} = \text{속력이라고 하면, } \frac{dN}{dt} = \frac{-2AMv}{(r+r_0)^3}$$

$$\text{따라서 } \chi^2/d.o.f. = 2 \text{ 이 될 때, } \frac{dN}{dt} = \frac{-2AMv}{(r+r_0)^3} = 6S$$

$$|v| = \frac{3S(r+r_0)^3}{AM} = \text{한계속력} \quad (4-9)$$

2차실험의 데이터로부터 몇몇의 경우에 대해 한계속력을 구하면, 표 4-3과 같다. 여기서 SF 개수는 10cm로 자른 rod-cut 이다. 만약 10 cm SF rod-cut 5 개가 DSNM으로부터 2m 가량 떨어져 있을 때의 속력이 0.8m/s 이하라면, 거동진단 프로그램은 SF가 정지해 있다고 판단한다. 이 계산은 대략적으로 행해진 것이고, 데이터의 통계적 fluctuation 이 없고, 데이터의 값이 시간에 대해 단조증가한다고 가정한 것임을 명심해야 한다. 실제적인 경우, 데이터의 변화는 더 크고 따라서 $\chi^2/d.o.f.$ 이 커지며 한계속력이 위에서 구한 값보다 작아질 것이다. 또한 많은 양의 핵물질이 이동할 경우, DSNM 근처에서는 매우 느린 속도(예를 들면 36개의 SF rod-cut의 경우 0.1m/s)로 이동시켜야만 거동진단이 정지라고 판단한다. 하지만 크레인에 의해 이동하는 캐스크의 속력을 그렇게 정밀하게 조정할 수 있으리라고 생각되지 않는다.

SF 개수	r(m)	N(#/s)	S	v(m/s)
1	3	4.3	0.9	2.1
1	2	8.5	1.6	1.4
1	1	25	3.5	0.6
5	3	22	3.2	1.5
5	2	43	5	0.8
5	1	120	8.9	0.3
36	3	150	10	0.7
36	2	300	14.6	0.4
36	1	900	26	0.1

표 4-3 거리 및 핵물질의 양에 따른 한계속력의 예

(4) 핵물질 양의 계산

앞에서,
$$N = \frac{AM}{(r+r_0)^2}, \quad M = \frac{N(r+r_0)^2}{A}$$
 이었다.

따라서 핵물질의 위치(r)와 방사선데이터(N)를 알면, 핵물질의 양(SF 10cm rod-cut의 개수)을 알 수 있다. 핵물질의 위치는 핵물질이 캐스크에 담겨져 이송된다는 가정하에 캐스크의 위치이다. 캐스크의 위치는 다음절에 설명될 영상분석을 통해 얻어질 수 있는데, 아직 실제의 거리로 환산하기 위한 감시지역에 대한 기하학적 분석이 이루어지지 않았기 때문에 캡처된 영상을 프린트하여, 자를 이용하여 캐스크의 대략적인 위치 (x, y, z)를 측정하였다. 이 측정값을 실제의 거리로 환산하기 위해서 영상내의 사람의 크기(키 1.7m, 어깨너비 0.52m 라고 가정하였다.)를 기준으로 하였다. M 은 편의상 SF 10cm rod-cut 의 갯수로 하였다. 2차 실험의 EXP4데이터에서 run 번호가 41-56에 대해 거리 r을 구해보면 표 4-4와 같다. 이 부분은 SF rod-cut 한 개를 이송하는 것이었는데, 따라서 M=1이다. 위 함수를 이용해 fitting하여 A와 r₀를 구했는데, 그 값은 A = 76.8, r₀ = 0.7이다.

Run	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
r	2.3	1.9	1.8	1.7	1.2	1.0	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.1	1.0
N	7	9	13	13	20	30	29	28	28	28	28	25	26	21	27	22

표 4-4 2차실험의 Exp4 에서의 거리(r)에 따른 방사선 크기(N)

2차 실험에서 SF를 담은 캐스크가 핫셀의 Paddirac에 정지해 있을 때 (이때의 핵물질의 위치는 대략 r_b=1m 이다.), 측정된 N 값은 다음과 같다.

N	0	23	110	700
M(측정)	0	0.9	4.1	26
M(실제)	0	1	5	36

표 4-5 2차실험에서의 핵물질 양 M의 측정

SF rod-cut의 수 M이 계산값과 실제값이 M이 클수록 그 차가 큰데 그것은 앞에서 계수 A와 r_0 를 구할 때 M=1일때의 데이터를 사용하였고 거리 r의 오차가 크기 때문이라 생각된다. 앞으로 거리 r의 정확도를 높이면 핵물질의 양을 더욱 실제값에 가깝게 구할 수 있을 것이다. 참고로 C/S 시스템은 핵물질의 양을 계량하기 위한 시스템이 아니므로, 정확한 핵물질 양의 측정이 요구되지는 않는다.

4-3-2 영상처리[15-23]

방사선 데이터는 핵물질 자체의 거동을 진단하는 반면, CCD 카메라로부터 캡처된 영상은 처리되어 캐스크라고 추측되는 Object의 위치가 추출되고 그로부터 Object의 이동상황을 진단한다. 2차 실험에서는 2대의 카메라로부터 캡처된 영상이 사용 가능하지만, 현재 거동진단에는 한 대의 CCD 카메라 데이터만을 사용하고 있다.

영상처리는 많은 시간을 필요로 하며 또한 전체적인 성능에 큰 영향을 미치는 중요한 부분으로 성능과 처리시간 사이에 최적화가 이루어져야 한다. 성능향상을 위한 연구가 현재 이루어지고 있으며, 여기서는 2차실험의 데이터 분석에 대해서만 설명하였다. 2차실험의 데이터 분석에서는 첫 과정으로 기본영상과의 비교를 하였다. 그러기 위해서는 먼저 적당한 기본영상을 택해야 한다. 기본영상의 조건은 가능한 실험환경과 동일한 환경이고 캐스크 및 사람이 포함되어 있지 않은 영상이어야 한다. 2차 실험에서 사

용한 영상의 크기는 640X480 픽셀이고 색은 8bit gray이다. 따라서 한 픽셀은 0-255의 값을 갖는다. 먼저 분석하고자 하는 영상(현재 영상)과 기본 영상을 픽셀별로 그 값의 차이를 구하고, Threshold 값을 적용해 1bit 흑백영상(이진영상)으로 만든다. 기본영상과 현재영상이 다른 부분(캐스크나 사람이 영역내에 들어왔을 때)은 이진영상에서 1(백)로 나타나고 그외는 0(흑)으로 나타난다.

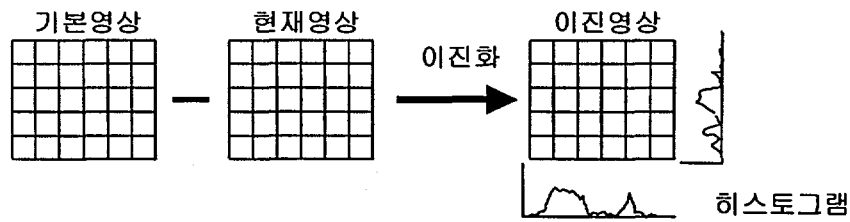


그림 4-6 히스토그램을 이용한 Obejct 영역의 추정

다음으로 X-축 방향 및 Y-축 방향에 대해 값이 '1'(백) 인 이진영상의 픽셀에 대한 히스토그램을 만든다. 이 히스토그램은 물체가 있는 부분에서 큰 값을 가질 것이다. 히스토그램에서 Threshold 보다 큰 부분이 연속되는 영역의 크기는 물체의 크기에 해당된다. 이 영역의 크기가 Threshold 이상인 것을 캐스크라고 하였는데, 다음과 같이 Object Area를 추출해 낼 수 있다.

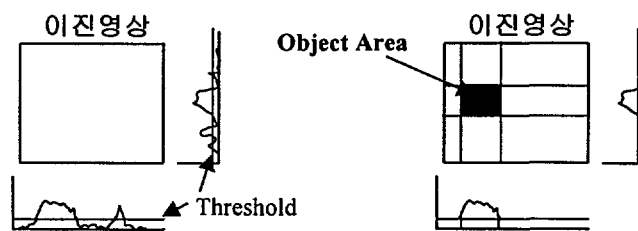


그림 4-7 캐스크의 위치 추정

이러한 Object Area는 몇 개가 있을 수 있는데, 그것은 두 사람이 가까이 있는 경우 히스토그램상으로 Threshold 이상이 될 수 있기 때문이다. 각 Object Area 에 대해 다시 X와 Y축에 대한 히스토그램을 만들어 보

면, Object Area 내에 있는 작은 Object들을 어느 정도 구분해 제거할 수 있다. 다음으로 Object Area 내의 대상물의 크기(면적)를 구하는데, 그것은 Object Area 내의 값이 '1'인 픽셀의 수를 구한다. 이 값이 Threshold 보다 큰 영역을 구한다. 이런 과정을 통과한 Object Area중에 그 면적이 가장 큰 것 두 개를 캐스크 후보라고 하였다(이런 과정을 통과한 Object Area는 보통 1개 이하이다). 이들 캐스크 후보의 무게중심의 좌표를 그 위치라고 하였다. Object Area 에 대한 X 및 Y-축의 히스토그램을 XHist, YHist 라고 할 때, XHist[i] 는 'i' 번째 줄의 흰 픽셀의 수이고, 이때 무게 중심의 X, Y-좌표 X_{CM} , Y_{CM} 은 다음과 같다.

$$X_{CM} = \frac{\sum i \cdot XHist[i]}{\sum XHist[i]}, \quad Y_{CM} = \frac{\sum i \cdot YHist[i]}{\sum YHist[i]}$$

DSNM 의 좌표를 X_M , Y_M 이라고 하면, DSNM 으로부터 Object 까지 의 거리 r은,

$$r = \sqrt{(X_{CM} - X_M)^2 + (Y_{CM} - Y_M)^2}$$

실제적인 거리를 구하려면, Z-축의 좌표를 고려해야 하며, 카메라의 각도 - 수직 및 지표면에 대한- 에 따른 적절한 좌표변환을 해 주어야 한다. 하지만 여기서는 위와 같이 단순히 거리 r을 구하였다. 방사선 데이터에서와 마찬가지로, 5개의 연속된 데이터(r 값)의 평균, 시간변화율(dr/dt)을 구하여 인공신경망에 입력, 캐스크의 거동을 진단하였다.

인공신경망은 다음에 설명될 '오류 역전파 알고리즘'(Error Back Propagation Algorithm)을 사용하여 구축하였으며 이에 대한 설명은 부록 3에 있다. 사용된 인공신경망의 입력데이터는 3개인데, Run Number 가 u 일 때, N_u , \overline{N} , dN/dt 이며, 출력은 한 개로 그 값이 '1 = 검출 안됨, 2 = 다가옴, 3 = 정지, 4 = 멀어짐' 이라 정하였다. 2차 실험의 일부 데이터 및 가상데이터를 사용하여 인공신경망을 학습시켰으며, 학습된 인공신경망을 2차실험에 적용하였다.

4-3-3 인공신경망을 이용한 수송용기의 거동진단[24-35]

본 연구에서는 사람이 해왔던 핵물질 이동 과정의 감시 및 진단 기능을 인공 지능 신경망을 이용하여 실시간으로 감시 판단을 대신하고자 한다. 인공 신경망은 입력 패턴으로서 영상 감시 정보를 활용하여 핵물질의 거동을 감시하였다. 출력은 시스템 진단 결과로서 Cask의 이동 진단을 나타내었다. 인공 신경망의 학습 정보는 정보 통합 과정을 거친 구간 특성 정보를 입력으로 사용하여 각각의 입력에 대하여 핵물질 거동 상황을 판단할 수 있도록 출력을 구성하여 학습시켰다. 또한 테스트용 입력을 사용하여 시스템의 성능을 평가하고 최적의 인공 신경망의 파라미터를 설정하였고 이를 이용하여 실제 시스템을 구성하여 핵물질의 거동 감시 시스템을 구축하였다. 인공 신경망을 이용한 캐스크의 거동 진단 시스템 구축을 위한 개발 흐름을 그림 4-8에 도시하였다.

