



KR9600201

KAERI/RR-1544/94

KR9600201

제 1 차년도  
년차보고서

연 구 보 고 서

# 광대역측정을 위한 노외중성자속 감시계통에 관한 연구

A Study on the Excore Neutron Flux Monitoring System  
for the Wide Range Measurement

한국원자력연구소

KAERI/RR-1544/94

|                 |
|-----------------|
| 제1차 년도<br>년차보고서 |
|-----------------|

연 구 보 고 서

광대역측정을 위한

노외중성자속 감시계통에 관한 연구

A Study on the Excore Neutron Flux Monitoring System  
for the Wide Range Measurement

한 국 원 자 력 연 구 소

## 제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 원전기술개발과제인 "광대역측정을 위한 노외중성자  
속 감시계통의 개발"에 관한 기술보고서로 제출합니다.

1995 년 11 월 20 일

제출부서명 : 계측계통분야

과제책임자 : 한 상 준

연 구 원 : 정 대 원

백 광 일

이 정 양

하 재 홍

책임감수위원 : 김 동 훈

감수위원 : 박 석 준

## 요 약 문

노외중성자속 감시계통은 영역별로 선원영역, 중간영역 및 출력영역으로 구분되며, 각 영역은 비례계수기, 전리함 및 핵분열함을 사용하여 각각 출력을 측정한다. 수명이 긴 핵분열함으로 전 운전범위를 측정하려는 광대역측정에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으며, 최근에는 운전중인 발전소에도 이러한 형태의 측정방식을 채택하여 운영하고 있다. 본 연구에서는 핵분열함만을 사용하여 계통을 구성하고자 하였고, 그 결과 전체 계통을 핵분열함, 광대역중폭기 및 신호처리함으로 구성하여 보았다. 이 구성된 계통을 KSNP의 설계요건에 따라서 개념설계를 하였고, 다른 계통에 큰 영향없이 KSNP에 적용될 수 있음을 알 수 있었다.

핵분열함으로 전 운전범위를 측정하기 위하여 기존 핵분열함에 의한 측정영역을 저 출력으로 확장시켜야 한다. 측정영역이 저 출력으로 확장시, 고출력에 비하여 상대적으로 잡음의 영향을 많이 받게 되며, 이러한 잡음을 중성자속에 의한 신호로부터 차별화시키는 것은 정확한 신호 측정을 위하여 매우 중요하다. 현재 노외중성자속 감시계통에서는 중성자속의 분포를 개별적으로 계수할 수 없는 경우, MSV(mean square voltage) 방식으로 신호를 처리하여 출력을 측정하고 있다.

본 연구에서는 핵분열함으로 광대역측정시 저 출력에서 배경잡음의 영향을 줄이기 위하여, 3차 모멘트방식을 도입하여 MSV방식을 개선하고자 하였다. 컴퓨터 모의실험을 통하여 잡음의 영향에 대한 출력을 비교하였으며 그 결과 MSV방식에 비해 3차 모멘트방식이 배경잡음의 영향을 적게 받음을 확인하였다.

또한 노외중성자속 감시계통과 같이 저 준위신호의 신호전송계통에서 흔히 문제점으로 접하게 되는 EMI에 의한 잡음발생현상은 계통의 성능보장은 물론이고, 원자로의 안전운전 확보를 위해서도 반드시 개선되어야 하고, 대책이 강구되어야 하는 문제이다. 이 잡음의 전도와 전달과정은 매우 복잡하고, 연쇄적으로 결합되어 나타나기 때문에 그 원인과 전달과정을 보다 적극적으로 관리하고 억제함으로써, 그 영향을 최소화하여야 한다.

계통설계자 측면에서 접지계통을 완벽하게 설계하여 전달과정을 효과적으로 대처하고, 외부잡음의 수신안테나 역할을 하는 신호선을 적절히 선정하여 잡음의 영향을 억제하는 수단을 강구해야 한다. 또한, 기기제작 설계단계에서는 항상 외부잡음이 발생된다는 가정하에, 기기설계에 적용되는 관련 법규에 따라 雜音耐力에 대한 시험을 거쳐야 하며, 기기설치후에도 관리소홀로 인하여 기기내부에서 잡음원인을 제공하지 않도록 주의 깊게 관리해야 한다. 또한, 관련기기의 사용단계에서는 사용전검사를 실시하여 운전중에 예상되는 외부잡음에 대한 최종 건전성을 확인하는 절차가 필요하다. 따라서, 본계통의 계통설계자의 입장에서 설계시 권장되어야 하고 고려되어야 할 사항들을 요약하였다.

## ABSTRACT

ENFMS(Ex-core Neutron Flux Monitoring System) is divided into source range, intermediate range and power range in accordance with its measurement range whose measurements are carried out with  $\text{BF}_3$  proportional counter, fission chamber and ion chamber respectively. There have been lots of study to adopt the wide-range measurement method which only fission chamber is used through the whole reactor power.

On this study, the whole system was considered using only fission chamber as detector. With its adoption, the system consists of fission chamber, wide-range amplifier and signal processing device. This newly-consisted system was designed conceptually in accordance with system requirements of KSNP, then it was found that it can be adopted into KSNP without any impacts on other systems.

Also to support this configuration, it needs extending the power measurement range which is covered by fission chamber to lower power range. In lower power range the effect of noise in signal is greater relatively than that of high power range. The existing signal processing method to measurement plant power range in ENFMS in which the individual neutron flux pulse can be countered as the reactor power increased is MSV(mean square voltage) measurement.

In this paper the extended method from MSV(2nd moment) mode to 3rd moment to improve the discrimination between neutron signal and

background noise was studied. The simulation shows that the accuracy of power measurement in ENFMS using the method mention above would be improved by 1.5 times.

On the other hand, the most thing is that noise effects due to EMI should be overcome for the system assurance and the safe operation of reactor. This effects can be minimized by careful consideration for overall system, in view of system design, component design, preop test and so forth.

Therefore, from a pointview of system designer, things to be recommended and considered during system design are summarized, whose results will be reflected on the conceptual and detailed design.

## 목 차

|                        | 페이지 |
|------------------------|-----|
| 제 1 장 서 론 -----        | 6   |
| 제 2 장 수행 방안 -----      | 9   |
| 제 1 절 연구 추진 계획 -----   | 9   |
| 제 2 절 연구수행의 효율성 -----  | 10  |
| 제 3 절 추진 전략 -----      | 12  |
| 제 3 장 연구 내용 -----      | 13  |
| 제 1 절 연구개발의 최종목표 ----- | 13  |
| 제 2 절 주요 연구내용 -----    | 13  |
| 제 3 절 연구 성과 -----      | 16  |
| 제 4 장 결 론 -----        | 17  |

## 부 록

1. Conceptual Design Report for Wide Range ENFMS
2. 광대역측정을 위한 개선된 알고리즘을 이용한 신호처리방법에 관한 연구
3. 잡음감소를 위한 설치 Guideline

## 제 1 장 서 론

TMI(Three Mile Islands) 사고이후 USNRC는 Reg. Guide 1.97 (Rev. 02)에서 PWR형 원자로출력의 계측에 대한 요건을 규정하였다. 즉 중성자속의 측정변수를 Type B, Category 1으로 규정하여 전 출력의  $1 \times 10^{-6}\% \sim 100\%$  (8 Decades) 범위를 측정하도록 하였다.

또한 ANSI/ANS-4.5-1980에서도 중성자속의 측정변수를 Type B로 규정하고 있으며, 노심반응도 제어를 위하여 적어도 전 출력의  $1 \times 10^{-8}\% \sim 1 \times 10^{-3}\%$ 를 측정 및 지시하여야 할 것을 언급하고 있다. 이에 따라서 모든 PWR의 노외중성자속 감시계통은  $1 \times 10^{-8}\% \sim 200\%$ 까지의 출력범위를 감시하고 있다.

일반적으로 원자력발전소에서는 노외핵계측기를 3개의 영역으로 나누어 사용하고 있다. 제작사에 따라서 그 운전영역에는 차이가 있으나 대개 선원영역, 중간영역 및 출력영역으로 나누고 있고 각 영역에는 비례계수기, 핵분열함 및 전리함등을 사용하고 있다. 그러나 운전영역별로 3가지의 다른 검출기를 사용하는 것은 유지 및 보수용 재고확보라는 측면에서 낭비요인이 발생하고 있다.

더우기 비례계수기 및 전리함은 수명이 불과 2~10년 정도이어서 자주 교체하여야 하는 번거로움 및 비용손실이 발생할 뿐만 아니라, 유지보수요원의 방사선피폭도 불가피한 실정이다.

이에 반하여, 핵분열함은 수명이 약 40년으로 발전소의 수명기간중 교체없이 사용할 수 있으며, 비교적 큰  $\gamma$ 선원등의 배경잡음하에서도 좋은 감도를 갖는다. 따라서 1980년대부터 연구기관등을 중심으로 하여 전운전범위를 핵분열함 한가지만을 사용하여 광대역 (Wide Range) 측정

을 하고자 하는 많은 연구가 있었고, 최근에는 Gamma-Metrics사에서 이를 실현하여 실제 발전소에 설치 및 운전하고 있다.

이에 따라서 광대역측정이 가능한 노외중성자속 감시계통의 KSNP형 발전소 적용가능성에 대한 연구의 시작으로써 1993년도에 기술 현황분석보고서가 작성되었으며, 본 과제를 통하여 새로운 계통에 대한 개념설계 및 상세설계를 수행하고자 하였다.

또한 최적의 알고리즘을 구현하여 그 결과를 개념 및 상세설계에 반영하고자 신호측정기술에 대한 모의실험을 병행 실시하였다.

한편 현재 운전중에 있는 영광 3, 4호기의 설치 및 시운전시 EMI (Electromagnetic Interference)에 의한 많은 문제가 발생하였으며, 이를 해결하기 위하여 많은 시간과 노력이 필요하였다. 발생된 문제점은 핵연료장진도 되지 않은 상태에서 제어판(Local Panel)에 있는 지시기가 높은 출력을 표시하였고, 또한 이 값조차도 케이블의 사소한 위치변경에 따라서 큰 변화를 보였다.