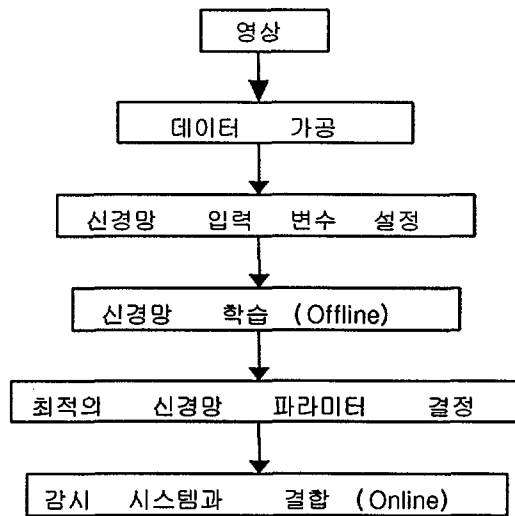


그림 4-8 인공 신경망 모델 구축 흐름도

(1) 거동 감시를 위한 인공 신경망의 구조

신경망의 구조는 그림 4-9와 같이 3개의 통합 감시 정보를 입력으로 사용하고 캐스크(Cask)의 거동 정보를 출력으로 나타내었다. 출력 패턴은

캐스크의 상태, 즉 캐스크가 작업 공간 내에 있는지, 캐스크가 들어오고 있는지, 캐스크가 밖으로 나가고 있는지 그리고 캐스크가 정지 상태에 있는지에 관한 진단 결과를 담고 있다. 진단 시스템으로 구성된 인공 신경망은 입력층과 가까운 첫 번째 은닉층은 18개의 노드를 가지고 있고 출력층과 가까운 두 번째 은닉층은 16개의 노드를 가지고 있다. 이러한 두 개의 은닉층은 연결 가중치, 바이어스, 활성화함수 등으로 구성되어 있으며 진단 시스템으로 사용하기 위한 학습 단계에서 목표 출력과 실제 출력의 차이가 없도록 시스템의 파라미터인 연결가중치와 바이어스를 변화시키게 된다. 목표 출력과 실제 출력이 같아질 때 최종적인 가중치와 바이어스를 얻을 수 있으며, 이 때의 인공 신경망을 학습된 진단 시스템으로 이용할 수 있다. 이렇게 구성된 다층 신경망은 오류 역전파 알고리즘(Error Back-Propagation Algorithm)에 의해서 학습되었다. 또한 효과적인 학습을 위하여 지역 극소에 빠지지 않도록 모멘텀(Momentum) 계수를 사용하고 가변 학습률을 사용하였다. 가중치들이 초기화는 인공 신경망을 학습시킬 때 학습 결과인 가중치와 바이어스의 최종값을 얻을 수 있도록 Neuyen-Widraw 방법을 사용하였다.

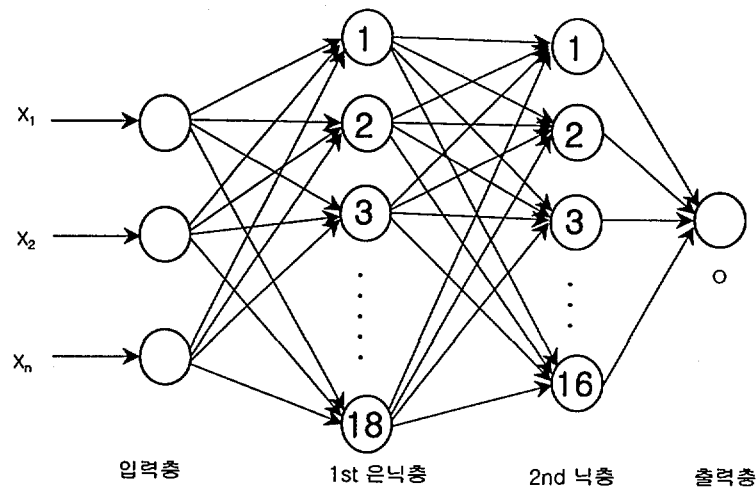


그림 4-9 캐스크 거동 감시를 위한 인공 신경망

(2) 인공 신경망의 입력 변수 정의

인공 신경망의 출력은 캐스크의 거동 진단을 목적으로 하기 때문에 그 값이 1= 캐스크가 검출 안됨, 2= 캐스크가 들어오고 있음, 3= 캐스크가 정지, 4= 캐스크가 들어오고 있음 이라 정하고 인공 신경망의 학습을 수행하였다. 학습 회수는 5,000번을 기준으로 하여 출력 패턴과 목적 패턴의 오차가 0.01 이하일 경우에 학습을 멈추고 이때의 인공 신경망의 각 파라미터를 취하였다.

인공 신경망의 입력 변수를 정의하기 위해서 입력 영상에 대한 데이터 가공을 수행하였는데 이것은 영상 취득 알고리즘을 가지고 오브젝트를 선택하여 취득된 오브젝트를 3개의 인공 신경망 입력변수로 정의하였는데 이것은 오브젝트의 평균, 기울기, 현재 값이다. 인공 신경망의 입력변수를 구성하기 위해서 다음과 같이 영상 정보를 분석하였다. 시간의 흐름에 따라서 연속적으로 작업이 이루어지기 때문에 연속적인 작업에 대한 상황을 인식하는 것이 중요하다. 그래서 획득한 영상정보를 세 가지로 분석하였다. 그것은 영상물의 원점과의 거리, 연속적인 영상물의 변화 즉, 기울기 그리고 영상 크기의 평균을 분석하여 인공 신경망의 입력 변수로 활용하였다. 방사능 계측 데이터도 마찬가지로 방사능 계측 데이터의 평균, 변화량(기울기), 그리고 Chi-Square 값을 이용하여 인공 신경망의 입력 변수로 활용하였다. 평균 및 변화량을 구하는 식은 다음과 같다.

● 평균 I_x

$$I_x = \frac{\sum_{i=1}^5 X_i}{5} \quad (4-10)$$

● 정보의 변화량(기울기)

$(x_1, y_1)(x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 의 영상 데이터에 대한 직선 $y = ax + b$ 로 근사하는 일반식은 다음과 같다. 여기서 a 는 구하고자 하는 영상정보의 기울기이다.

$$a = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}, \quad b = y' - a_1 x' \quad (4-11)$$

신경망으로 핵물질의 거동을 판단하기 위해서 먼저 입력 패턴과 출력 패턴을 정하고 학습을 수행하였다. 초기 설정값으로 학습률은 0.9로 하고 모멘텀은 0.35로 정하였다. 그리고 각 층 사이의 연결가중치는 초기치가 0.0으로 설정하였으며 학습 횟수는 5,000번으로 설정하고 학습을 수행하였다.

(3) 인공 신경망의 캐스크 거동 감시 실험

캐스크의 거동 진단 인공 신경망은 다음과 같이 연결 가중치가 변화하였다. 그림 4-8은 입력층과 첫 번째 은닉층 사이의 연결가중치 분포도이고 그림 4-9는 첫 번째 은닉층과 두 번째 은닉층 사이의 연결가중치 분포도이다. 또한 그림 4-10은 두 번째 은닉층과 출력층 사이의 연결가중치를 도시하였다. 그림에서 보듯이 학습후의 연결가중치의 변화가 고루게 변화되었음을 알 수 있다.

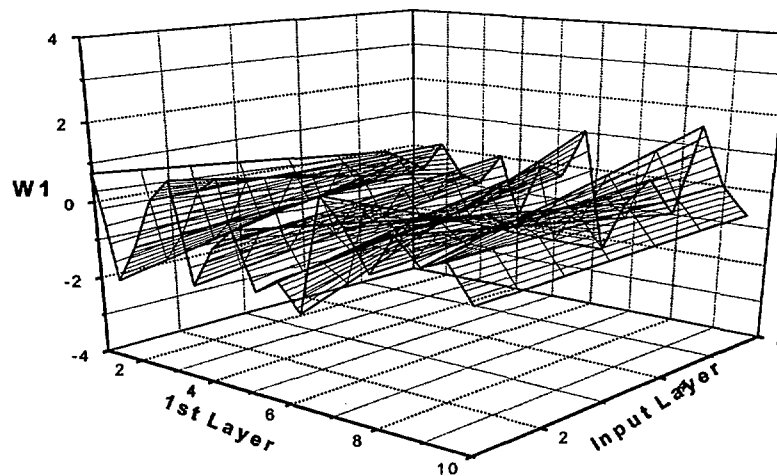


그림 4-10 입력층과 첫 번째 은닉층 사이의 연결가중치

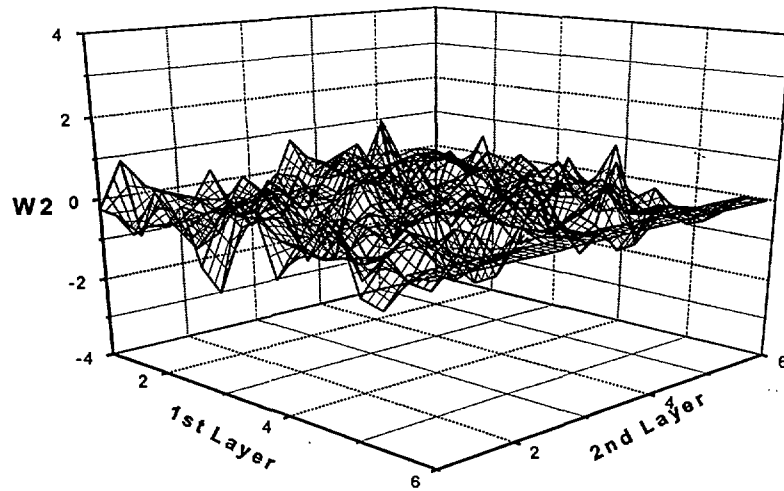


그림 4-11 첫 번째 은닉층과 두 번째 은닉층 사이의 연결 가중치

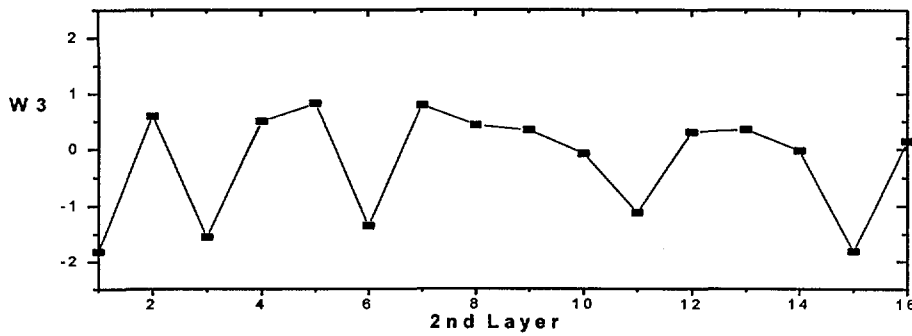


그림 4-12 두 번째 은닉층과 출력층 사이의 연결가중치

먼저 2차실험의 일부인 EXP1에 대한 데이터를 이용하여 인공 신경망을 학습 시켰다. 이것에 대한 판단결과는 그림 4-11에 보였다. 학습된 인공 신경망을 가지고 다른 실험에 적용해 보았다. 거동 감시 결과는 그림 4-12와 이것의 오차를 그림 4-13에 나타내었다. 결과적으로 잘 맞는 편인데 중간에 애기치 않는 상황에서 큰 오차가 발생되어 잘못된 판단을 내렸다. 하지만 가상의 실험 데이터를 이용하여 인공 신경망의 판단 능력은 잘 맞았다. 실험 0, 1, 4번의 가상 데이터를 무작위로 조합하여 인공신경망의

학습 결과에 대한 평가를 수행하여 그 결과를 그림 4-14에 보였다. 그래프에서도 보듯이 오차가 상당히 낮아 감독자가 원하는 만큼의 거동 감시를 수행하였다.

Cask Exam 1

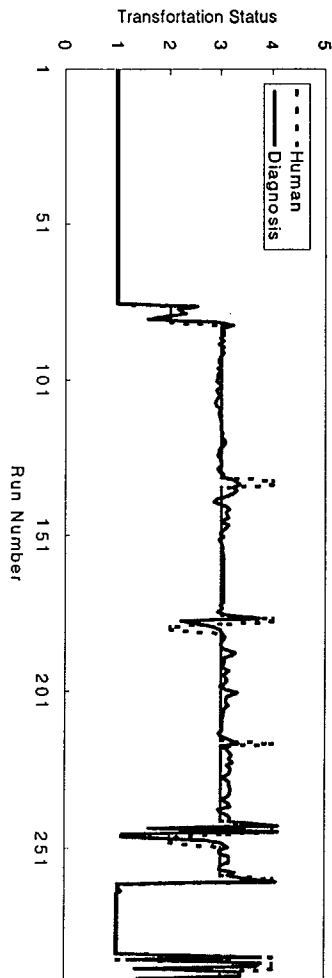


그림 4-13 2차실험의 EXP1 대한 인공 신경망의 학습 후 판단 결과

Cask

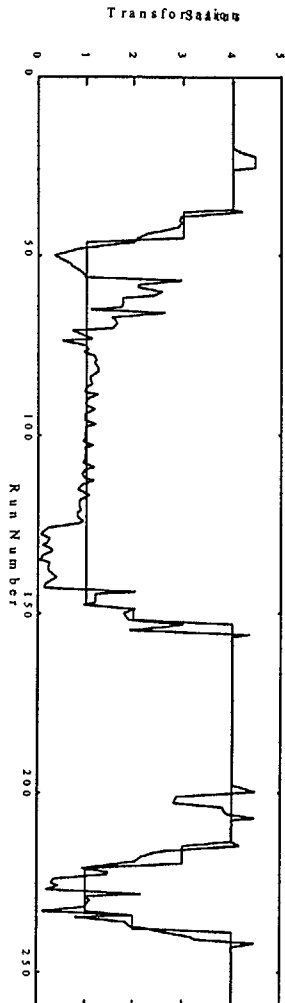


그림 4-14 케이스크 거동 감시 결과

Cask Error

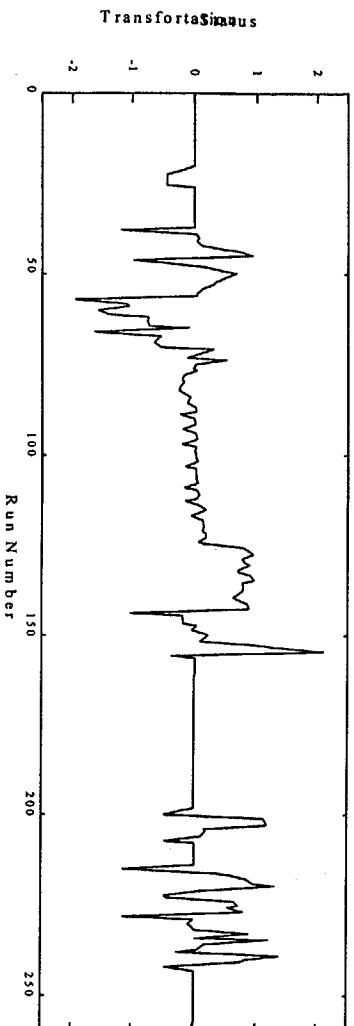


그림 4-15 케이스크 거동 감시 결과 오차

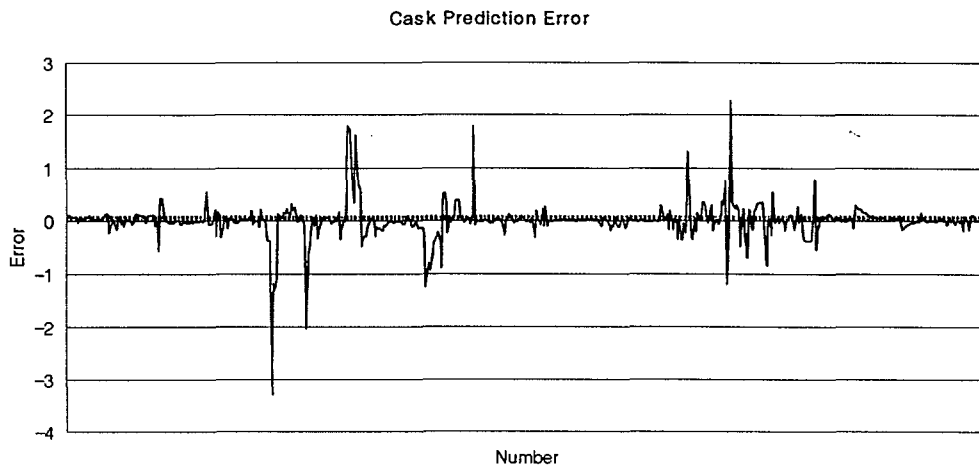


그림 4-16 EXPO, 1, 4의 캐스크 거동을 진단한 오차 결과

인공 신경망의 모델들에서 오류역전파 알고리즘을 이용한 모델을 적용하여 감시시스템 알고리즘을 구현하였다. 실시간으로 변하는 작업 공간내에서 핵물질의 거동 판단을 위한 인공 신경망 알고리즘이다. 오류 역전파 알고리즘을 가진 인공 신경망의 구조는 입력층이 3개, 첫 번째 은닉층이 18개 두 번째 은닉층이 16개, 출력층이 1개의 노드를 가진다. 인공 신경망의 입력 변수는 방사선 계측 데이터와 캐스크의 위치 정보를 이용하여 입력 변수를 구성하였다. 학습된 인공 신경망을 이용하여 실시간 핵물질 거동 판단을 위해 모델을 적용하여 실험하였다.

캐스크 거동에 대한 인공 신경망의 자동 진단은 정상적인 작업에서는 잘 맞는다. 하지만 캐스크의 크기가 사람 두명이 서있는 경우와 비슷하여 사람 두명이 같이 서있는 경우 캐스크로 잘못 판단하여 인공 신경망의 판단에 큰 오류를 범하는 경우가 생긴다. 이를 해결하기 위해 형체 인식 영상 알고리즘을 적용하여 오브젝트를 정확히 획득해야 한다. 또한 현재 사용되고 있는 인공 신경망 모델은 문제점은 자기 생성 능력이 없다는 것이

다. 즉, 스스로 증식하는 모델이 아니고 정적인 모델이다. 이것은 한번의 잘못된 판단은 계속해서 지속적으로 그러한 상황에서는 잘못된 판단을 내린다. 스스로 잘못된 판단을 인식하지 못해 감독자가 변경을 가해야 한다. 그리고 환경의 변화가 생기면 자칫 크나큰 오류를 범할 가능성이 있다. 결론적으로 실시간 업데이트가 가능하고 자기 증식이 가능한 모델을 구축해서 사용해야한다.

4-3-4 핵물질 및 수송용기 거동진단의 결과

캐스크 거동의 자동진단은 그림 4-15에서 보듯이 사람의 판단과 비교적 잘 맞고 있다. 하지만 때때로 캐스크 대신 가까이 있는 두 사람을 캐스크로 오인하는 경우가 있었다. 보통 캐스크의 평균위치로부터 벗어나 있으므로 판단에 큰 영향을 끼치는 경우는 아직 없었다. 어쨌든 이 부분은, 형체인식을 도입하고 초당 처리 프레임 수를 늘려, Object의 추적이 가능해지면 상당한 개선이 있으리라 생각된다.

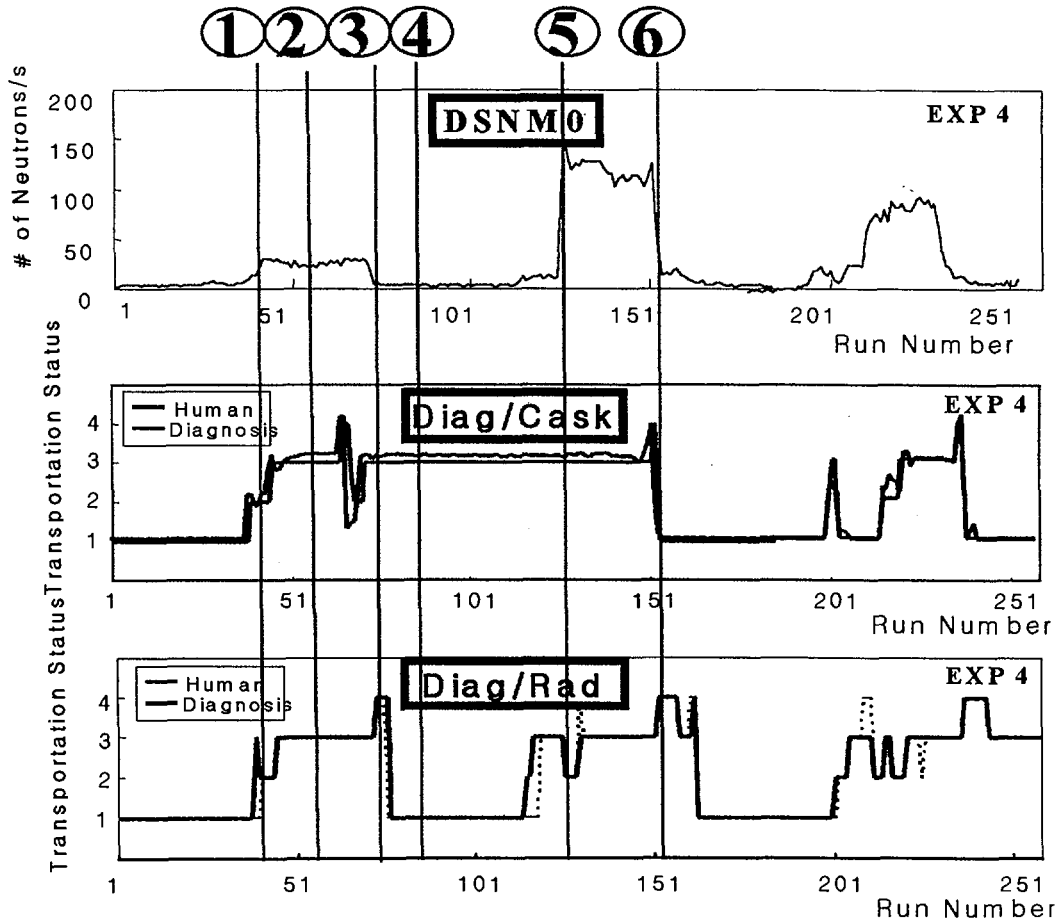


그림 4-17 (위) 방사선데이터 (중간) 수송용기 거동진단의 결과 (아래) 핵물질 거동진단의 결과. (중간)과 (아래) 그래프에서 빨간색 선은 사람의 판단, 파란색 선은 거동진단결과. 1=No Detection, 2=Fade In, 3=Rest, 4=Fade Out. 다음의 ①-⑥ 은 위 그래프 및 그림 4-3 의 사진에 해당됨.

- ① SF rod-cut 1개를 탑재한 수송용기가 접근하고 있다. (Cask Fade In, Rad Fade In)
- ② SF rod-cut 1개를 탑재한 수송용기가 정지해 있다. (Cask Rest, Rad Rest)
- ③ 수송용기내의 rod-cut이 핫셀로 이송되고있다. (Cask Rest, Rad Fade Out)
- ④ 빈 캐스크가 정지해 있다. (Cask Rest, Rad Rest)
- ⑤ 5개의 rod-cut이 핫셀로부터 수송용기로 이송되고 있다. (Cask Rest, Rad Fade In)
- ⑥ 5개의 rod-cut을 탑재한 수송용기가 멀어지고 있다. (Cask Fade Out, Rad Fade Out)

제 5 장 PIEF 감시장비

5-1절 PIEF 감시장비의 개요 및 설치

현재 조사후시험시설(PIEF)에는 사용후핵연료를 사용한 사전 특성시험을 수행하고 있다. 그러나 사전 특성시험이 행해지고 있는 PIEF의 9405 핫셀에는 두가지 종류의 사용후핵연료가 존재를 한다. 즉, DUPIC 핵연료 특성시험용 사용후핵연료와 조사후시험용 사용후핵연료가 동시에 존재하기 때문에 이들 사용후핵연료의 거동을 감시하는 것은 IAEA 안전조치관점에서 매우 중요하다.

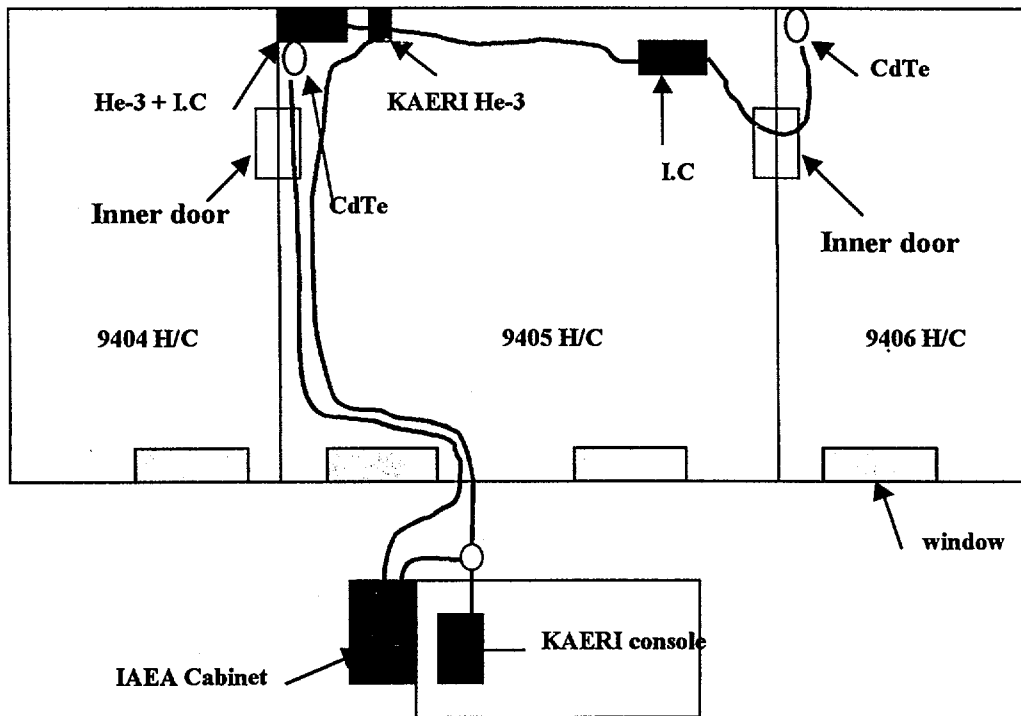


그림 5-1 PIEF에 설치된 IAEA 및 KAERI 감시장비.

9405 핫셀에 존재하는 사용후핵연료가 움직일 수 있는 경로는 그림 5-1에서와 같이 좌우로 인접한 9404 핫셀 및 9406 핫셀을 연결하는 작은 내부 문을 통해서이다. 9406 핫셀은 9405 핫셀과 마찬가지로 외부로 통하는 문이 없으나 9404 핫셀에는 외부로 통하는 rear door가 있다. 따라서 사용후핵연료가 9405 핫셀에서 9404 핫셀로의 이동을 모니터링하기 위해 중성자 검출장비 (DUPIC Safeguards Neutron Monitor-II, DSNM-II) 및 데이터 취득장치를 개발하였으며, 1998년 10월 설치한 이래 현재까지 잘 작동하고 있다.