이 문제는 영광 3호기에서 전치증폭기와 신호처리함사이의 모든 신호선에 Common-Mode 여과기를 새로 장착함으로써 해결하였으나, 영광 4호기에서는 이 방법으로도 해결되지 못하여 Common-Mode 여과기의 케이스를 접지하고, 또한 몇가지 부품을 새로 추가함으로써 해결할 수 있었다.

따라서 후속호기에서 노외중성자속 감시계통의 성능을 개선하기 위하여 문제점을 정확히 파악하는 것이 필요하였고, 그 결과를 앞서 언급한 개념 및 상세설계에서 새로이 반영하고 또한 올진 3,4호기등 기존 발전소에 적용하고자 하였다.

제2장 및 제3장에서는 본 과제에 대한 연구내용 및 수행방안에 관하여 상세히 서술하였고, 상기에서 서술한 주요 연구내용에 대한 연구 결과물은 부록에 각각 수록하였다.

## 제 2 장 수 행 방 안

### 제 1 절 연구추진 계획

—— 계획, ——— 실적

| 연구 내용                                                                                                 | 추진 일정 |       |       |      | 수행률 (%) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|------|---------|
|                                                                                                       | 1Q    | 2Q    | 3Q    | 4Q   |         |
| <b>[A] 검출기 구조연구</b><br>1. KSNP와의 비교<br>2. 연계사항 검토<br>3. KSNP에의 적용성 연구                                 |       | ===== |       | ==   | 100 %   |
| <b>[B] 중성자속측정기술 개발</b><br>1. 알고리즘 개발<br>2. KSNP로의 적용성 검토                                              | ===== |       |       | ==   | 100 %   |
| <b>[C] 신호변환장치 개념설계</b><br>1. Module 분석<br>2. 설계요건서 작성<br>3. 개념설계보고서 작성                                | ===== |       | ===== |      | 100 %   |
| <b>[D] 잡음감소방안 연구</b><br>1. 발전소자료 취득<br>2. 잡음에 대한 연구<br>3. 접지에 대한 연구<br>4. 잡음감소방안 수립<br>5. 예비 설치요건서 작성 | ===== |       |       |      | 100 %   |
| <b>[E] 인허가 관련 연구</b><br>1. S/W V&V 관련 연구<br>2. 전체 계통의 고려                                              |       |       | ===== |      | 20 %    |
| 총 평균 수행률                                                                                              | 100 % | 100 % | 100 % | 80 % | --      |

제 2 절 연구수행의 효율성

1. 비목별 연구비 사용

(단위 : 천원)

| 비 목   | 연구비    | 집행     | 잔액    | 집행비율<br>(%) |
|-------|--------|--------|-------|-------------|
| 국내여비  | 2,677  | 2,490  | 187   | 93 %        |
| 국외여비  | 9,779  | 9,779  | 0     | 100 %       |
| 훈련비   | 500    | 270    | 230   | 54 %        |
| 통신비   | 240    | 18     | 222   | 8 %         |
| 사업추진비 | 600    | 599    | 1     | 100 %       |
| 도서인쇄비 | 474    | 50     | 424   | 11 %        |
| 소모품비  | 36     | 36     | 0     | 100 %       |
| 잡비    | 300    | 0      | 300   | 0 %         |
| 연구장비비 | 2,355  | 2,355  | 0     | 100 %       |
| 합 계   | 17,000 | 15,597 | 1,403 | 91.7 %      |

2. 투입인력 (M/Y)

| 직 급 별 | 계 획     | 투 입     | 투입 량  | 변경 사유 |
|-------|---------|---------|-------|-------|
| 책임급   | 0       | 0       | 0     | 부서 변경 |
| 선임급   | 1.0 M/Y | 0.8 M/Y | 80 %  |       |
| 원 급   | 0.2 M/Y | 0.2 M/Y | 100 % |       |
| 계     | 1.2 M/Y | 1.0 M/Y |       |       |

### 3. 확보된 주요 연구시설 및 연구기자재

| 구 분                                                                | 활 용 정 도                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [A] 연구시설                                                           | 해당사항 없음                                                                                                                              |
| [B] 연구기자재                                                          |                                                                                                                                      |
| o Computer Sys.<br>- 75MHz 586uP<br>- H/D : 500 MB<br>- MEM : 8 MB | 본 과제 수행내용중 알고리즘 개발을 위한<br>기자재로써 검출기로부터의 신호를 이용<br>하여 Computer 모의실험을 수행하였다.<br>이 모의실험을 통하여 최적의 알고리즘을<br>개발하고 발전소에의 적용성을 확인할 수<br>있었다. |
| o 외장형 H/D                                                          | 발전소에서 취득한 데이터 및 상기 모의<br>실험을 수행한 결과 데이터등 방대한<br>자료를 보존하여 향후 재사용하기 위한<br>것이다.                                                         |

### 제 3 절 추진 전략

1. 본 과제는 울진5&6 이후호기에의 적용을 목표로 수행되었기 때문에 설계의 최종결과인 기기제작에 대한 원만한 수행을 위하여는 KMRR의 노외중성자속 감시계통에 대한 기기제작사이기도 한 GAMMA-METRICS사(미국 San Diego 소재 : 이하 GM이라 칭한다)의 절대적인 협조가 필요하였다. 이에 따라서 방문출장을 통하여 설계결과와 기기제작에의 적용성 및 계통의 Architecture를 구축하였다.
2. 또한 측정기술 분석을 위하여는 입사되는 중성자속에 의하여 발생하는 전자 및 양이온 신호에 대한 정확한 이해가 필요하였으나, 안전계통으로 분류된 본 계통의 특수성으로 인하여 발전소에서의 신호취득은 불가능하였다. 이에 따라서 컴퓨터 모의실험을 하기로 방법을 수정하였다. 그런데 발전소에서 취득한 데이터는 입사되는 중성자속의 평균계수율이 얼마인지 정확히 확인할 수 없기 때문에 오히려 문제해결에 쉽게 접근할 수 있는 계기가 되었고, 후에 KMRR에서 데이터가 취득되면 이를 통하여 모의실험의 결과를 Verification하고자 하였다.
3. 한편 본 과제의 결과는 원전에서의 적용을 위한 것이어서 캐비닛의 재배치등 A/E와의 연계사항이 해결되어야 정확한 설계가 가능할 수 있기 때문에, 이를 위하여 울진 5,6호기에 설계개선사항(ADF)으로 제시하였다.

## 제 3 장 연 구 내 용

### 제 1 절 연구개발의 최종목표

검출기로써 핵분열합만을 이용하는 진전된 노외중성자속 감시계통에 대한 계통설계(개념 및 상세설계 포함)를 수행하고, 이와 병행하여 본 계통에 대한 잡음감소를 위한 설치요건을 연구를 통하여 개발한다. 계통설계 수행시 특히 신호변환장치에 대한 상세설계에 중점을 두고 개발하고자 한다.

연구 결과물로서는 최종 연구보고서, 계통요건서, 설계시방서 및 기기 설계업무와 관련된 설계 결과물이며, 이 결과를 바탕으로 후속기 원전 및 차세대 원자로 개발에 적용함을 그 목표로 한다.

### 제 2 절 주요 연구내용

#### 1. 신호변환장치등 계통에 대한 개념설계

광대역 노외중성자속 감시계통을 구현하기 위하여 먼저 KSNP의 설계요건이 검토되었으며, 이 요건을 바탕으로 미국 GAMMA-METRICS사의 관련 시스템을 검토한 결과, 기계, 초기노심, 안전해석 및 I&C내 타 계통의 설계변경없이 KSNP에 적용될 수 있음을 알 수 있었다 (연계요건이 그대로 유지됨). 이에 따라서, KSNP의 신호처리함내 각 Module구성을 분석하여 보았으며, 이를 기준으로 운전경험을 갖고 있으며 Qualification된 기기를 중심으로 기기제작사와 함께 개념설계를 수행하였다.

광대역 노외중성자속 감시계통의 개념설계에 대한 결과는 부록1에 첨부되어 있다.

## 2. 광대역 중성자속 측정기술 분석

광대역 노외중성자속 감시계통은 세 가지의 측정방식을 운전영역에 따라서 사용하고 있으며, 각 영역별 Calibration 절차가 매우 복잡하다. 이에 따라서, 핵분열함만으로 전운전범위를 측정하고 Calibration을 단순화하기 위하여 "최적의 알고리즘은 무엇이고, 그것을 후속호기에 적용할 수 있는가?"에 대한 답을 얻기 위하여 본 연구를 수행하였다.

실험에 사용된 입력신호는 의사 중성자속신호를 이용하여 근사화시켜 사용하였다. 모든 결과는 입력 및 출력의 정확성을 확인하기 위하여 컴퓨터를 이용한 모의실험을 통하여 검토되었다. 모의실험을 위하여 電子(e)에 의한 입력신호는 펄스폭이 1ms이고 샘플링시간(Sampling Time)은 200ns이며, 전체 Window는 5,000개의 입력신호로서 설정하였다. 신호는 한 개의 중성자에 의하여 발생된 펄스에 대한 의사신호를 샘플링하여 기준 신호로 사용하였으며, 크기와 펄스의 발생시간을 무작위로 구성하였고, 잡음신호도 무작위로 발생하여 사용하였다. 감마선도 같은 신호형태를 사용하였으며 펄스폭은 1,000배정도 길게, 그 크기는 1/1,000로 설정하였다.

본 연구의 결과는 부록2에 첨부되어 있다.

## 3. 계통잡음원인 분석

현재 운전중인 영광 3, 4호기의 설치 및 시운전시, EMI(ElectroMagnetic Interference)/EMC(ElectroMagnetic Compatibility)에 의한 많은 문제가 발생하였으며, 이를 해결하기 위하여 많은 시간과 노력이 필요하였다. 발생한 문제점은 핵연료장진도 되지 않은 상태에서

제어판에 있는 지시기가 높은 출력을 표시하였고, 또한 이 값도 케이블의 사소한 움직임에 따라서 큰 변화를 보였다.

이 문제는 영광 3호기에서 전치중폭기와 신호처리함사이의 모든 신호선에 Common-Mode 여과기를 새로 장착함으로써 해결하였으나, 영광 4호기에서는 이 방법으로도 해결되지 못하여 Common-Mode 여과기를 접지하고, 또한 몇가지 부품을 새로 추가함으로써 해결하였다.