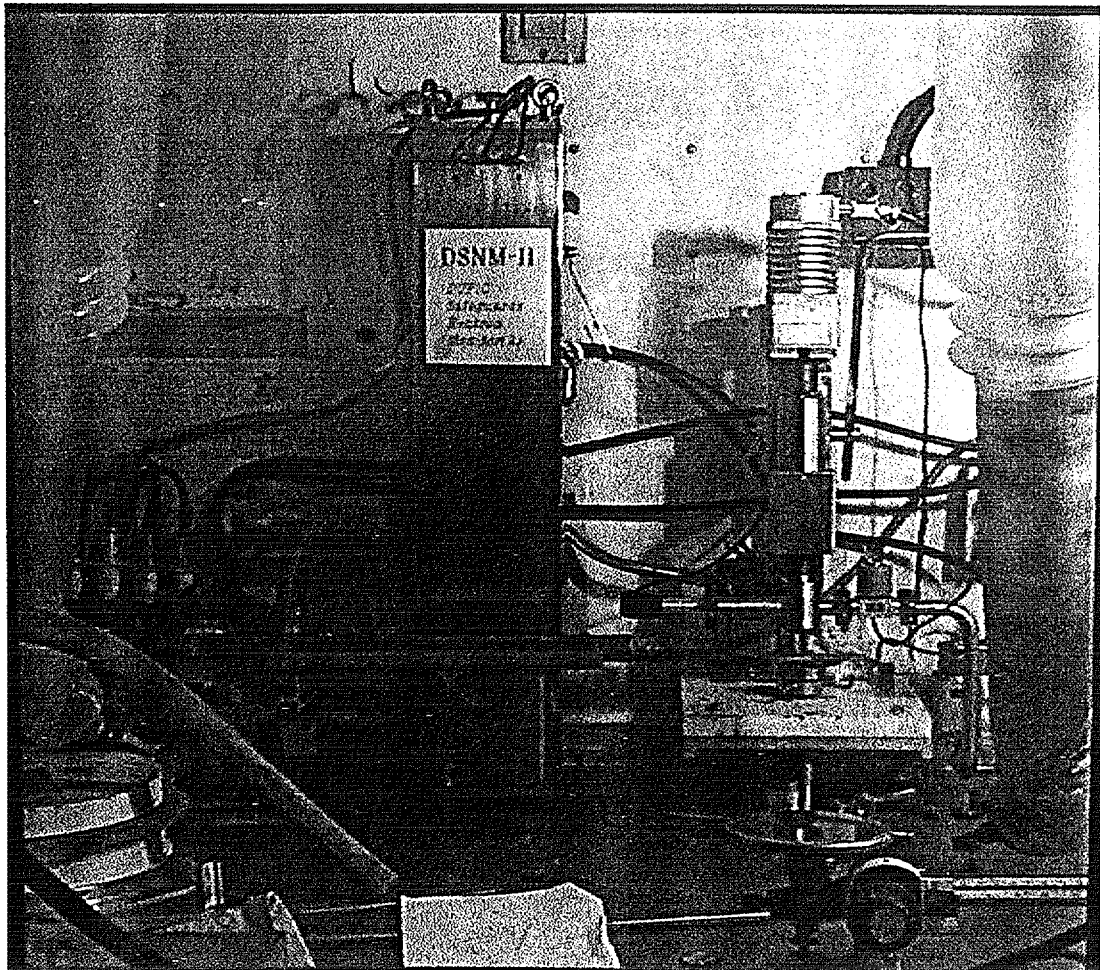


그림 5-2 9405 핫셀내에 설치된 DSNMII

이 'PIEF 감시장비'(PIEF Safeguard Surveillance System, PSSS)는 중성자 모니터 1개만을 갖는 간단한 시스템이기에 핵물질의 이동 및 상태에 대해 정확한 상황을 알 수는 없으나, 핵물질의 상태변화는 잘 보여주고 있다. PSSS는 연속무인방사선 검출시스템으로, 매 5초마다 데이터를 취득하고 있으며, 최장 100일까지 데이터를 취득할 수 있다.

DSSS 에 사용된 중성자 검출장비(DSNM)는 핫셀 외부에 설치하는데 반해 PSSS 에 사용된 중성자 검출장비(DSNMII)은 핫셀 내부에 설치하였다(그림 5-2). 때문에 DSNMII 에서는 사용후핵연료로부터의 강한 세기의 감마선을 차폐할 수 있는 차폐체를 추가로 고려하였다.

한편 IAEA에서도 그림 5-1과 같이 독자적으로 사용후핵연료를 감시할 수 있는 Unattended and Attended Radiation Monitoring System을 개발하여 설치하였으며 데이터 취득장비는 IAEA 캐비닛에 들어있다. DSNMII 의 신호는 KAERI의 데이터취득장비로 연결되는 한편, 분기되어 IAEA에 의해 또한 취득되고 있다(그림 5-1 및 그림 5-2).

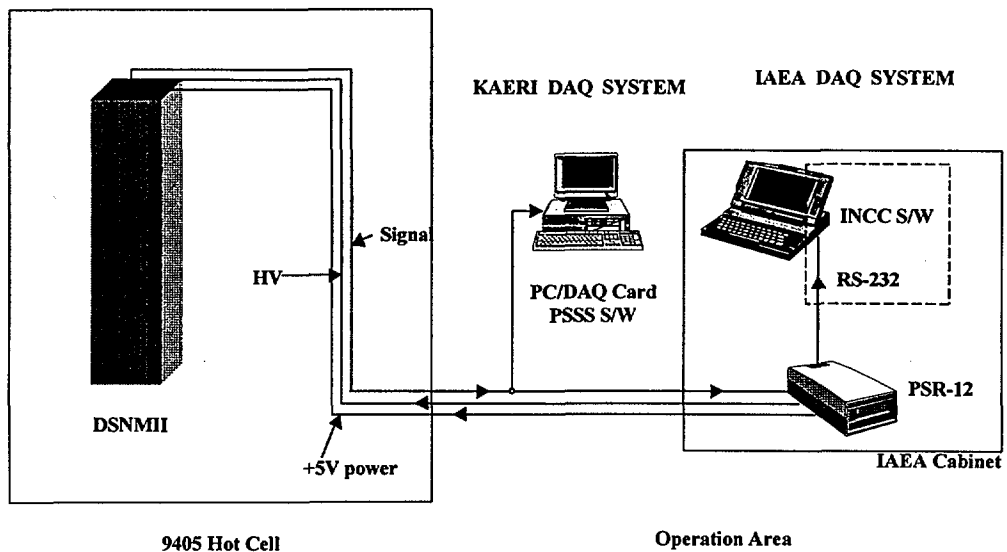


그림 5-3 PIEF 감시시스템 및 신호의 분기

IAEA가 9405 핫셀내 사용후핵연료의 이동을 모니터링하기 위해 제작한 장비의 종류 및 기능은 다음과 같다. 즉, 3가지 종류 4개의 방사선신호 검출기로 unattended mode와 attended mode 2가지 방법이 적용되고 있다. 중성자 및 감마선 신호를 동시에 검출할 수 있는 검출기(He-3 tube와 Ion Chamber로 구성), 감마선 신호만을 검출할 수 있는 검출기(Ion Chamber), 사용후핵연료에서 방출되는 Cs-137 감마선 스펙트럼을 측정하는 검출기(CdZnTe detector) 2개이다.

5-2절 PIEF 감시장비의 하드웨어

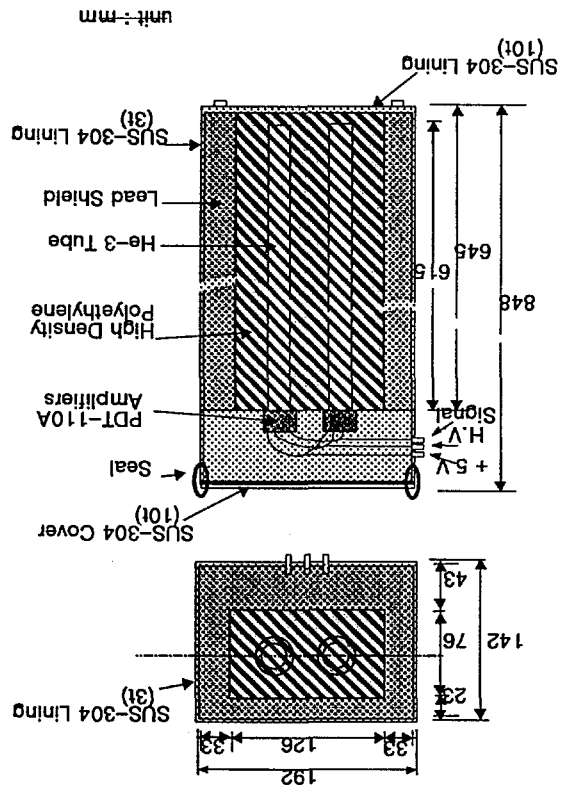
	모델	공급자
PC	펜티엄 120MHz	
중성자 검출기	DSNMII	KAERI
PC 인터페이스	V-IO	OHM
카운터	카운터	KAERI
고전압공급장치	PSR-B	Aquila Tech.

표 5-1 PIEF 감시장비의 하드웨어구성 내역

PSSS의 구성은 표 5-1 와 같다. DSNM-II의 기본개념은 기본적으로 DSNM에 근거를 두고 있다. 그러나 DSNM은 핫셀 외부에 설치하는 것으로 설계된 반면, DSNM-II는 핫셀 내부에 설치할 수 있도록 설계되었다. 즉 DSNM의 설계시 고려사항을 만족하면서 사용후핵연료에서 방출되는 강한 세기의 감마선을 적절히 차폐하여 중성자만을 검출할 수 있도록 설계되었다. 그림 5-4는 감마선 차폐를 고려한 DSNM-II의 개념설계도이며 그림 5-2와 같이 핫셀 안에 설치하였다. 감마선 차폐를 위해 폴리에틸렌 외부를 납으로 제작하였으며 또한 외부 재질은 제염을 용이하게 하기 위하여 표면이 매끄러운 스테인레스 스틸로 housing을 하였다. 또한 시스템의 건전성을 유지하기 위하여 시스템을 열 수 없도록 봉인이 가능하도록

PSSS는 DAQ 카드가 만들어지기 전에 구성하였기에, DSNMII의 신호는 DAQ 카드의 전신인 카공터에 의해 처리되고 카공터는 범용 IO 카드인 V-IO 카드를 통해 PC와 인터페이스를 한다. 이것은 그 목적이 DAQ 카드와 거의 같은 관기에 현면은 생략하였다.

그림 5-4 DSNMIII의 개념도



다. DSNMIII는 DSNM 과 외양 및 차폐만이 다른데, DSNMII의 몸체에 사 용된 개질(차폐물질)은, 플리에틸렌(내부), 납(외부), 스테인레스 스틸(를) 이다. DSNMIII에 고전압 및 프리앰프의 전원은 DSSS에서와 마찬가지로 PSR-B에 의해 공급되도록 하였다. 현재 공급되는 고전압은 DC 1600V 이

생략하였다.

5-3절 PIEF 감시시스템 소프트웨어

소프트웨어는 DSSS 에서와 마찬가지로 Windows 95/98에서 작동하며 사용자 인터페이스의 주 화면은 다음과 같다.

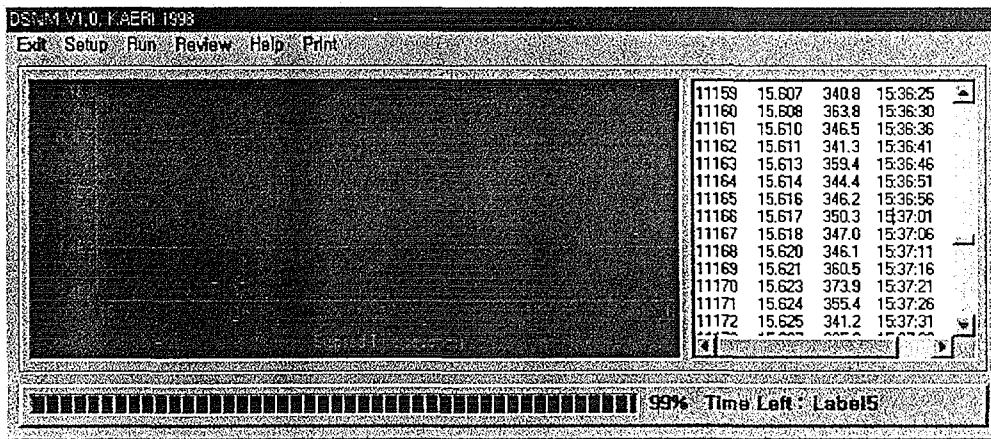


그림 5-5 PIEF 감시장비 소프트웨어의 사용자 인터페이스

기능은 크게 DAQ 와 Review 로 나뉘는데, DAQ는 매 정해진 시간 (1-10초)마다 데이터를 취득하고 보여주며, Review 는 파일로 저장된 데이터를 읽고 보여준다. 데이터는 매 1000개 취득될 때마다 메모리로부터 파일로 저장되어, 정전등의 불의의 사태가 있더라도 기존 데이터는 살아 남는다. 하루동안의 데이터는 한 개의 파일에 저장된다. 데이터 파일은 두 가지 형식으로 저장되는데, 이진파일과 텍스트파일이다. 텍스트 파일은 쉽게 그 내용을 볼수 있는 반면, 그 크기가 크다. 이진파일은 PSSS 소프트웨어를 통해서 볼 수 있는 반면, 그 크기가 작다. 또한 이들간에 상호 변환은 가능하다.

현재 매 5초마다 데이터를 취득하도록 하였는데, 그 경우 24시간 데이

터를 취득할 때 이진파일은 크기가 약 160KB 이다. PSSS 시스템은 현재 최대 100일간 무인/연속으로 데이터를 취득할 수 있다.

5-4절 PIEF 감시시스템의 운용 결과

1998년 10월 이후 현재까지 PIEF 감시시스템을 운용하여 오고 있으며 정전에 의해 데이터 취득이 몇번 중단되었을 뿐 잘 작동하고 있다. 다음의 그림 5-6은 1999년 5월 4일 취득된 데이터인데 15시 부터 17시까지 일련의 작업이 있음을 명확히 보여주고 있다. 이날 사용후 핵연료봉 한 개를 잘랐는데, 그 과정은 다음과 같았다. 먼저 연료봉을 일정 길이만큼 끌어온 후 자른다(데이터 값이 크게 증가). 잘린 연료봉은 어느 한곳에 쌓아 둔다(데이터 값이 약간 감소). 이런 과정이 연료봉이 모두 잘릴 때까지 반복된다. 따라서 데이터가 그림 5-6과 같이 계단모양으로 증가하는 것이다.

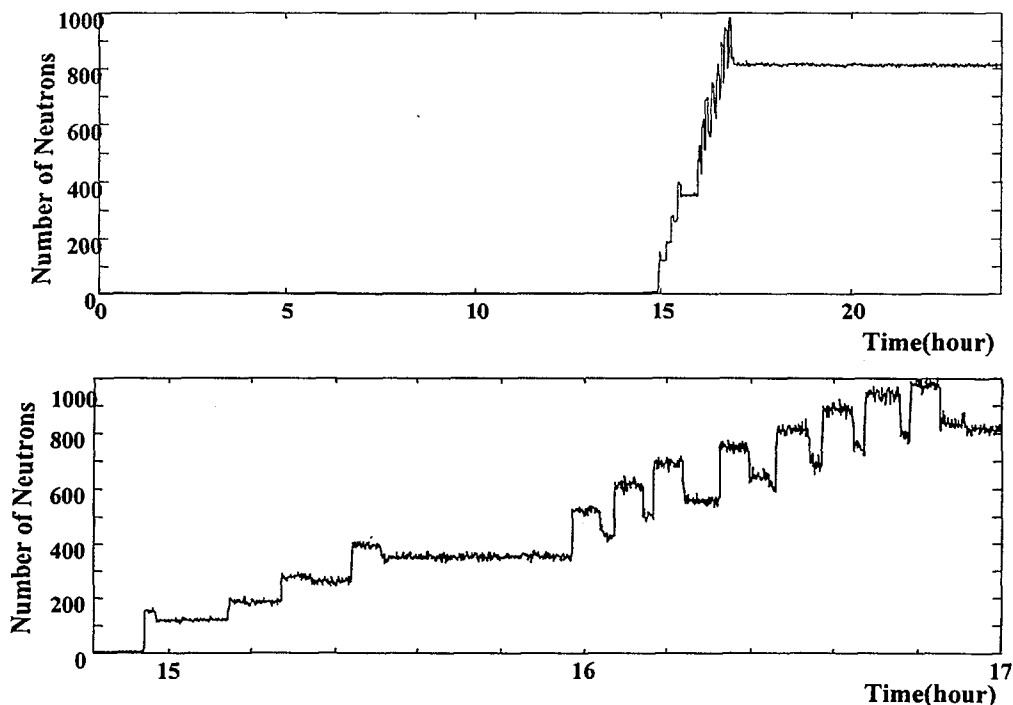


그림 5-6 1999년 5월 4일 데이터. SF Rod Cutting.

제 6 장 결론 및 계획

DUPIC의 격납/감시를 위한 DUPIC 감시시스템은 기초적인 개발을 마치고 DFDF(DUPIC Fuel Development Facility)에 설치되어 현재 이 시설에 대한 감시데이터를 취득하고 있다. 이 시스템은 중성자모니터 2대와 CCD 카메라 3대, 그리고 데이터 취득 및 처리를 위한 PC로 이루어졌다. 사용된 중성자모니터는 He-3 튜브를 기반으로 제작되었으며 그동안의 실험 및 운용에서 사용후핵연료의 움직임을 잘 포착하였다. 이 시스템은 DFDF에 설치된 이래로 6개월 이상 연속으로 작동하고 있으며 하드웨어적인 문제는 보이지 않고 있다.

DUPIC 감시시스템의 소프트웨어는 데이터취득 및 처리, 핵물질의 거동 진단, 원격감시기능이 있는데 현재 그 기본적인 기능만 갖춘 상태로 성능 개선이 필요하다. 실험데이터를 사용하여 데이터 처리 및 진단기능을 구현하였는데, 핵물질 거동에 대한 진단의 결과는 사람이 판단한 것과 잘 일치하였다. 현재는 현장의 환경변화에 민감한데 영상처리에 있어서 패턴인식 등의 알고리즘을 도입하여 개선할 계획이다.

앞으로 DUPIC 감시시스템의 기능보강 및 성능개선을 하여 IAEA의 공인을 추진할 것이다. 현재 PIEF와 DFDF에 설치된 DUPIC의 중성자모니터는 IAEA와 그 신호를 공유하고 있는데, 특히 DFDF에는 IAEA의 별도 방사선모니터를 설치하지 않고 DUPIC의 중성자모니터 신호를 격납 및 감시에 사용하고 있다.

[참고문헌]

- [1] 홍종숙외, “경중수로 연계 핵연료주기 핵물질보장조치 기술개발”, TR-760, KAERI, 1996
- [2] Y.S.Park, et. al., “On-Line Integration of Camera and Radiation Data Using Neural Network”, FLINS, 1998
- [3] “삼성 비전 보드 MVB-03 사용자 설명서, 라이브러리 설명서”, 삼성전자, 1997
- [4] Willian R. Leo, “Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments”, Spromger-Verlag, 1994
- [5] D. Reilly, et. al, “Passive Nondestructive Assay of Nuclear Materials”, LA-UR-90-732, LANL, 1991
- [6] 이영길외, “DUPIC핵물질 안전조치용 중성자검출장치 개발”, TR-1381, KAERI, 1999
- [7] 차홍렬외, “DUPIC 핵물질 계량관리를 위한 DSNC의 교정 및 IAEA 인증시험”, TR-1477, KAERI, 2000
- [8] 신정환, “C가미는 로봇I”, Ohm사, 1996
- [9] 신정환, “C가미는 로봇II”, Ohm사, 1997
- [10] Kris Jamsa, “Jamsa’s 1001 C/C++ Tips“, Jamsa Press., 1993
- [11] 안동훈, 박병진, “블랜드 C++ 빌더”, 젊은이들, 1997
- [12] J.Miano, et. al., “블랜드 C++ Builder HOW-TO”, 정보문화사, 1998
- [13] 정태영, “블랜드 C++빌더 정복 4.0”, 가남사, 1999
- [14] C. Petzold, Paul Yao, “Programming Windows95”, 교학사, 1998
- [15] P. A. Laplante, A. D. Stoyenko, “Real-Time Imaging”, IEEE Press, 1996

- [16] R. J. Schalkoff, "Digital Image Processing and Computer Vision", John Wiley & Sons, 1989
- [17] A.R. Weeks Jr, "Fundamentals of Electronic Image Processing", IEEE Press, 1996
- [18] "Matrox Imaging Library", Matrox, 1999
- [19] Rangachar Kasturi and Ramesh C. Fain, "Computer Vision : Pinciples, Advances & Applications", IEEE Computer Society Press., 1991
- [20] Rafeal C. Gonzales, Paul Wintz, "Digital Image Processing 2nd edition", Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1987
- [21] Morton Nadler, Eric P. Smith, "Pattern Recognition Engineering", John Wiley & Sons, Inc., 1993
- [22] Edward R. Dougherty, "An Introduction to Morphological Image Processing", The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 1992
- [23] Dana H. Ballard, Christopher M. Brown, "Computer Vision", Prentice Hall, Inc., 1982
- [24] R.P.Lippmann, "An Introduction to Computing with Neural Nets", IEEE Acoustics Speech and Signal Processing Magazine, Vol 4, pp.4-22, 1987
- [25] Howard Demuth, Mark Beale, "Neural Network Toolbox User's Guide", the MATH WORK, Inc., 1993
- [26] J.-S.R. Jang, C.-T. Sun, E. Mizutani, "Neuro-Fuzzy and Soft Computing", Prestice-Hall, Inc., 1997
- [27] J.A.Howell, et. al., "Analysis of Integrated Video and Radiation Data", INMM 36th Annual Meeting Proceedings, 1995

- [28] G.E.Bosler, et. al., "Integrated Safeguards System, IAEA Symposium on International Safeguards", Vienna, Austria, March 14-18, 1994
- [29] J. K. Halbig, et. al., "Application for unattended, remote NDA instrumentation," Proceedings of IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Vol. 2, pp. 1246-1253, 1991
- [30] J. Vidaurre, *35th Introductory Course on Agency Safeguards*, Module 5: Containment and Surveillance, Session 5.1: Introduction to Agency Use of C/S, IAEA Headquarter, Vienna, 1994
- [31] M. Goldfarb and J. Whichello, *35th Introductory Course on Agency Safeguards*, Module 5: Containment and Surveillance, Session 5.6: Other C/S Techniques and Equipments, IAEA Headquarter, Vienna, 1994
- [32] B. Richter, G. Neumann, K. J. Gaertner, J. V. Whichello, "The generic review station 'MORE': Design and evaluation," pp.737-742
- [33] J. Whichello, *35th Introductory Course on Agency Safeguards*, Module 5: Containment and Surveillance, Session 5.5(c): Introduction to MORE and MARS review systems, Vienna, 1994
- [34] J.A.Howell, et. al., "Safeguards Application of Pattern Recognition and Neural Network", IAEA Symposium on Internatinal Safeguards, Vienna, Austria, March 14-18, 1994
- [35] J. A. Howell, et. al., "Application of neural network and pattern recognition software to the automated analysis of continuous nuclear monitoring of on-load reactors," Proceedings of Nuclear Material Management Conference, XXI, pp.961-966, 1993

[부록 A] DAQ 카드의 회로 및 사용

A-1 회로

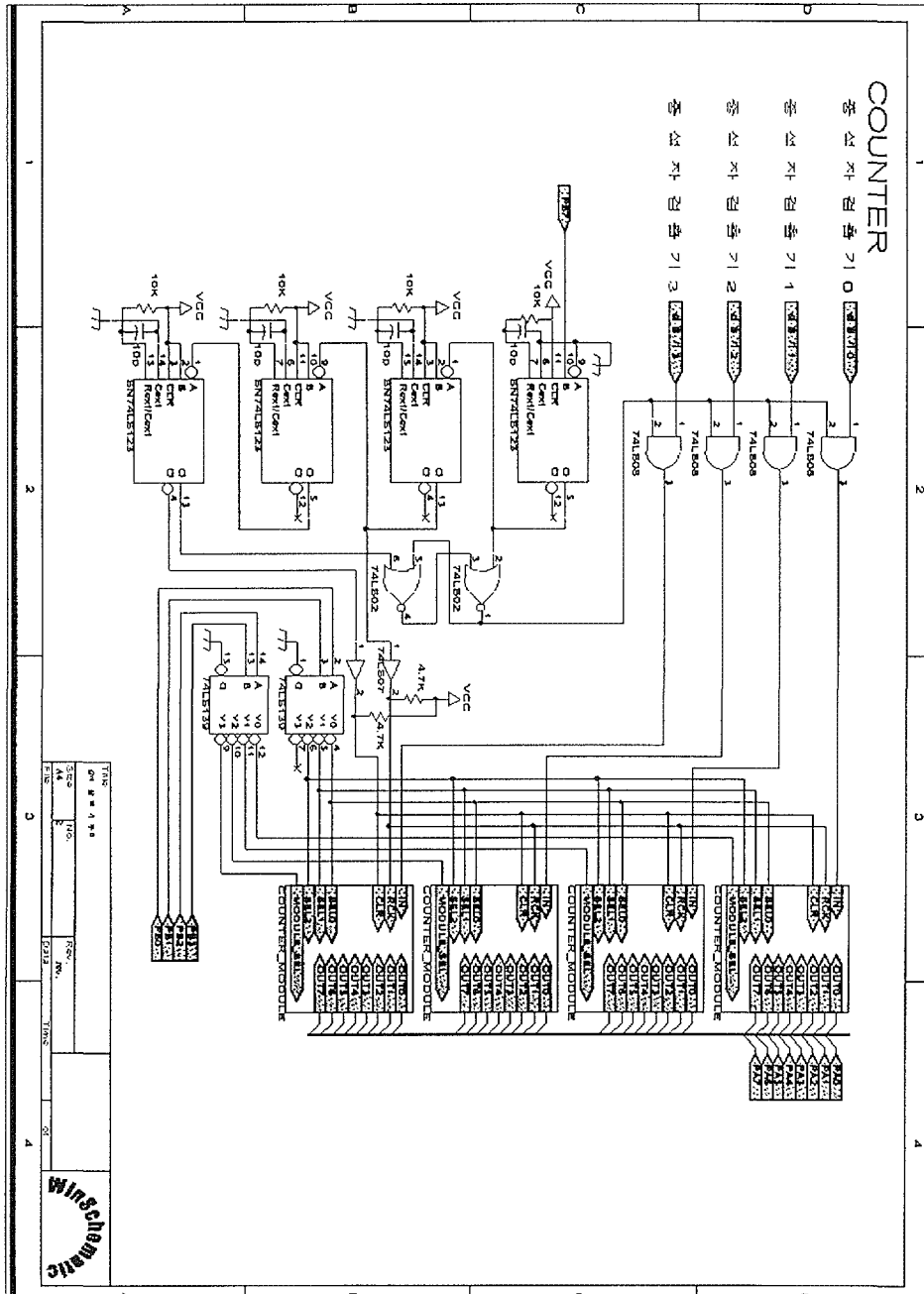


그림 A-1 DAQ 카드의 회로(카운터제어 부분)