따라서 후속호기에서 노외중성자속 감시계통의 성능을 개선하고 설치시 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 설치를 위한 Guideline의 필요성이 제기되었다. 먼저 해당되는 문제점을 정확히 분석하였고, 잡음원인 및 해결방안에 대하여 검토한 후, 그 결과를 계통의 개선, 개념 및 상세설계에 반영하고자 본 연구가 설정되었다.

본 연구의 결과는 부록3에 첨부되어 있다.

#### 4. 인허가요건 검토 및 적용

본 과제와 관련한 인허가 관련 검토는 본 계통중 신호변환장치의 개념설계시 디지털방식으로 구현되는 경우, S/W V&V에 대한 인허가사항을 검토 및 적용하기 위한 것이었다. 그러나 본 과제 수행중 노외중성자속 감시계통에 디지털방식을 적용할 경우 아날로그방식에 비하여 탁월한 우월성이 입증되지 않았고, 오히려 복잡성이 더욱 증대되기 때문에 디지털방식으로의 전환은 고려하지 않았다.

이에 따라서, S/W V&V에 대한 필요성이 회석되었으며, 일반적인 Code & Std. 의 검토만을 수행하였다.

### 제 3 절 연구 성과

1. 현재 운전 및 건설중에 있는 발전소의 노외중성자속 감시계통은 세 종류의 검출기를 사용하고 있으며, 그 중에서 핵분열함을 제외하고는 짧은 수명 (비례계수기의 경우 약 3년, 이온전리함의 경우 10년 정도) 을 경험하고 있다. 이로 인하여 잦은 교체, 교체에 따르는 교체비용 및 재고량 확보, 교체인력의 방사선 피폭등의 많은 문제점을 가지고 있다. 본 과제를 통하여 설계수명이 40년이나되는 핵분열함만으로 KSNP의 노외중성자속 감시계통설계가능성을 제시할 수 있었고, 이를 토대로하여 후속호기에서 상기 문제점을 제거할 수 있다는데에 큰 의미가 있다고 하겠다.
2. 영광 3,4호기에서 경험하였듯이 노외중성자속 감시계통에 잡음문제가 발생하여 이를 개선하는데에 많은 인력이 소요되었다. 이 문제는 건설중인 본 과제를 통하여 이 문제를 정확히 분석하고 잡음제거와 관련한 올바른 설계 및 설치 Guideline을 제시함으로써 신뢰성있는 노외중성자속 감시계통을 구현할 수 있다.
3. KSNP의 격납건물내에 많은 전치중폭기가 사용되고 있다. 이로 인하여 회로의 교체 어려움, 극심한 환경으로 인한 노후화의 촉진 및 많은 배경잡음의 혼입등 문제점을 가지고 있다. 본 과제를 통하여 모든 전치중폭기를 격납건물 외부에 설계함으로써 높은 신뢰성을 갖도록 하였다.
4. 신호처리함등 전자회로의 설계노후화로 인하여 부품재고가 어렵고 조정/시험이 복잡하다. 새로운 개념의 노외중성자속 감시계통을 설계하고 최신의 회로기술을 접목함으로써 관련 문제를 해결하고 진정한 의미의 기술자립 확보가 가능하였다.

## 제 4 장 결 론

본 과제는 후속호기 원전에 적용을 목표로 수행되었으며, 1차년도에서 그 적용성에 대한 기술적 검토 및 신호변환장치를 포함한 전체 노외중성자속 감시계통에 대한 개념설계를 수행하였다. 그 결과, 운전영역인  $2 \times 10^{-8}\% \sim 200\%$ 의 광대역을 핵분열함만으로 측정이 가능함을 알 수 있었고, 이에 따른 개념설계를 수행할 수 있었다. 전체 계통에 대한 진전된 System Architecture를 구축하였고 그 기능을 정의하였다.

또한 측정기술 측면에서는 발전소로부터 측정한 데이터가 없어서 정확한 컴퓨터 모의실험을 수행하지 못하였으나 3차 모멘트의 MSV에 대한 우월성을 입증할 수 있었고, 또한 이의 하드웨어 구성에 대하여도 검토하여 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 발전소에서 취득된 실제 데이터를 바탕으로 정확한 검증 및 분석이 더욱 필요함을 알 수 있었다. 정확한 검증이후에 설계에의 반영여부가 검토되어야 할 것으로 결론되었다.

잡음감소 측면에서는 잡음의 원인, 해결방안 및 접지등에 대한 검토를 하였다. 그 결과, 신호선간의 배선간격이 매우 중요함을 알 수 있었고, 접지 종류에 따른 적절한 접지방법에 의하여 많은 잡음을 감소할 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 자료 및 시간 부족으로 인하여 이를 건설중인 발전소에 적용하여 잡음측면에서 검토하지 못하는 아쉬움이 있었다. 향후 이 부분에 대한 심도있는 검토 및 분석이 요망된다 하겠다.

## **부록 1   Conceptual Design Report for Wide Range ENFMS**

**Conceptual Design Report**  
**for Wide Range Ex-Core Neutron Flux**  
**Monitoring System**

## TABLE OF CONTENTS

| <u>Section</u> | <u>Title</u>                                        | <u>Page No.</u> |
|----------------|-----------------------------------------------------|-----------------|
| 1.0            | <u>Introduction</u>                                 | 3               |
| 2.0            | <u>References</u>                                   | 4               |
| 3.0            | <u>System Requirements</u>                          | 5               |
| 3.1            | General Design Requirements                         | 5               |
| 3.2            | Functional Design Requirements                      | 7               |
| 4.0            | <u>Proposed System Architecture</u>                 | 13              |
| 4.1            | System Descriptions                                 | 13              |
| 4.2            | Detectors                                           | 13              |
| 4.3            | Cables                                              | 15              |
| 4.4            | Junction Box                                        | 16              |
| 4.5            | Wide Range Amplifiers                               | 16              |
| 4.6            | Startup and Control Signals                         | 19              |
| 4.7            | Plant Protection System Signal Processor            | 20              |
| 5.0            | <u>Evaluation Between Wide Range and KSNP ENFMS</u> | 23              |
| 5.1            | General                                             | 23              |
| 5.2            | KSNP ENFMS                                          | 23              |
| 5.3            | Detector Comparisons                                | 24              |
| 5.4            | Cables and Amplifiers                               | 27              |
| 5.5            | EMI/RFI Concerns                                    | 28              |
| 5.6            | Flexibility and Reliability Comparisons             | 29              |
| 5.7            | Summary of Differences                              | 31              |
| 6.0            | <u>Conclusions</u>                                  | 33              |

## 1.0 INTRODUCTION

This report contains the conceptual design of the Wide Range ENFMS (Excore Neutron Flux Monitoring System) which is based on the feasibility study conducted by KAERI in 1995. The feasibility study concluded that the WR ENFMS system based on the Gamma Metrics product can be adopted and implemented into KSNP.

First of all, the WR ENFMS system is reviewed and compared with that of KSNP from the stand point of functionality. The new architecture is established by considering the system requirements of KSNP and, based on that, the conceptual design is prepared.

In Section 3.0, the system requirements of KSNP ENFMS are reviewed and modified in order to apply to the new system design in global. Then in Section 4.0, the WR ENFMS is reviewed in detail, in Section 5.0, the current Wide Range design is compared with that of KSNP to setup new system architecture. Finally in Section 6.0, the conceptual design report are concluded.

## 2.0 REFERENCES

### 2.1 Industrial Codes and Standards

- 2.1.1 IEEE Std 323-1974, Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations.
- 2.1.2 IEEE Std 344-1987, Recommended Practices for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations.
- 2.1.3 IEEE Std 384-1981, Standard Criteria for Independence of Class 1E Equipment and Circuits.
- 2.1.4 USNRC Reg. Guide 1.75, 1978, Physical Independence of Electric Systems, Rev. 02.
- 2.1.5 USNRC Reg. Guide 1.97, 1983, Instrumentation for Light-Water-Cooled Nuclear Power Plants to Assess Plant and Environs Conditions during and following an Accident, Rev.03.

### 3.0 SYSTEM REQUIREMENTS

#### 3.1 General Design Requirements

##### 3.1.1 Safety Classification

All Safety channels shall be classified as Class 1E and Startup and Control channels shall be classified as Non-Class 1E respectively.

##### 3.1.2 Seismic Classification

All Safety and Startup/Control channels are classified and qualified as Seismic Category I and II respectively. Therefore, all safety channel equipment shall be designed to operate before, during and after five(5) OBE (Operating Basis Earthquake) followed by one SSE(Safe Shutdown Earthquake). Also, all startup/control channel equipment shall be designed to withstand OBEs and one SSE without loss of physical integrity.

##### 3.1.3 Design Basis

###### 3.1.3.1 Startup Channel Design Basis

The Startup Channel shall provide source level neutron flux information to the operator for use during (1) initial reactor Startup, (2) extended shutdown periods, and (3) Startup after extended periods of shutdown and following reactor refueling operations.

###### 3.1.3.2 Control Channel Design Basis

The Control Channel shall provide, in the power operating range, control grade signals to (1) the reactor operator for the power operation and (2) the RRS(Reactor Regulation System) for use during automatic turbine load-following operation.

### 3.1.3.3 Safety Channel Design Basis

The Safety Channel shall be operable to monitor the neutron flux level over its anticipated ranges for normal operation, for Anticipated Operational Occurrences (AOO), and for accident conditions as appropriate to assure adequate safety functions.

Two Post Accident Safety Channel shall be designed to provide the neutron flux information during and after an accident. The Post Accident Safety Channel shall have the operating range of at least  $10^{-6}\%$  ~ 100% of full power and shall be designed to operate as long as the information it provides is needed by the operator in accordance with the requirements of Reference 2.1.5.

### 3.1.4 Redundancy

For the Startup/Control Channels, two independent channels shall be provided. On the other hand, for the Safety Channels, four independent channels shall be provided and in particular two of them shall monitor neutron flux during and following the accident.

### 3.1.5 Separation/Isolation

Startup/Control Channels shall be designed to comply with (1) separation between control and protection system and (2) separation between Class 1E and Non-Class 1E in accordance with References 2.1.3 and 2.1.4. Safety Channels shall be electrically isolated and physically separated from each other and from equipment not classified in accordance with References 2.1.3 and 2.1.4.

Each Startup/Control and Safety channel shall be powered from a separate Non-Class 1E and Class 1E vital instrument bus (VBPSS) respectively.

### 3.1.6 Failure Consideration

For all ENFMS channels, neither a single credible equipment malfunction nor a single operator error result in failure of more than one channel. In particular, for Safety Channel, at least two channels shall monitor the neutron flux continuously. And also, the removal from service of any component or channel shall not result in loss of the required minimum redundancy unless the acceptable reliability of operation of the safety channel can be otherwise demonstrated.

### 3.1.7 Accuracy Requirements

The accuracy for the Count\_rate and the Rate of Change of power of the Startup channel Signal Processor shall be  $\pm 3\%$  of equivalent linear full scale output and  $\pm 0.2$  DPM under the entire operating conditions respectively.

The accuracy for the Control channel Signal Processor shall be  $\pm 1\%$  of full scale output power under the entire operating conditions.

The accuracy (Linear and Logarithm output) for the Safety channel shall be  $\pm 3\%$  of equivalent linear full scale output and the accuracy for the Rate of Change of power over the full range shall be  $\pm 0.2$  DPM under the entire operating conditions.

## 3.2 Functional Design Requirements

The ENFMS shall measure reactor power level by monitoring neutron flux leakage from the reactor vessel. This system continuously monitors the neutron flux from source level through full power operation, and provides signal outputs for reactor protection, reactor power control and for information display.

### 3.2.1 Startup Channel-related Functions

The system continuously shall monitor the neutron flux in the range of 1~2,000 CPS(Counts Per Second).

#### 3.2.1.1 Indication Functions

- (a) The indication for Startup neutron flux level is provided to the MCR.
- (b) The indication for the Rate of Change of power is provided to the MCR.
- (c) Audible Count\_rate indications in the form of tone bursts at a division of the count rate are provided to both MCR and Containment.

#### 3.2.1.2 Alarm Functions

- (a) The High CPS alarm is provided to the PAS (Plant Annunciation System) for warning the operator when the HV(High Voltage) to the startup detectors must be eliminated.
- (b) The system shall provide the alarm signal for the annunciation of the Inadvertent Boron Dilution.
- (c) The Startup/Control Channel Trouble alarm is provided to the PAS when the Startup Channel is in a test mode or when one of the interlocked PCB(printed circuit board) and/or module is removed.

#### 3.2.1.3 Test Function

The Startup channel shall have the capability to test to ensure its proper operation.

#### 3.2.1.4 Other System Input Functions

- (a) The Count\_rate signal is provided to the PMS (Plant Monitoring System) for its application programs and data display available for the operator.

#### 3.2.1.5 Local Indications

The Startup/Control Channel Signal Processor shall be able to display to the operator the following parameters:

- (a) Startup Ch CPS and DPM(Decades Per Minute)
- (b) Startup/Control Ch HV
- (c) Control Ch Power level (Percentage power)

#### 3.2.2 Control Channel-related Functions

The Control channel continuously shall monitor the neutron flux in the power operating range of 0% through 125% of full power (FP).

##### 3.2.2.1 Indication Functions

The indications of power operating range are provided to the MCR.

##### 3.2.2.2 Alarm Functions

Startup/Control Channel Trouble alarm is provided to the PAS to indicate that the HV for Control channel is low or that one of the interlocked PCB and/or module is removed.

##### 3.2.2.3 Test Function

The Control channel shall have the capability to test to ensure its proper operation.

##### 3.2.2.4 Other System Input Functions

- (a) The Power level signal is provided to the system responsible for the automatic turbine load-following operations.

- (b) The Power level signal is provided to the PMS for its application programs and data display available for the operator.
- (c) Signals suitable for use with a reactivity computer are provided during Startup and Reload for Low Power Physics Test below 1% of full power.

#### 3.2.2.5 Local Indications

The Startup/Control Channel Signal Processor shall be able to display to the operator the following parameters (Same as item (b) and (c) of Section 3.2.1.5) :

- (a) Startup/Control Channel HV
- (b) Control Channel Power Level

#### 3.2.3 Safety Channel-related Functions

The Safety Channel continuously shall monitor the neutron flux from near source level (about  $2 \times 10^{-8}\%$ ) to 200% of full power.

##### 3.2.3.1 Indication Functions

- (a) The indication for Log power level (Class 1E) is provided to the MCR.
- (b) The indication for Calibrated Linear power (Class 1E) is provided to the MCR.
- (c) The indication for Rate of Change of power (Class 1E) is provided to the MCR.
- (d) The indication for Log power (Safety Channel A and B only) is provided to the RSP(Remote Shutdown Panel).

#### 3.2.3.2 Alarm Functions

- (a) Alarm signals are provided to the PAS for High Rate of Change of Power and Safety Channel Trouble Alarm.

#### 3.2.3.3 Input for Trip Functions

- (a) A Log power signal is provided to the DIPS (Digital Integrated Protection System) for the High Log Power Trip.
- (b) A Calibrated Linear power signal is provided to the DIPS for the Variable Overpower Trip.
- (c) Three Segment linear power signals are provided to the DIPS for the Low DNBR Trip and the High LPD Trip.

#### 3.2.3.4 Input for Bypass/Interlock Functions

- (a) A Log power signal is provided to the DIPS for the High Log Power Trip Bypass and for DNBR/LPD Trip Bypass (below  $10^{-4}\%$ ).
- (b) A Safety Channel Trouble signal is provided to the DIPS for the Power Trip Test Interlock when the Safety Channel is in a test mode or when one of the interlocked PCB (Printed Circuit Board) and/or module is removed or when high/low voltage is lost.

#### 3.2.3.5 Test Function

The Safety channel shall have the capability to test to ensure its proper operation.

#### 3.2.3.6 Other System Input Functions

- (a) Three Segment linear power signals are provided to the IVMS(Internal Vibration Monitoring System).
- (b) PA(Post-Accident) Safety Channels (Safety Ch A and B) provide to the PMS(Plant Monitoring System) signals needed for its application program and data display available for the operator.

#### 3.2.3.7 Local Indications

The Safety Channel Signal Processor shall be able to display to the operator the following parameters :

- (a) Log Power
- (b) Calibrated Linear Power
- (c) Safety Ch HV
- (d) Rate of Change of Power

#### 4.0 Proposed System Architecture

A Wide Range(WR) ENFMS system architecture is established on the basis of the following assumptions:

- 1) The functional requirements are to be maintained.
- 2) The interface with other systems than I&C system is to be maintained.
- 3) The change for interface with A/E is to be minimized.

#### 4.1 General

WR ENFMS has quite different configuration with that of KSNP. It will provide only four(4) channels for power level coverage, from complete plant shutdown to 200% of full rated power. (See Figure 1)

#### 4.2 Detectors

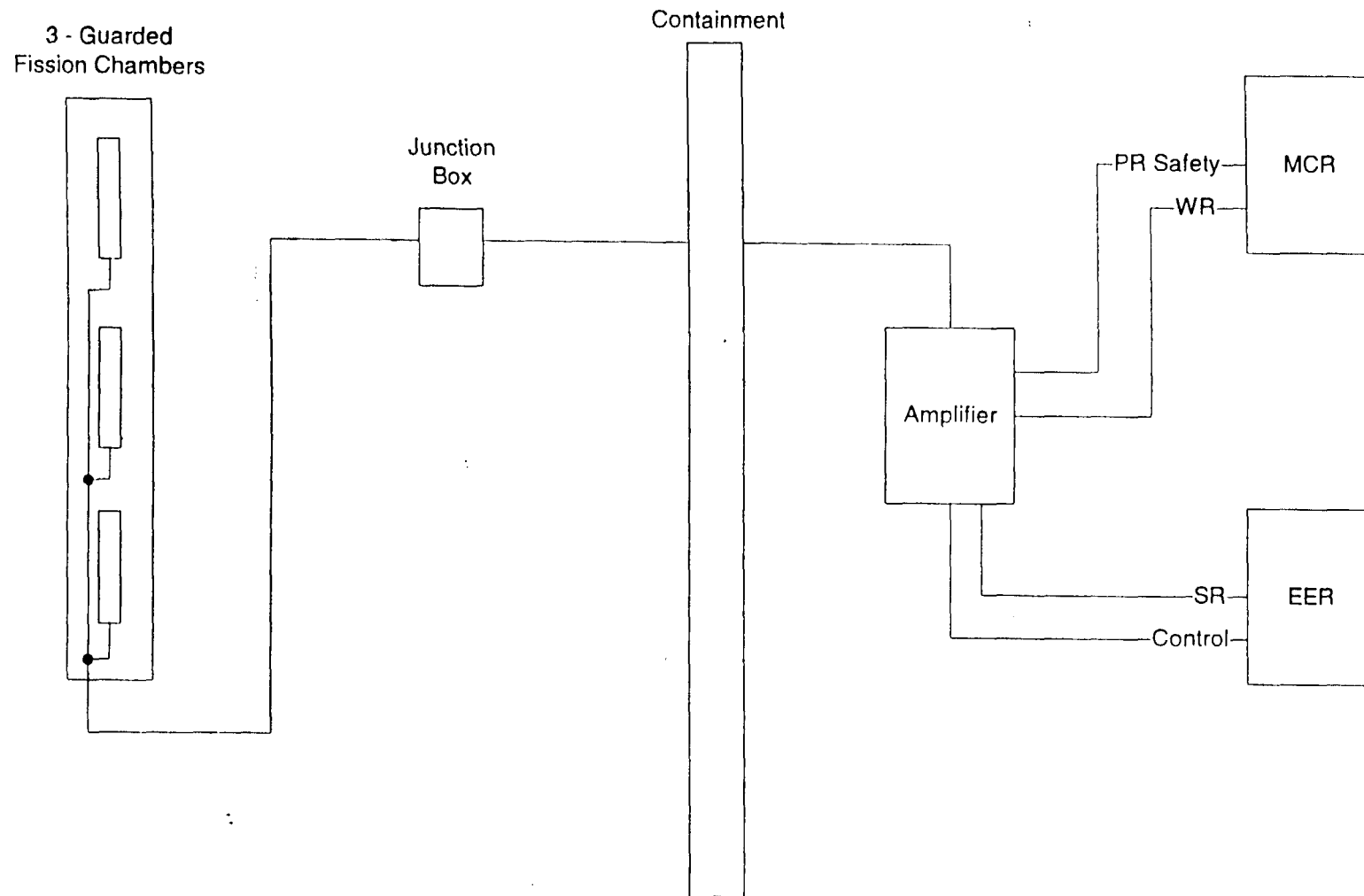
WR ENFMS requires only four detector assemblies since each detector assembly provides Source Range, Wide Range and Power Range information.