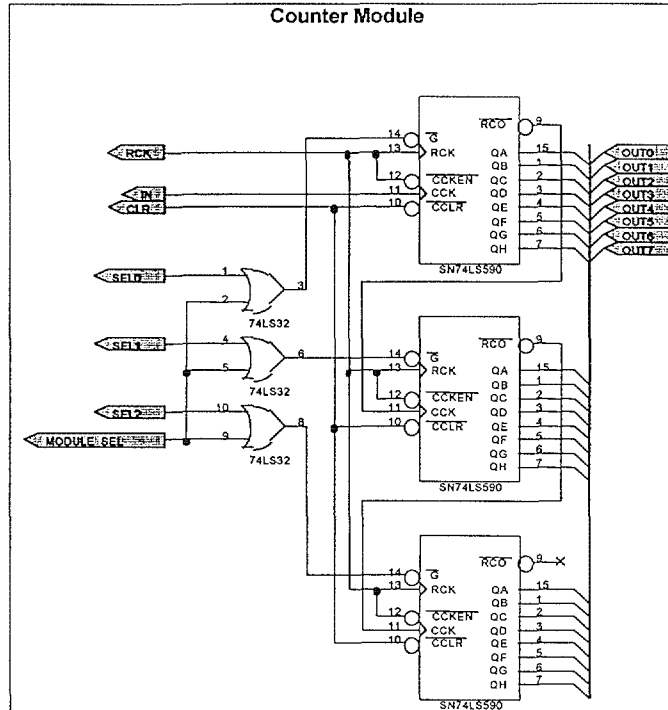


그림 A-2 DAQ 카드 회로(한 개의 카운터)

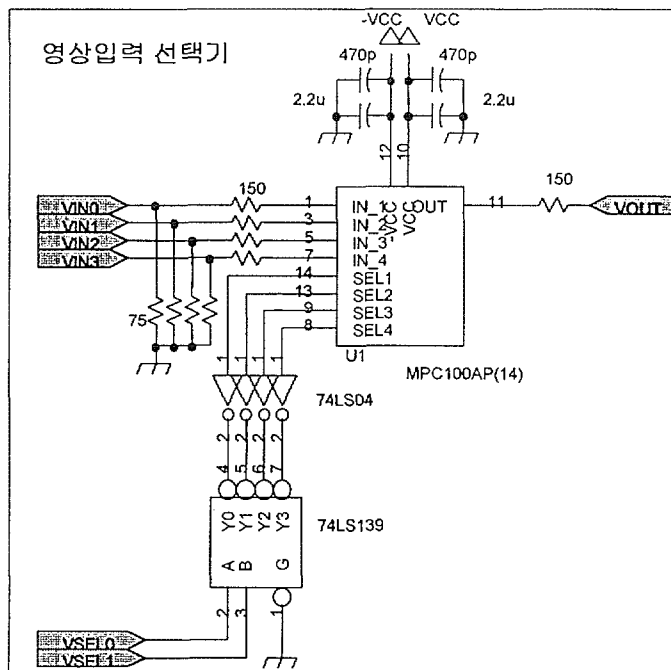


그림 A-3 DAQ 카드의 회로(영상선택)

A-2 DAQ 카드의 사용

DAQ 카드를 사용하려면, 다음 순서를 따른다.

- (1) PC를 부팅한 후, PC의 사용하지 않는 IO 포트의 번지를 확인한다.
- (2) DAQ 카드의 DIP 스위치를 적당히 설정해 주어야 한다. DIP 스위치는 DAQ 카드와 PC 사이의 인터페이스에 사용되는 IO 포트를 정해준다.
- (3) PC를 전원을 내리고, DAQ 카드를 PC의 빈 ISA 슬롯에 꽂는다.
- (4) DAQ 카드의 입력포트에 DSNM 및 CCD 카메라 출력을 연결한다. 하드웨어적인 준비는 끝났으며, 소프트웨어를 사용한 DAQ 카드의 제어는 다음과 같다.
- (5) DAQ 제어프로그램에서, 우선 DAQ 카드의 8255 IC를 초기화 해야 한다.
- (6) DAQ 제어프로그램에서 카운터를 리셋하고 각 카운터의 값을 읽어 들인다.
- (7) DAQ 제어프로그램에서 입력되는 카메라를 선택한다. 위의 자세한 사항은 다음을 참조한다.

A-3 DAQ 카드의 DIP 스위치 설정

DAQ 카드의 DIP 스위치를 사용하여 다음과 같이 PC와의 IO 포트를 설정한다. 먼저 PC에서 사용하지 않고 있는 IO 포트의 어드레스를 확인한다. DAQ 카드는 4개의 번지를 사용하는데, 예를 들어, 0X310-0X313 번지를 사용한다. 이 번지가 비었고 사용하기로 정하였으면 다음과 같이 DAQ 카드의 DIP 스위치를 설정해 준다. 주의할 것은, 1은 DIP 스위치의 "Off" 에, 0은 "On" 에 해당한다는 것이다. 각 자릿수는 원래 4bit로 설정

되는데, 첫 자리(위에서는 값 3)에서는 하위 2bit 로만 설정됨을 주의해야 한다. 마지막 자리(0)에서 상위 2bit만 DIP 스위치에 의해 결정되는데, 그것은 DAQ 카드가 4개의 어드레스를 사용하기 때문이다. 다음의 표 A-1에서 “값”은 16진수로 표기된 값이다.

자릿수	첫자리	둘째자리	셋째 자리
DIP 스위치 번호	8 7	6 5 4 3	2 1
DIP 스위치 상태	1 1	0 0 0 1	0 0
WEIGHT	2 1	8 4 2 1	8 4
값	3	1	0
IO 시작 번지	0X310		

표 A-1 DIP 스위치 설정 예(0X310 설정)

각 자리의 값은, “DIP 스위치 상태”*“WEIGHT”를 모두 더한 값이다. 예를 들면, 위에서 둘째자리는, $0*8 + 0*4 + 0*2 + 1*1 = 1$ 이다.

다른 예로써, IO 포트 0X338-0X33A를 사용하는 경우, 다음과 같다.

자릿수	첫자리	둘째자리	셋째 자리
DIP 스위치 번호	8 7	6 5 4 3	2 1
DIP 스위치 상태	1 1	0 0 1 1	1 0
WEIGHT	2 1	8 4 2 1	8 4
값	3	3	8
IO 시작 번지	0X338		

표 A-2 DIP 스위치 설정 예(0X338 설정)

A-4 8255의 제어

8255 는 8bit의 IO 포트가 3개인데(각각 PPA, PPB, PPC), 각각의 어드레스는 “IO 시작번지“+(0~2) 에 해당된다. 예를 들어 DIP 스위치로 설정해 준 IO 시작번지가 0X310 이라면, 0X310 은 PPA, 0X311 은 PPB, 0X312 는 PPC 에 각각 해당된다. 즉 각 포트를 통해 IO를 하기 위해서는 이 어드레스를 참조하면 된다. 8255가 사용하는 4개의 어드레스 중 마지막은

Control Register(PPCW) 포트인데, 이것은 8255를 설정해 주는데 사용된다. DAQ 카드에서는, 첫번째 포트 PPA는 카운터의 값을 읽는데(입력) 사용하고, 두 번째 포트 PPB는 카운터를 제어할 때(출력) 사용하고 있으며, 세 번째 포트 PPC 는 영상입력을 선택할 때 사용한다(출력). 8255는 초기에 초기화를 해 주어야 하는데, 즉 DAQ 카드에서는 PPA는 입력, PPB는 출력, PPC는 출력으로 설정해 주어야 하는데, 이것은 PPCW 에 0X90 값을 써 주면 된다.(예를 들면 0X313에 0X90을 출력한다.)

A-5 PPB를 통한 DAQ 카드의 제어

모듈 번호	0			1			2			3		
모듈선택	0X00			0X04			0X08			0X0C		
IC 번호	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
IC 선택	0X00	0X01	0X02	0X00	0X01	0X02	0X00	0X01	0X02	0X00	0X01	0X02
제어 값	0X00	0X01	0X02	0X04	0X05	0X06	0X08	0X09	0X0A	0X0C	0X0D	0X0E

표 A-3 카운터 모듈 및 카운터 IC의 선택

8bit(PPB0-PPB7, PPB0은 최하위 bit이고 PPB7은 최상위 bit)중에서, PPB0-PPB1은 카운터 모듈내의 카운터 IC 선택, PPB2-PPB3 는 카운터 모듈 선택, PPB5-PPB6 은 영상입력선택, PPB7 은 카운터 Reset 에 사용된다. 각 카운터 모듈은 각 DSNM 으로부터 신호를 입력받는다. 또한 각 카운터 모듈은 3개의 8bit 카운터 IC 3개로 구성되어 있어 24bit 까지 계수 할 수 있다. 계수된 값을 읽기 위해서는 카운터를 Reset 해 주어야 한다(PPB 에 0X80을 출력한다). 계수된 값은 PPA를 통해 입력받는데, PPA 는 8bit 이므로 계수된 값을 한번에 받을 수 없기 때문에 먼저 카운터 모듈을 선택하고(PPB 에 0X00, 0X04, 0X08, 0X0C를 출력), 카운터 모듈내의 카운터 IC를 선택한다(PPB에 0X00, 0X01, 0X02). 카운터

모듈과 카운터 IC의 선택은 동시에 이루어져야 하는데, 그것은 위 값들을 더한 값(표 A-3에서 제어값)을 PPB에 출력함으로 써 이루어진다.

다음으로 PPA를 통해 값을 읽어들이면 된다. 이때 각 카운터IC로부터 읽은 값에 weight를 곱해주어야 올바른 값을 얻을 수 있다. IC 0의 weight는 1, IC 1은 256, IC 2는 256*256 이다. 다음 표 A-4는 모듈 0 으로부터 읽은 값의 예이다.

모듈 0번의 데이터			
IC 번호	0	1	2
IC 의 값	219	142	0
Weight	$2^0 = 1$	$2^8 = 256$	$2^{16} = 256*256$
데이터 값	$219*(1) + 142*(256) + 0*(256*256)$ $= 36571$		

표 A-4 카운터 값 읽기 예제

4개의 영상입력채널중 출력될 채널을 선택하기 위해서는, PPC에 표 A-5와 같은 값을 출력한다.

영상채널의 선택				
선택 채널 번호	0	1	2	3
제어 값	0X00	0X01	0X02	0X03

표 A-5 영상채널의 선택

[부록 B] DAQ 카드로부터의 데이터 취득

Windows 98은 IO 포트로의 직접적인 접근을 허용하고 있다. 때문에 DAQ 카드의 제어 및 데이터 취득은 간단한 어셈블리 언어로 제작된 코드를 이용해 쉽게 이루어 질 수 있다. 반면에 Windows NT 는 IO 포트의 직접적인 접근이 허용되지 않기에 다른 방법을 통해 DAQ 카드의 제어 및 데이터 취득을 구현해야 한다. 참고로 "TDLPortIO" 라는 C++ Builder 용의 컴포넌트는 Windows 98 및 NT에서 IO 포트로의 접근이 가능하도록 해 주는 freeware이다. 이 외에 상용의 다른 몇 컴포넌트를 인터넷 상에서 찾을 수 있을 것이다.

현재 DSSS 는 Windows 98 위에서만 개발되고 있기에, 어셈블리를 사용하여 IO를 구현하였다. 다음의 예제 프로그램은 0번 모듈의 데이터를 읽는 것으로, IO 포트로의 입력 및 출력을 위해 IoPort 및 OutPort 함수는 어셈블리로 쓰여졌다.

```
//-----  
// [예제 프로그램] Windows 98에서 IO 포트를 통한 입력/출력  
//  
// InPort 및 OutPort 는 IO 포트로의 직접적인 입력 및 출력을 하는 함수  
// 정해진 시간마다(1초마다) 모듈 0번의 데이터를 읽어 출력한다.  
//-----  
  
#include <vcl.h>  
#pragma hdrstop  
  
#include "Unit1.h"  
  
#define PPA      0X310      // 8255의 포트 A  
#define PPB      0X311      // 8255의 포트 B
```

```

#define PPC    0X312    // 8255의 포트 C
#define PPCW   0X313    // 8255의 Control Register

//-----

#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TForm1 *Form1;

//-----

__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)
    : TForm(Owner)
{
}

//-----

void __fastcall TForm1::btStartClick(TObject *Sender)
{
    OutPort(0X90, PPCW);    // 8255의 모드설정, A=Read,
                          //    B=Write, C=Write

    Timer1->Enabled = true;
}

//-----

void __fastcall TForm1::btStopClick(TObject *Sender)
{
    Timer1->Enabled = false;
}

//-----

void __fastcall TForm1::Timer1Timer(TObject *Sender)
{
    int DataRead; // Data read from port

    OutPort(0x80, PPB); // 카운터 Reset
    OutPort(0x0, PPB); // 카운터 Reset

    OutPort(0x0, PPB); // 모듈 0번의 0번 카운터 IC 선택

```

```

        DataRead = InPort(PPA);    // 데이터 읽기

        OutPort(0x1, PPB);        // 모듈 0번의 0번 카운터 IC 선택
        DataRead += InPort(PPA)*256; // 데이터 읽기

        OutPort(0x2, PPB);        // 모듈 0번의 0번 카운터 IC 선택
        DataRead += InPort(PPA)*256*256; // 데이터 읽기

        Memo1->Lines->Add(IntToStr(DataRead)); // 데이터 출력
    }
//-----
void __fastcall TForm1::OutPort(BYTE data, short Adres)
{
    __asm {
        mov dx, Adres
        mov al, data
        out dx, al
    }
}
//-----
BYTE __fastcall TForm1::InPort(short Adres)
{
    BYTE bData;
    __asm
    {
        mov dx, Adres
        in al, dx
        mov bData, al
    }
    return bData;
}
//-----

```

[부록 C] 인공 신경망(Artificial Neural Network)

신경망의 기본동작은 입력층 세포에 입력이 들어오면 이를 연결가중치와 곱해 은닉층에 입력하게 되고, 은닉층에서는 입력으로 들어온 값들을 모두 더하여 활성화함수를 취하게 된다. 이렇게 구해진 값이 은닉층에서의 출력이 되고 이 과정은 은닉층 개수만큼 반복된다. 마지막 은닉층 모두 더하여 출력층 활성화함수에 취하여 구해진 값을 최종 출력값이 된다. 만약 이것이 회상이라면 최종 출력값을 취하는 것으로 끝나고, 학습이라면 원하는 출력과 비교하여 나타난 오차를 바탕으로 연결가중치를 조절해 주는 것이다.