Each Detector Assembly in each channel will have three guarded fission chambers, vertically spaced in the Detector Assembly in order to facilitate linear measurement of nuclear power in the power range.

Each Detector Assembly has four coaxial cables that transmit the common high voltage for detector excitation and individual signals acquired from the three fission chambers. All three fission chambers will provide both source range and power range level signals, resulting in a very high sensitivity. Only the center fission chamber will provide the wide range signal under normal conditions.

The guarded fission chambers used in the Detector Assembly are designed to have 99% saturation when operated at a detector excitation voltage of 700 volts at a neutron flux of  $3 \times 10^{10}$ nv. Because the plateau for fission chambers is so broad, adjustments to excitation voltage are not

Figure 1 4 Identical Channels



required in contrast with BF<sub>3</sub> Proportional Counter. The guarded fission chambers used in the Detector Assembly normally operate at a detector excitation voltage of 870 volts, thereby providing an output signal which has 99.7% linearity due to high detector saturation. No adjustment is needed in excitation voltage once the unit has been calibrated and set in the factory.

Each fission chamber in the Detector Assembly will provide the signal for a power range, linear current measurement of the neutron flux to 200 percent reactor power.

Each section can also provide a signal for a Wide Range logarithmic measurement of the neutron flux up to 200% reactor power. Normally only the center fission chamber would be used for this wide range signal.

The startup range signal will be the sum of all three fission chambers. A pulse signal that is the sum of the pulse signals from three fission chambers is available on the high voltage coaxial cable. This signal is used to obtain the maximum sensitivity at low flux levels in the startup range.

#### 4.3 Cables

The cable assemblies from the Detector Assemblies to the WR Amplifier Assembly consist of three parts; Detector Cable(integral to the Detector), In-containment Cable, and Amplifier Cable. The cables will be of triaxial configuration, using a specially designed coaxial cable inside of a flexible metal hose as the second shield of the triaxial configuration. The Detector Cable utilizes a coaxial cable that is mineral insulated for 20'-30' to provide higher reliability in the high radiation area. This mineral insulated cable is factory-spliced to an organic cable outside the high radiation area. The Detector Cable is connected to the In-containment Cable at a Junction Box(Junction Clamping Assembly), where the coaxial signal cables are joined through type N connectors. This configuration is extremely modular and simplifies installation, maintenance, and component replacement, if necessary.

The organic cable for the In-Containment cable is a special coax

cable that was designed to solve many problems that have been associated with the use of organic cable in radiation area. It has a hard-line coax shield that helps keep any atmospheric contaminants (such as ozone) away from the cable dielectric. In addition, the coax is placed inside a sealed flexible metal hose that eliminates damage caused by beta radiation, further eliminating any hazards from atmospheric contaminants and providing structural support for the cable and increased protection from EMI/RFI noise.

The elimination of Electro Magnetic Interference(EMI) and Radio Frequency Interference(RFI) was a prime consideration in system design. The detector, cables, and amplifier were considered as a system in the design, including shields, grounds, and impedances. The cable provides noise attenuation of greater than 200db over the pass band of the signal. The WR Amplifiers have individually shielded, plug-in modules to eliminate noise pickup and cross-talk. Independence of circuit ground and shield ground is also maintained from the WR Amplifiers through the Signal Processors to allow the system to be installed in a noise free configuration. The High Voltage Power Supplies have been positioned inside the WR Amplifiers to improve the system's immunity to EMI/RFI.

#### 4.4 Junction Box (Junction Clamping Assembly)

The Detector Cable and In-containment Cable for each channel penetrate the Junction box through pressure tight fittings where they are connected together using Type N connectors. Each connector provides a solid coaxial connection isolated from the junction box.

#### 4.5 Wide Range(WR) Amplifiers

The signal conditioning and signal processing circuitry has been divided between the WR Amplifiers and the Signal Processors to require only shielded twisted pair wires to be used for transmitting signals between them. This avoids the use in the MCR of costlier/expensive coaxial, triaxial, or other specialty cables that are difficult to properly install, handle, and maintain. This also avoid its associated hazards in the PPS Signal Processors.

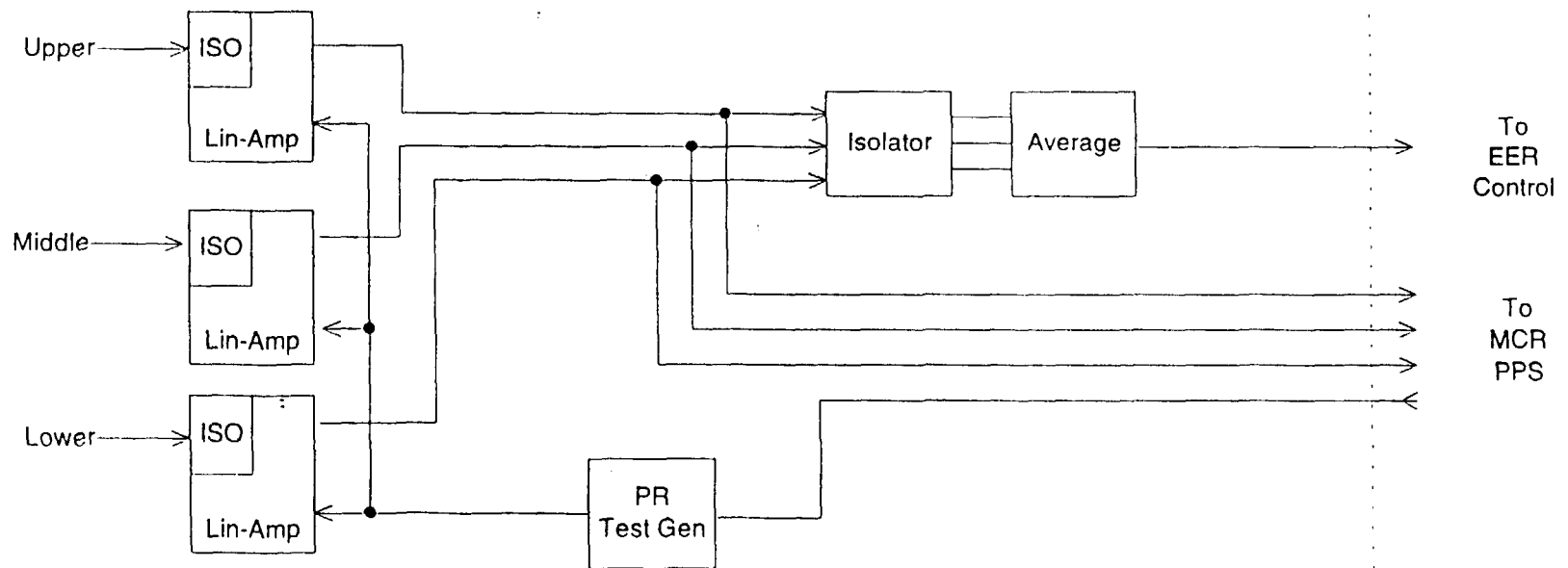
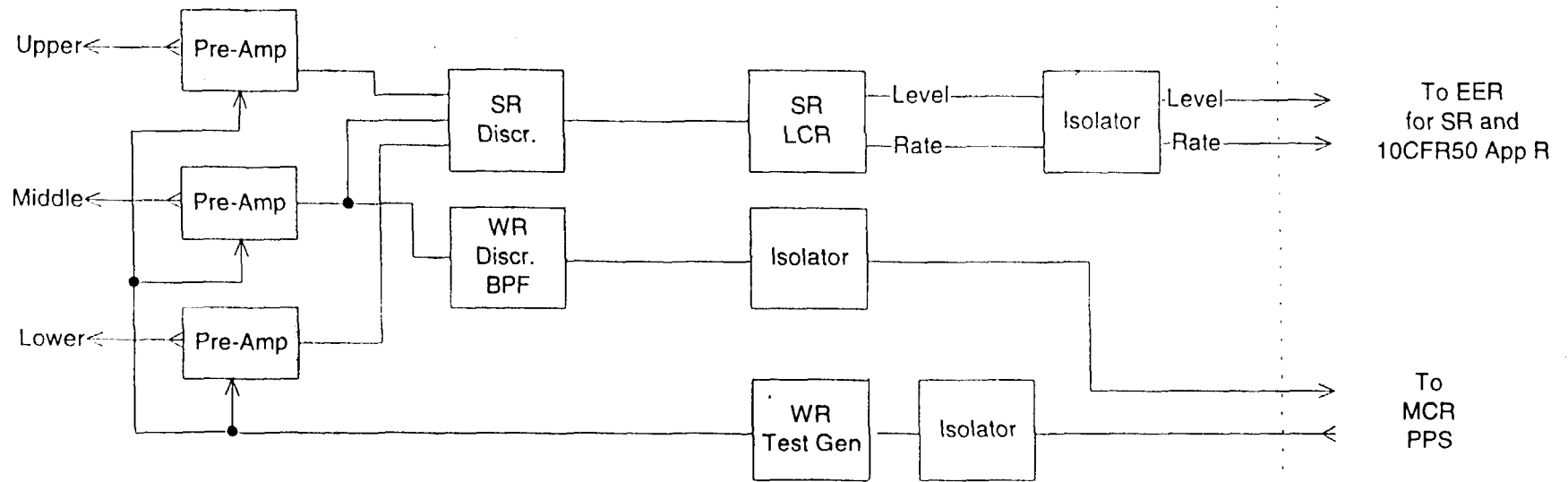
The proposed WR Amplifier in each channel is designed for operation outside of containment and is connected to the Signal Processor in PPSC via twisted shield pair(TSP) wire.

Mounted on the motherboard is the High Voltage D.C. filter. The Amplifier Assembly houses the power supplies and the electronics that condition the detector signal for transmission to the Signal Processor. The Printed Circuit Assemblies(PCAs) necessary to condition the Wide Range (source range and intermediate range) signals include the Preamplifiers, Source Range Discriminator, the Wide Range Discriminator and Band Pass Filter, the High Gain Bandpass Filter (for use in reactor physics testing), the source Range Log count Rate, the Wide Range Test Generator and appropriate isolators. The Source Range level and rate signals are sent via TSP to the Emergency Equipment Room for Source Range indication and to meet the requirements of 10CFR50 Appendix R and also to the Main Control Room via the Signal Selector.

The WR Amplifier Assembly also contains the necessary components to condition the Power Range signal. These components include three Linear Amplifiers (one for each guarded fission chamber in the associate Channel Detector Assembly), a PR Rest Generator, a Summing Card and appropriate isolators. Power Range signals are sent via TSP to the Electrical Equipment Room for control and the Main Control Room to the PPS Signal Processor for display.

The signal conditioning electronics in the WR Amplifier Assembly provide amplification, pulse shaping, discrimination against alpha, gamma and electronics noise, and other signal conditioning to provide the required output signals of Source Range, Wide Range and Power Range. Circuitry in the WR Amplifier provides continuous self-diagnostics of the integrity of the associated Detector Assembly, cables and power supplies. (See Figure 2)

Figure 2 Amplifier



## 4.6 Startup and Control Signals

The Startup and Control (average power range) signals are sent to the Electrical Equipment Room(EER) where all four channels enter a Signal Selection Panel. The purpose of the Signal Selection Panel is to allow the operator to select two signals from the four incoming signals available to provide the required outputs. The Signal Selection Panel is designed to mechanically prevent the same channel from being selected for both Startup/Control 1 and Startup/Control 2. This design ensures redundancy and, at the same time, increases the number of signals available to the operator, which maximizes the Startup and Control Channel integrity and reliability.

The output signals from the Signal Selector Panel are as follows:

### Startup:

- Counts per second for MCR display and the PMS
- Rate for MCR display
- Audible Count Rate for MCR and Containment
- Startup High Voltage Low for PAS
- Trouble Circuit Annunciator for PAS
- Output Test Signal

### Control:

- Power level for MCR display, the PMS and turbine load following operations
- Trouble Circuit Annunciator (same as for Startup function)
- Output Test Signal (same as for Startup function)

#### 4.7 Plant Protection System(PPS) Signal Processor

The signals from all three fission chambers are summed to provide greater sensitivity. The counting region covers the lower five-and-a-half decades of power level while the MSV technique covers the top four-and-a-half decades of power. Each signal is monitored well beyond the range in which it is used for an output signal, resulting in over two decades of overlap information. the WR Level signal is displayed as  $2 \times 10^{-8}$  to 200% of reactor power in a logarithmic scale. The output signals from the Signal Processors cover from 0 to 10.0V with  $2 \times 10^{-8}\%$  equating to 0 volts, 200% to 10.0 volts, yielding 1 volt/decade. The rate of change of the WR Level signal is continuously monitored and displayed as the rate, from -1 to +7 DPM. A 0 to 10 volt signal is available at a rear panel connector corresponding to -1 to +7 DPM.

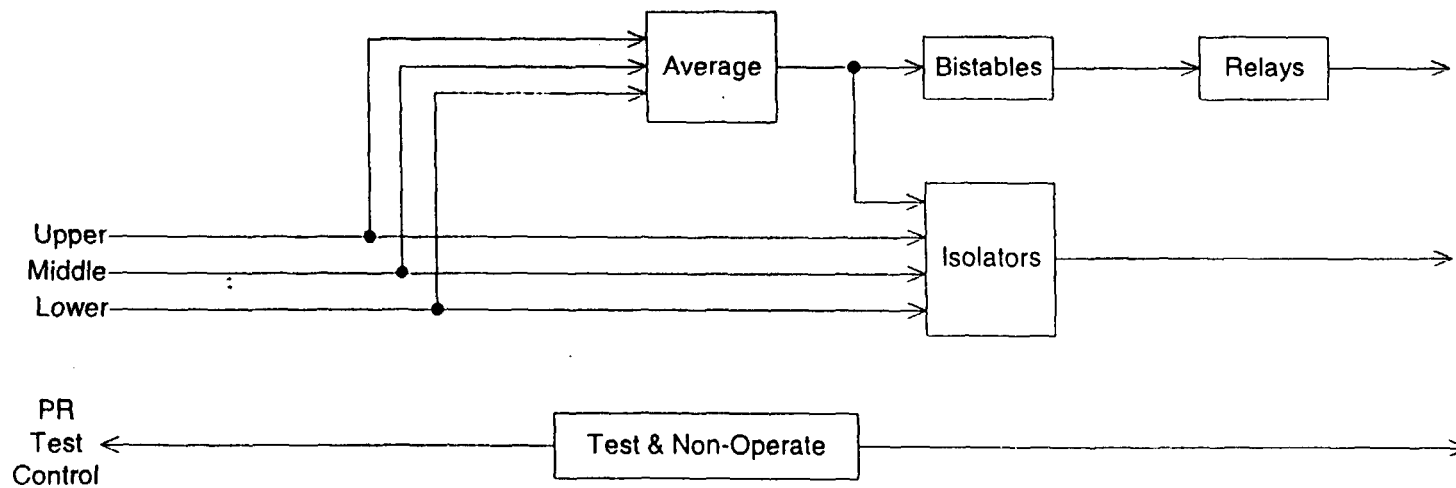
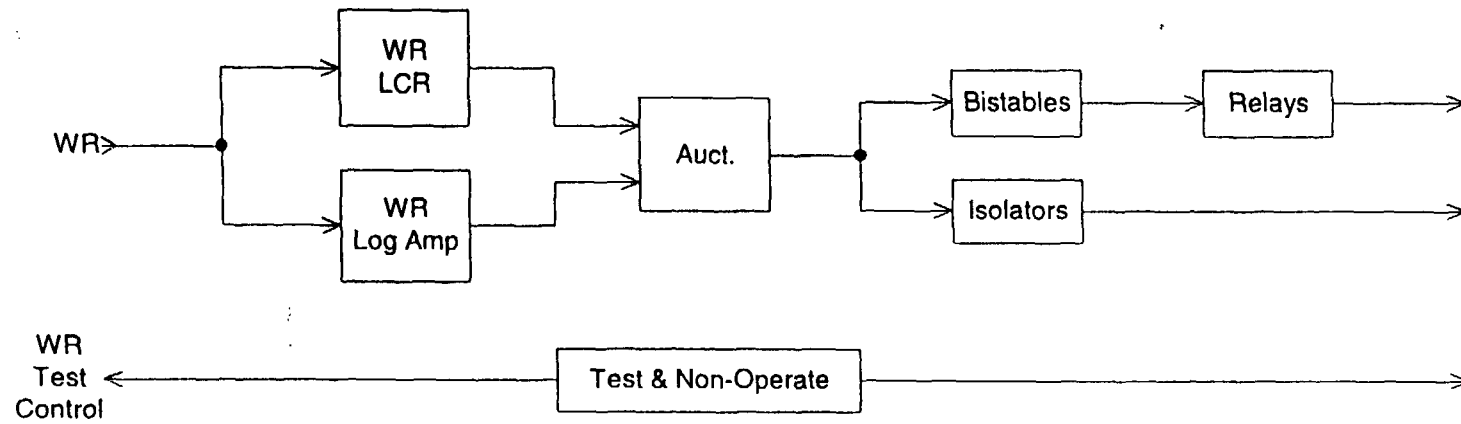
The PPS Signal Processors also receive the upper, middle and lower linear current signals from the WR Amplifiers. The percent power meter displays the computed average of the three signals over the range from 0 to 125% power. High precision components are used throughout the power range circuitry to eliminate the need for adjustments except for the upper, middle and lower power gain controls on the front panel. The gains are adjusted via locking, multi-turn potentiometers conveniently located for easy access on the front panel. This design precludes reliability problems with additional potentiometers and avoids possible mis-alignment of PR gain. (See Figure 3)

The following Safety function outputs are available:

- Logarithmic power
- Rate
- Linear power
- Scaler
- Trouble bistable

- Rate bistable
- Log bistable
- Linear bistable
- Output Test Signal

Figure 3 PPS Signal Processor



## 5.0 Evaluation Between Wide Range and KSNP ENFMS

### 5.1 General

The intent of this section is to briefly discuss the standard ENFMS currently used in KSNP so that it can be compared to WR ENFMS described in this report.

### 5.2 KSNP ENFMS

A total of eight channels of instrumentation are used in KSNP's current system. The neutron detectors are located in instrument wells external to the reactor vessel. Eight instrument wells are required (one per channel).

Two Startup Channels provide source level neutron flux information from 1 to 2000 cps. Each Startup Channel consists of a dual section proportional counter assembly with each section containing multiple, short lived  $\text{BF}_3$  proportional counters, one preamplifier located inside containment, and a signal processor containing high voltage power supplies.

Two Control Channels provide power range neutron flux information from 1 to 125% of full power. Each Control Channel consists of a dual section Uncompensated Ionization Chamber (UIC) and a signal processor containing high voltage power supplies. Each Control Channel shares the same signal processor with one Startup Channel.

Four Safety Channels provide Wide Range neutron flux information from  $2 \times 10^{-8}\%$  to 200% of full power. Two of the Safety Channels are qualified for post accident operation to satisfy RG 1.97. Each Safety Channel consists of a three section fission chamber detector, a preamplifier/filter assembly used to distribute the high voltage to the three fission chambers and a signal processor. The three fission chambers in each detector are lined up vertically to measure the axial power distribution. The preamplifiers for the two channels qualified for post accident are located outside containment. However, the other two preamplifiers are located inside containment. Each fission chamber is operated in the current mode and feeds a linear amplifier to provide power range neutron flux

information from 0 to 200% power. The center fission chamber is additionally used in the log mode to provide wide range neutron flux information from  $2 \times 10^{-8}$  to 200% of full power. Both indications are provided on the same signal processor.