C-1 신경망의 특징

신경망의 가장 큰 특징이라면 병렬처리 구조를 가지고 있다는 것이다. 입력층 신경세포들에 입력 패턴이 동시에 입력되고 은닉층으로도 동시에 출력되며 최종출력도 동시에 나오게된다. 신경 세포들 하나하나가 순서대로 작동하는 것이 아니라 병렬적으로 처리가 된다. 그만큼 처리속도가 빨라지는 것이다. 이것은 신경망이 그렇다는 것이고 컴퓨터를 이용하여 이를 시뮬레이션할 때는 어쩔수 없이 신경세포 하나하나씩 계산해주는 순차 처리 방식을 사용해야한다.

다음 특징은 데이터가 분산저장된다. 학습과정을 통해 보더라도 쉽게 알 수 있듯이 신경망의 출력은 연결가중치가 모인 값인데 이 연결가중치는 많은 연결들이 각각 하나씩 가지고 있기 때문에 결과적으로 신경망의 특성은 연결가중치에 분산되어 저장되어 있는 것이다. 이 때문에 몇몇 연결이 끊어지더라도 신경망은 큰 영향을 받지 않는다.

C-2 인공 신경망 구조

본 연구에서 사용하는 인공 신경망의 구조는 다층 구조를 가지고 오류 역전파 알고리즘(Error Back-Propagation Algorithm)을 갖는 다층 신경망(Multi layered Neural Network)이다. 오류 역전파 알고리즘은 1986년 롬멜하트(David E Romelhart)에 의해 만들어진 학습규칙으로 오늘날 가장 유명한 신경망 학습중에 하나다. 오류 역전파 알고리즘을 일반화된 델타규칙(Delta Rule)이라고도 부른다. 이것의 기본원리는 델타규칙과 유사하며 다음과 같다.

“만일, 어떤 신경세포의 활성이 다른 신경세포가 잘못된 출력에 공헌을 하였다면, 두 신경세포간의 연결 가중치를 그것에 비례하여 조절해 주어야 한다. 그리고 그러한 과정은 그 아래에 있는 신경세포까지 계속된다.”

전형적인 다층 신경망은 그림 C-1과 같이 입력층, 은닉층, 출력층으로 구성되며, 일반적으로 하나 이상의 은닉층을 가진다.

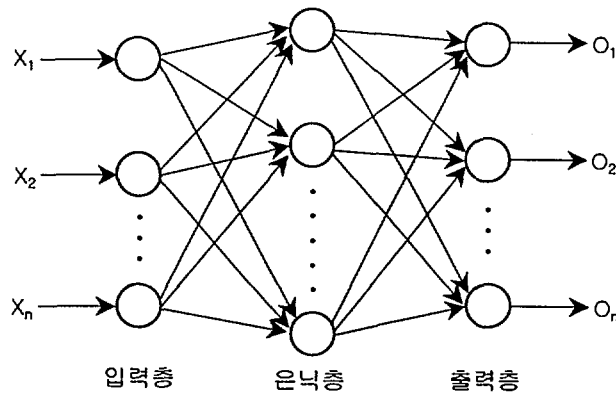


그림 C-1 다층 구조를 가진 인공 신경망

그림 C-1에서 각각의 원은 뉴런이다. 이 신경망은 X라는 입력벡터를 갖는 입력층과 O라는 출력벡터를 갖는 출력층으로 이루어지고 입력층과 출력층 사이의 층을 은닉층(Hidden Layer)라 한다. 또한 입력층과 은닉층

사이의 연결가중치(Weight)를 w_{ji} , 은닉층과 출력층사이의 연결가중치를 w_{kj} 라 표기한다. 모든 정보는 순방향 신경망의 연결가중치에 저장되며, 학습과정동안 연결가중치 행렬 w_{ji} , w_{kj} 의 성분은 계속적으로 새로운 정보로 바뀌어 진다. 오류-정정처리를 기반으로 한 교사 학습알고리즘은 w_{ji} , w_{kj} 를 적당한 값으로 결정하는 것이다. 신경망의 연결가중치는 신경망의 출력과 원하는 출력 사이의 오차를 제공하여 최소화시키는 최소자승법(Least Mean Square Method)에 의해 변화된다. 최소자승법을 이용해서 신경망의 연결가중치를 갱신하는 알고리즘은 하강오류정정 알고리즘(Gradient Descent Error-Correction Algorithm)을 사용하여 갱신된다. 다층 신경망에서 자주 사용되는 학습규칙은 오류 역전파 알고리즘이며 오류 역전파는 다층 신경망에서 최소 자승법의 일반화이다.

C-3 학습 알고리즘(Learning Algorithm)

오류 역전파 알고리즘은 여러 개의 은닉층을 가진 망에 적용된다. 처음으로 출력값을 계산하고 출력 오류를 결정하며 다음 층에 오류를 역방향으로 전파시킨다. 마지막으로 오류가 최소화되도록 연결 가중치를 수정한다. 이러한 오류 역전파를 입력층까지 계속하면 오류가 최소화되어 망이 적합화된다. 오류 역전파 학습 알고리즘은 다음과 같다.

1) 전형적인 오류 역전파 신경망의 구조는 입력, 은닉, 출력층을 포함한다. 입력층에서 뉴런의 수는 입력 벡터의 구성요소의 수와 같고, 학습시 입력층은 그림 C-2와 같이 입력 정보는 모든 은닉층에 보낸다.

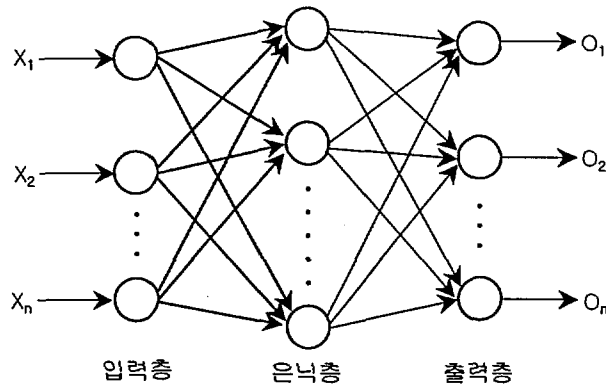


그림 C-2 학습시 굵은 화살표처럼 입력층은 입력정보를 모든 은닉 마디에 전달

2) 은닉층의 뉴런은 모든 출력 뉴런에 그들의 결과를 보낸다. 각각의 출력 뉴런은 가중된 합계를 계산하고 오류벡터를 산출하기 위해 바라는 출력값으로부터 실제 결과를 뺀다. 이 학습의 단계는 그림 C-3의 굵은 화살표로 나타내어진다.

그림 C-3를 보면 입력층으로부터 받은 입력 정보를 갖는 은닉층의 뉴런은 결과를 계산하고 출력층으로 계산된 결과를 보낸다. 출력 단계에서 오류신호는 바라는 신호에서 실제 출력을 뺀 것에 의해서 계산된다.

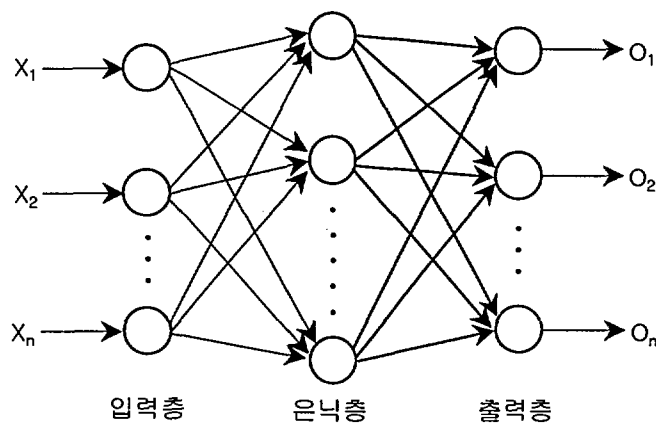


그림 C-3 은닉층에서 출력층으로의 정보 전달

3) 출력 노드는 연결 가중치에 대해서 오류 벡터의 항들의 편미분을 계산한다. 이러한 편미분 값들은 역방향으로 은닉층에 넘어간다. 학습하는 동안의 이 계산법을 사용하는 알고리즘을 오류 역전파 알고리즘이라 한다. 각각의 은닉층은 출력층 오류에 대한 기여도를 찾기 위해 오류의 편미분 값의 합계를 계산한다. 은닉층에서 오류의 역전파는 그림 C-4에 나타냈다.

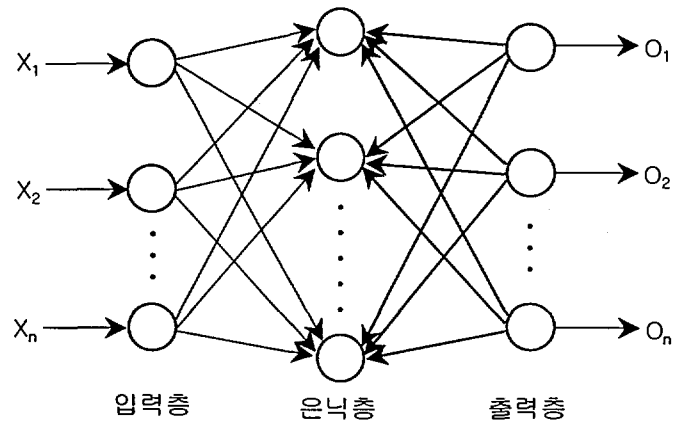


그림 C-4 은닉층으로의 오류 신호의 역전파

그림 C-5는 다층 신경망의 일반적인 구조를 보여주고 있다. 입력층과 은닉층, 출력층을 기호로 표시하면 다음과 같다.

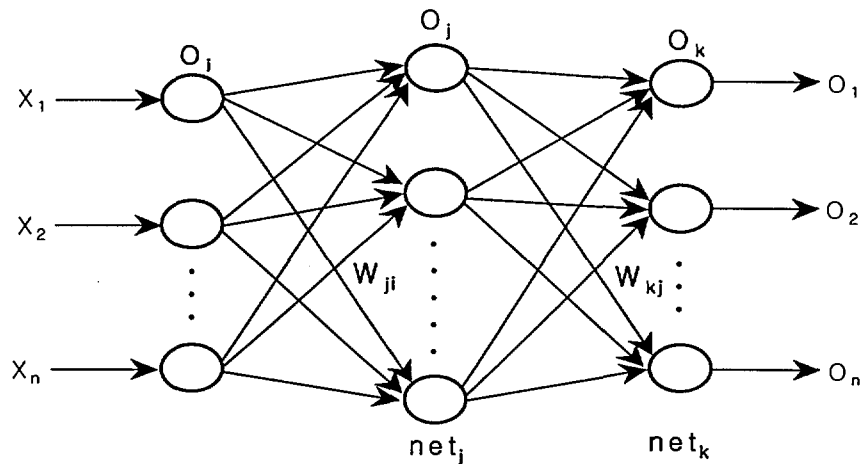


그림 C-5 입력층, 은닉층, 출력층을 가진 인공 신경망 구조

O_i : 입력층의 출력값

O_j : 은닉층의 출력값

O_k : 출력층의 출력값

j 번째 은닉층의 뉴런으로부터 k 번째 출력층의 뉴런간의 연결가중치를 W_{kj} 로 표기한다.

따라서, 출력층을 계산하면 다음과 같다.

$$O_k = F[net_k] \quad (C-1)$$

$$net_k = \sum_j W_{kj} O_j \quad (C-2)$$

이와같은 방법으로 은닉층을 계산하면 식 C-3이 된다.

$$O_j = F[net_j] \quad (C-3)$$

$$net_j = \sum_i W_{ji} O_i \quad (C-4)$$

여기서, 활성화함수는 아래와 같은 단극성 함수를 사용하였다.

$$F[x] = \frac{1}{1 + \exp(-x)} \quad (C-5)$$

패턴 p 에 대한 오차의 제곱은

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_k (D_{pk} - O_{pk})^2 \quad (C-6)$$

이고, 전체 패턴에 대한 자승 오차의 총합은 다음과 같다.

$$E = \sum_p E_p \quad (C-7)$$

즉, 학습의 목적이 연결가중치를 조정하여 E 를 최소화하는 것이므로, 이제 부터 연결가중치의 조정에 대하여 살펴보자. 오차를 최소화하기 위해 연결가중치를 음의 경사방향(Negative Gradient Direction)으로 변화시켜 준다.

$$\Delta W_{kj} = -\eta \frac{\partial E_p}{\partial W_{kj}}, \quad \eta > 0 \quad (C-8)$$

여기서, η 는 학습률이다. 따라서 일반화된 오차신호는 다음과 같다.

$$\delta_k = -\frac{\partial E_p}{\partial net_k} \quad (C-9)$$

식 C-9를 연쇄규칙(Chain Rule)을 사용하여 아래와 같이 간단하게 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial E_p}{\partial W_{kj}} = \frac{\partial E_p}{\partial net_k} \frac{\partial net_k}{\partial W_{kj}} = -\delta_k \frac{\partial net_k}{\partial W_{kj}} \quad (C-10)$$

식 C-2에 의해서 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial net_k}{\partial W_{kj}} = \frac{\partial(\sum_j W_{kj} O_j)}{\partial W_{kj}} = O_j \quad (C-11)$$

그러므로, $\Delta W_{kj} = \eta \delta_k O_j$ 된다.

δ_k 는 아래와 같이 계산된다.

$$\delta_k = -\frac{\partial E_p}{\partial net_k} = -\frac{\partial E_p}{\partial O_k} - \frac{\partial O_k}{\partial net_k} \quad (C-12)$$

여기서, 식 C-6으로부터 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial E_p}{\partial O_k} = -(D_k - O_k) \quad (C-13)$$

식 C-1에 의해 식 C-14로 표현된다.

$$\frac{\partial O_k}{\partial net_k} = F[net_k] \quad (C-14)$$

식 C-5에 의해 활성화함수의 미분은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} F[x] &= \frac{e^{-x}}{(1+e^{-x})^2} = \frac{1}{(1+e^{-x})} \left(1 - \frac{1}{(1+e^{-x})}\right) \\ &= F(x) (1 - F(x)) \end{aligned} \quad (C-15)$$

그러므로,

$$\frac{\partial O_k}{\partial net_k} = O_k (1 - O_k) \quad (C-16)$$

이다. 따라서, 연결가중치의 변화분은 다음과 같다.

$$\Delta W_{kj} = \eta \delta_k O_j \quad (C-17)$$

$$\delta_k = O_k (1 - O_k) (D_k - O_k) \quad (C-18)$$

위에서는 출력층에 대한 연결가중치의 변화에 대하여 알아보았고, 다음은 은닉층에 대한 연결가중치의 변화에 대해서 알아보도록 하자. 여기서도 오차를 최소화하기 위해 연결가중치를 음의 경사 방향으로 변화시켜준다.

$$\Delta W_{ji} = -\eta \frac{\partial E_p}{\partial W_{ji}}, \quad \eta > 0 \quad (C-19)$$

식 C-19를 연쇄규칙을 사용하여 아래와 같이 간단하게 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial E_p}{\partial W_{ji}} = \frac{\partial E_p}{\partial net_j} \frac{\partial net_j}{\partial W_{ji}} \quad (C-20)$$

$$\delta_j = -\frac{\partial E_p}{\partial net_j} \quad (C-21)$$

식 C-4로부터

$$\frac{\partial net_j}{\partial W_{ji}} = O_i \quad (C-22)$$

이다. 여기서, 입력층의 출력값 O_i 는 신경망의 입력값 X_i 와 같다. 즉, $O_i = X_i$ 이다. 그러므로, $\Delta W = \eta \delta_j O_i$ 가 된다.

δ_j 는 아래와 같이 계산된다.

$$\delta_j = -\frac{\partial E_p}{\partial net_j} = -\sum_k \frac{\partial E_p}{\partial net_k} \frac{\partial net_k}{\partial O_j} - \frac{\partial O_j}{\partial net_j} \quad (C-23)$$

여기서, 식 C-2, 3, 9로부터 다음과 같이 계산된다.

$$\delta_j = \sum_k \delta_k W_{kj} f'(net_j) \quad (C-24)$$

따라서 연결가중치의 변화는 다음과 같다.

$$W_{kj} = W_{kj} + \Delta W_{kj} \quad (C-25)$$

$$W_{ji} = W_{ji} + \Delta W_{ji} \quad (C-26)$$

오류 역전파 학습알고리즘을 요약하면 그림 C-6과 같다. 오류 역전파 알고리즘은 오류 신호를 계산하고 신경망의 연결가중치를 조정하기 위해서는 바라는 응답이 필요하다. 이러한 초기의 학습 후의 신경망은 학습에 사용되지 않은 새로운 데이터의 집합을 입력할 수 있다.

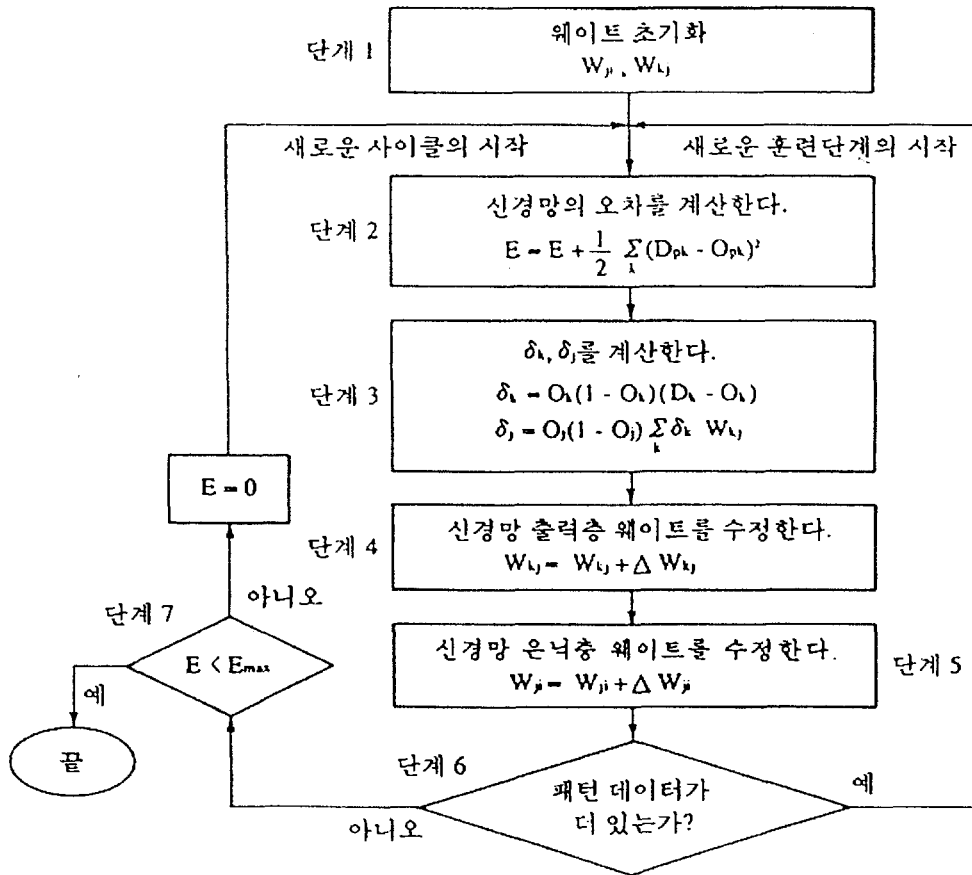


그림 C-6 오류 역전파 학습 알고리즘의 순서도

학습된 데이터의 집합이 아닌 데이터를 갖는 망의 정확성은 신경망에 일반화 능력을 부여한다. 그리고 이것은 곧 신경망의 신뢰도를 가리킨다.

C-4 오류 역전파 알고리즘의 학습 요소들

1) 초기 연결 가중치(Initial Weights)

초기 연결 가중치는 작은 무작위값(random value)으로 설정하고 이런 초기화는 최종 출력에 영향을 미친다. 초기 연결 가중치가 지역 최소점에

빠졌다면 연결가중치가 고정된 값에서 머물게 되므로 다른 지점에서 학습을 다시 시작해야 한다. 이것은 그림 C-7에서 a, b에서 시작한 경우에 해당되며 c에서 다시 시작하면 원하는 값을 얻을 수 있다. 보통 일반적으로 초기 연결 가중치는 -0.5에서 0.5 사이의 값을 주로 사용한다.

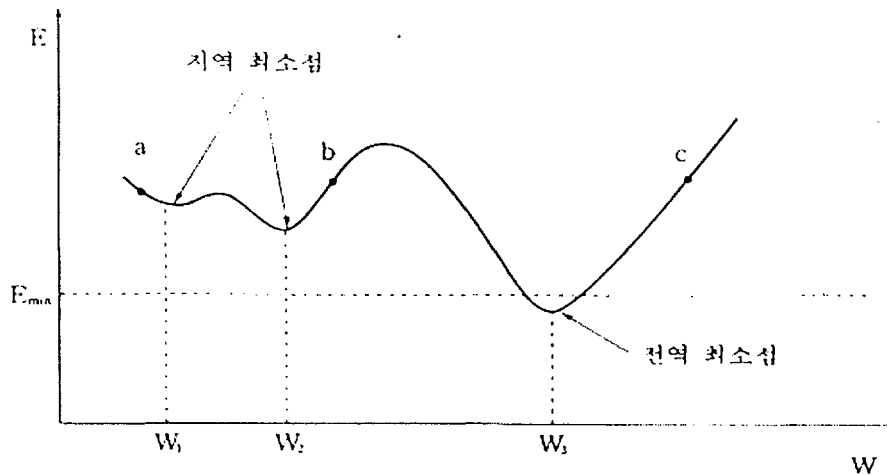


그림 C-7 연결 가중치와 오차 함수(Error Function)와의 관계

2) 학습률(Learning Rate)

오류 역전파 알고리즘의 수렴정도는 학습률(Learning Rate)에 의해서도 달라질 수 있다. 학습률은 신경망의 구조와 응용목적에 따라 각각 달리 선택되고 일정한 기준이 없다. 보통 0에서 1사이의 값을 사용한다. 기울기가 작고 폭이 넓은 최소지점에서는 큰 학습률을 사용하여 빠른 수렴을 이끌어 내야 할 것이고, 기울기가 크고 폭이 좁은 최소지점에서는 작은 학습률을 사용하여 최소점을 지나쳐 버리는 오버슈트가 일어나지 않도록 해야 한다. 큰 학습률을 사용하면 오버슈트가 일어날 수 있고 작은 학습률을 사용하면 학습 속도가 느려질 수 있으므로 적절히 선택해야 한다.

3) 모멘텀 방법(Momentum)

모멘텀 방법도 오류 역전파 알고리즘에서 수렴 속도를 향상시키는 목

적으로 사용한다. 여기서 가장 최근의 연결 가중치 변화량을 추가시킨 것이 모멘텀 방법(Momentum method)이고, 추가시킨 항을 모멘텀항(Momentum Term)이라 하고, 아래와 같이 표현되어질 수 있다.

$$\Delta w(t) = -\eta \Delta E(t) + \alpha \Delta w(t-1) \quad (C-27)$$

또, 상수 α 를 모멘텀 상수(Momentum Constant)라고 한다. 보통 모멘텀 상수는 0.1에서 0.8의 값으로 사용한다. 모멘텀 방법을 사용한 N 스텝 전체의 연결가중치 변화량은 아래 식과 같다.

$$\Delta w(t) = -\eta \sum_{n=0}^N \alpha^n \Delta E(t-n) \quad (C-28)$$

서 지 정 보 양 식

수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드		
KAERI/TR-1617/2000					
제목 / 부제	<p>DUPIC 시설 감시시스템 설치 및 성능검사</p>				
연구책임자 및 부서명 (AR,TR 등의 경우 주저자)	김동영(주저자, 사용후핵연료기술개발팀)				
연구자 및 부서명	김호동(사용후핵연료기술개발팀) 차홍렬(TCNC)				
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구소	발행년	2000
페이지	92 p.	도표	있음(V), 없음()	크기	29.7 Cm.
참고사항					
비밀여부	공개(V), 대외비(), _ 급비밀		보고서종류	기술보고서	
연구위탁기관			계약번호		
초록 (15-20줄내외)	<p>DUPIC 시험시설에 적용할 실시간 통합 감시시스템인 DSSS를 개발하였다. 이 시스템은 He-3 중성자검출기(DSNM) 및 CCD 카메라를 통해 감시데이터를 취득하고 핵물질의 거동을 자동으로 진단한다. 본 보고서는 이 DSSS의 하드웨어 및 소프트웨어에 대해 간략히 설명하고 있다.</p>				
주제명키워드 (10단어내외)					
<p>핵물질, 안전조치, 격납, 감시, DSNM, DSSS</p>					

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET					
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.	INIS Subject Code
KAERI/TR-1617/2000					
Title / Subtitle					
The Installation and Performance Test of the Surveillance System for DUPIC Facility					
Project Manager and Department (or Main Author)		DongYoung Kim(Major Researcher, Spent Fuel Management Technology Research Team)			
Researcher and Department		HoDong Kim(Spent Fuel Management Technology Research Team), HongRyul Cha(TCNC)			
Publication Place	Taejon	Publisher	KAERI	Publication Date	2000
Page	92 p.	Ill. & Tab.	Yes(V), No ()	Size	29.7Cm.
Note					
Classified	Open(V), Restricted(), __ Class Document		Report Type	Technical Report	
Sponsoring Org.				Contract No.	
Abstract (15-20 Lines)	<p>We have developed the real time surveillance system, named by DSSS, for DUPIC Test Facility. The system acquires data from He-3 neutron monitors(DSNM) and CCD cameras to automatically diagnose the transportation status of nuclear material. This technical report shortly illustrates important features of hardware and software of the system.</p>				
Subject Keywords (About 10 words)	<p>Nuclear Material, Safeguards, Surveillance, Containment, DSSS, DSNM</p>				