### 5.3 Detector Comparisons

#### 5.3.1 Startup Detector Comparisons

The KSNP design uses  $\text{BF}_3$  proportional counters as Source Range detectors. WR ENFMS detectors use fission chambers which have a much longer expected life than  $\text{BF}_3$  or  $\text{B}_{10}$  proportional counters. Industry experience indicates the need to replace  $\text{BF}_3$  and  $\text{B}_{10}$  Source Range detectors every two to five years in many nuclear power plants. WR ENFMS detectors have a qualified life of 40 years. Very few failure of its detectors with mineral insulated cable have been seen to date.

Assuming a five year life span, each  $\text{BF}_3$  Startup channel would require seven detector replacements over a 40 year period. The material, labor and associated radiation exposure required to remove, install, and calibrate a detector are quite expensive. The most serious effect is that detector replacements are unplanned, they tax available manpower and, invariably, they end up on the critical path where they have the potential to delay the entire outage.

All neutron flux detectors are also sensitive to gamma flux. The degree to which the gamma sensitivity can be suppressed before it interferes with the neutron sensitivity varies by detector type. In a  $\text{B}_{10}$  or  $\text{BF}_3$  proportional counter like the KSNP Startup channel, neutron sensitivity can be completely overcome by a gamma flux level between 200-1000 R/hr.

In a fission chamber based system such as WR ENFMS, there is less than a 1% instrument error for gamma flux levels as high as  $10^6$  R/hr at a neutron flux level as low as  $10^6$  nv.

In the KSNP instrumentation, the Source Range discriminator is set to provide rejection of electrical interference/noise due to power plant

equipment and the signal due to gamma radiation incident to the detector assembly, up to  $10^5$  R/hr. See Table 1.

Table 1 Startup Channel Detector Comparisons

| COMPARISON                                          | WR ENFMS               | KSNP                      |
|-----------------------------------------------------|------------------------|---------------------------|
| Total Number                                        | 4                      | 2                         |
| Sensor Type                                         | Fission Chamber        | BF <sub>3</sub>           |
| Frequency of Replacement                            | 40 Year Qualified Life | Approx. Every 2 - 5 Years |
| Maximum Gamma Flux                                  | > 100,000 R/Hr         | 200 R/Hr                  |
| Always Have Indication of Source Range Operability? | Yes                    | No                        |
| Range                                               | 0.1 to $10^5$ CPS      | 1 to 2000 CPS             |

### 5.3.2 Control/Safety Detector Comparisons

WR ENFMS uses Guarded Fission Chambers as the sensors for Power Range detectors while the KSNP Control Channels uses UICs. Fission chambers exhibit a much longer useful operating life compared to UICs. In theory, fission chambers should have a lifetime of  $2 \times 10^{20}$  NVT for a 10% decrease in sensitivity. In actual practice, these fission chambers experience a typical lifetime of greater than  $6 \times 10^{19}$  NVT. The failure mechanisms are similar to those of B<sub>10</sub> lined UICs, except that the neutron capture cross-section for B<sub>10</sub> is approximately seven times greater than the fission cross section for uranium. Therefore, failure mechanisms associated with burnup will occur faster in UICs than in fission chambers.

Fission chambers, when utilized as Power Range detectors, have a small but measurable inherent alpha current, due to the decay of the Uranium coating. After the first fuel cycle of exposure on the fission chamber, the current from the detector also includes the effects of radioactivity decay from the fission products produced within the fission chamber. This represents an error of less than 0.2% of full scale current.

UICs have several advantages and disadvantages, when utilized as Power Range detectors for nuclear power plants. The major advantage is in the low leakage current from the chamber. The UIC has a useful range over at least four decades of current measurement. These chambers have the ability to measure neutron currents down to  $1 \times 10^{-10}$  - Amperes, except for the error introduced by gamma ionization of the gas.

In theory,  $B_{10}$  lined chambers should have a lifetime of  $2 \times 10^{19}$  NVT for a 10% decrease in sensitivity. However, in actual installations, these UICs experience a typical lifetime of approximately  $3 \times 10^{18}$  NVT. The failure mechanisms include not only the burn-up of the  $B_{10}$  sensitive coating, but also the degradation of insulation resistance of internal insulators and connectors, increased leakage current, and reduced sensitivity or poisoning of the fill gas internal to the chamber.

In short, use of UICs will result in a shorter lifetime and greater loss of sensitivity than will result from the use of Guarded Fission Chambers. See Table 2.

Table 2 Power Range Detector Comparisons

| COMPARISON                                                | WR ENFMS                                                         | KSNP                                                             |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Total Number                                              | 4                                                                | 6                                                                |
| Sensor Type (s)                                           | Fission Chamber                                                  | Control Channels:UIC<br>Safety Channels:<br>Fission Chamber      |
| Lifetime for 10%<br>Decrease in Sensitivity               | Theory: $2 \times 10^{20}$ NVT<br>Actual: $6 \times 10^{19}$ NVT | Theory: $2 \times 10^{19}$ NVT<br>Actual: $3 \times 10^{18}$ NVT |
| Axial Flux                                                | 3 Sections                                                       | 3 sections                                                       |
| Percentage of Signal<br>Generated from<br>Gamma Reactions | < 3%                                                             | 10% (for UICs)                                                   |

## 5.4 Cables and Amplifiers

### 5.4.1 Amplifiers

WR ENFMS approach uses only four WR Amplifiers whereas the KSNP has two different type of amplifiers and a total of six amplifiers (two Startup/Control and four Safety). The reduced number of components will reduce the initial capital expenditure and required spare parts inventory. Fewer parts also improves the overall reliability of the system.

The WR ENFMS design avoids another common problem-the failure of the in-containment preamplifiers due to the harsh environment. Some plants have experienced frequent failures of their Source Range preamplifiers. The KSNP design has four preamplifiers (both Startup Channel and two of the four Safety Channels) inside containment while WR ENFMS approach has all of its amplifiers outside of containment.

The WR ENFMS approach eliminates failures due to harsh environment, facilitates maintenance when necessary, and significantly reduces radiation exposure to maintenance personnel.

Thus WR ENFMS WR Amplifiers can be placed outside of containment where others cannot because of their resulting signal loss. This location outside of containment permits the WR Amplifiers to be serviced with the reactors with more flexibility in scheduling maintenance and ease of maintenance.

Another enhancement of the WR ENFMS system is the separation of the WR Amplifier Assemblies from the PPS Signal Processors. This design feature eliminates coaxial and triaxial cables from the Main Control Room (MCR), traditionally a source of maintenance problems and noise. The design also removes the high voltage and compensating voltage power supplies from the MCR, eliminating a potential major source of heat from the electronics. Signals to the MCR are transmitted over conventional, twisted shielded pair cable.

### 5.4.2 Cables

All WR ENFMS in-containment cables are qualified for use in post accident monitoring and eliminate problems of electrical noise pickup for improved sensitivity. The detector and cable designs allow the channels to operate without interference from electromagnetic fields provided appropriate installation precautions are taken relative to proximity to other cables.

The design allows the Detector Assembly to be located up to 1000 feet(300m) from the WR Amplifier without any reduction in performance ratings.

WR ENFMS design is very careful to match the impedance of its special cables with the detectors and WR Amplifiers. This helps to provide protection against erroneous indications of power level or startup rate due to detector locations; i.e., difference in temperature and moisture which change cable resistance. It also minimizes the degradation of the signal and protects it from severe EMI interference.

### 5.5 EMI/RFI Concerns

Counting and Campbelling, both A.C. phenomena, are exploited in the WR ENFMS to avoid the D.C. signal changes caused by the effects on cables (e.g., decreased insulation resistance) of high temperature and gamma flux. There is uncertainty in accounting for these changes in D.C. signals, especially at low levels of neutron flux. Problems experienced with the KSNP during commissioning of Yonggwang Unit 3 led to the addition of Common Mode Filter on the signal line. WR ENFMS design includes such features as the following to ensure greater immunity to EMI/RFI:

- The cables provide proper impedance matching between the fission chambers and the WR Amplifiers thus minimizing the degradation of the signal and protecting it from severe, EMI.
- The WR Amplifiers and PPS Signal Processors have noise filters on the AC line input. They require a good power ground and they have

a terminal for this purpose.

- Signal grounds (or commons) are isolated from plant ground to avoid creating ground loops which can allow noise currents to flow in the signal common wiring.
- The shield associated with each twisted, shielded pair interconnecting the WR Amplifier and PPS signal Processor is designed to connect to a common point on each assembly.

## 5.6 Flexibility and Reliability Comparisons

The KSNP ENFMS uses  $\text{BF}_3$  proportional counters for its Startup Channel, UICs for its Control Channels and Fissions Chambers for its Safety Channels. This equates to three different detector types with three different sensors. WR ENFMS uses one detector type and one sensor type. The KSNP system has eight detector assemblies while WR ENFMS uses only four.

Another important point to be made is that WR ENFMS are factory aligned before they are shipped. This factory alignment is reproducible in the field as a single point alignment when it is necessary to do alignments. KSNP equipment requires frequent alignments to establish the curve which matches indicated power to actual power.

### 5.6.1 Four WR Channels

KSNP approach only provides two Startup Channels with a range of 1 to 2000 CPS while WR ENFMS provides four channels covering a larger range of 0.1 to  $10^5$  CPS. The User has the flexibility to select any two of the four channels available for Source Range indication.

KSNP requires two Safety Channels qualified for post accident whereas all four of WR ENFMS channels are qualified. Thus the WR ENFMS provides greater coverage and better sensitivity in a system that is already qualified for post accident use.

WR ENFMS has the flexibility to use any two of the four Control Channel isolated outputs for Control Channel signals, if desired to control reactor power from the sum/average of the three guarded fission chambers. A change in reactor power would be detected by any of the three fission chambers. Even in the worst case scenario of having an entire detector assembly fail, there would still be three channels providing Startup (Source Range), and Safety (Wide Range) and Control (Power Range) information.

WR ENFMS detector also provides the following advantages:

- Greatly reduced initial capital expenditure and installation costs (only four detectors and associated cables and penetrations rather than 8)
- Reduced spare parts inventory - one detector, amplifier and Signal Processor type rather than 3 detector types, 3 amplifier types and 3 Signal Processor types

The combined detector approach offers a Detector Assembly that will provide adequate source range sensitivity. The reduced number of different types of components lends itself toward a higher reliability.

In the unlikely event one of the three fission chambers failed in one of the Detector Assemblies, the source range sensitivity would be slightly reduced because only two of the fission chambers would be summed to provide the source range information. Assuming the one fission chamber that failed was the one providing the WR signal, the coaxial signal cables going into the WR Amplifier could be switched so that an operational fission chamber could still provide the wide range signal. With a failed fission chamber, full axial power distribution of the core could not be measured with that detector, which is also true for the KSNP Control Channel detectors if one of its UICs failed.

WR ENFMS equipment has been designed for high reliability and maintainability . WR ENFMS design approach ensures the use of highly reliable components and conservative designs, and it reduces circuit complexity as much as practical. In addition, it is designed with components which are a conscious design effort to avoid part obsolescence, extending the maintainable life of the system. Because this approach also

simplifies and reduces calibration and maintenance requirements, it also reduces equipment failures that can be introduced through maintenance.

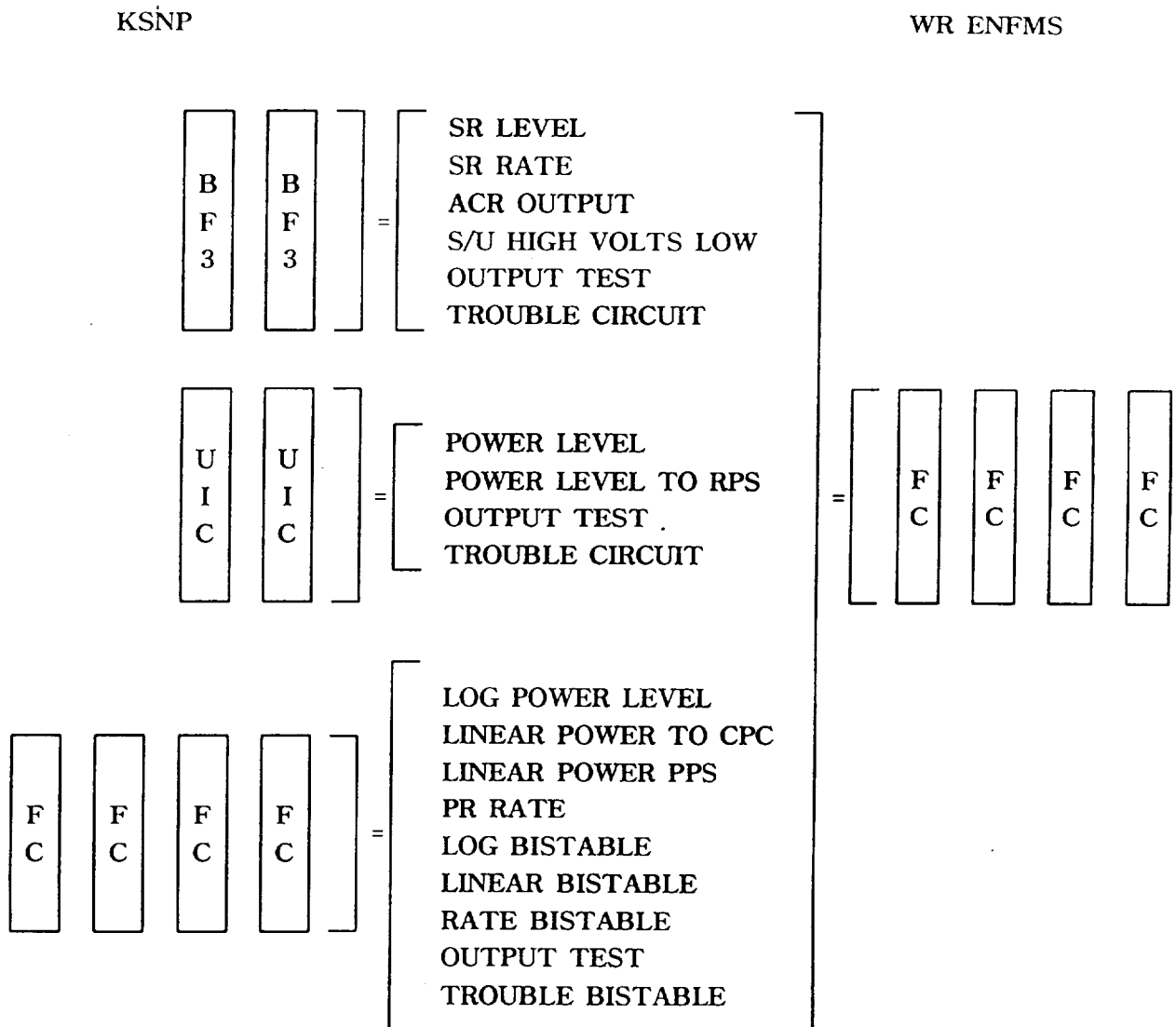
## 5.7 Summary of Differences

Table 3 below summarizes a number of major differences between WR ENFMS and KSNP. (See Figure 4)

Table 3 Summary of differences

| COMPARISON                                                | WR ENFMS                     | KSNP                            |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Number of Amplifiers                                      | 4                            | 6                               |
| Number of Amplifiers in Containment                       | 0                            | 4                               |
| Coaxial Cables or High Voltage in Control Room?           | No                           | Yes                             |
| Sensor Types                                              | 1(Fission Chamber)           | 3(BF <sub>3</sub> s, UICs, FCs) |
| Number of Detector Assys                                  | 4                            | 8                               |
| Number and Range of source Range Channels                 | 4(.1 to 10 <sup>5</sup> CPS) | 2(1 to 2000 CPS)                |
| Number of Channels Qualified for Post-Accident Monitoring | 4                            | 2                               |
| Number of Wide Range Channels                             | 4                            | 4                               |
| Number of Power Range Channels                            | 4                            | 4                               |
| Axial Flux Monitoring                                     | 3 Sections                   | 3 Sections                      |

Figure 4 Summary of Differences



## 6.0 Conclusions

In this report, WR ENFMS was scrutinized in accordance with the system requirements of KSNP. It is found that WR ENFMS can be applied for KSNP without changes on mechanical and electrical design requirements of ENFMS for ICD(Initial Core Design) resulting in no affect on safety analysis. Also, interface requirements with other I&C systems can be preserved as KSNP.

But during this stage, the accurate configuration of EER and MCR cabinets, based only on the functional requirements, could not be decided. This should be determined during the detail design stage.

By adopting WR ENFMS, the following benefits are anticipated:

(a) Detector lives for Startup and Control Channel are greatly improved enabling reduced material, labor and associated radiation exposure required to remove, install, and calibrate a detector.

(b) Greatly reduced initial capital expenditure and installation costs using only four detectors and associated cables and penetrations.

(c) Using only four WR Channel Amplifiers, initial capital expenditure and required spare parts inventory can be reduced. This improves the overall reliability.

(d) The Flexibility and Reliability of the system is much higher by using only one detector type and one sensor type. It also provides four qualified channels for post accident..

(e) Far greater protection from degradation of the signal caused by severe EMI/RFI.

## **부록 2   광대역측정을 위한 개선된 알고리즘을 이용한 신호처리방법에 관한 연구**

광대역측정을 위한 개선된 알고리즘을 이용한 신호처리

WIDE-RANGE MEASUREMENT SIGNAL PROCESSING

USING IMPROVED ALGORITHM

## 요 약 문

노외핵계측계통은 영역별로 선원영역, 중간영역 및 출력영역으로 구분되며 비례계수기, 핵분열합 및 전리합을 사용하여 출력을 측정한다. 수명이 긴 핵분열합으로 전 영역을 측정하는 광대역측정에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으며 실제 기존 발전소에서도 이러한 형태의 측정방식을 채택, 운영하고 있다. 핵분열합으로 전영역의 출력을 측정하려면 기존 핵분열합에 의한 측정영역을 저출력으로 확장시켜야 한다. 측정영역이 저출력으로 확장시 고출력에 비해 상대적으로 잡음의 영향을 많이 받게 되며, 이러한 잡음을 중성자속에 의한 신호로부터 차별화시키는 것은 정확한 신호 측정을 위해서 중요하다. 현재 노외핵계측계통에서는 중성자속의 분포를 개별적으로 계수할 수 없는 경우 MSV(mean square voltage) 방식으로 신호를 처리하여 출력을 측정하고 있다.

본 연구에서는 핵분열합으로 광대역측정시 저출력에서 배경잡음의 영향을 줄이기 위해 3차 모멘트방식을 도입하여 MSV방식을 개선하고자 하였다. 컴퓨터 모의실험을 통하여 잡음의 영향에 대한 출력을 비교하였으며 그 결과 MSV방식에 비해 3차 모멘트방식이 배경잡음의 영향을 적게 받음을 확인하였다.

## ABSTRACT

ENFMS(ex-core neutron flux monitoring system) is divided to source range, intermediate range and power range in accordance with its range and the output signal measurements of that are carried out with  $\text{BF}_3$  counter, fission chamber and ion chamber. There have been lots of study to adopt the wide-range measurement method which use only fission chamber through the whole reactor power. To do that it needs extending the power measurement range which is covered by fission chamber to lower power range. In lower power range the effect of noise in signal is greater relatively than that of high power range. The existing signal processing method to measurement plant power range in ENFMS in which the individual neutron flux pulse can be countered as the reactor power increased is MSV(mean square voltage) measurement.

In this paper the extended method from MSV(2nd moment) mode to 3rd moment to improve the discrimination between neutron signal and background noise was studied. The simulation was shown that accuracy of power measurement in ENFMS using the method mention above would be improved.

## 목 차

|                     |    |
|---------------------|----|
| 제 1 장 서 론           | 5  |
| 제 2 장 본 론           | 7  |
| 제 1 절 핵분열함에서 신호의 발생 | 7  |
| 제 2 절 신호처리          | 9  |
| 제 3 절 모의실험          | 15 |
| 제 4 절 실험결과 및 고찰     | 20 |
| 제 3 장 결 론           | 24 |
| 제 4 장 향후 진행방향       | 25 |
| 참고문헌                | 26 |

## 그 림 목 차

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 그림 1. UCN 3,4 호기 노외중성자속검출기의 위치      | 8  |
| 그림 2. 핵분열함의 동작원리에 대한 개략도            | 9  |
| 그림 3. 광대역측정용 영역별 측정범위               | 10 |
| 그림 4. Compbell의 정리                  | 12 |
| 그림 5. Compbell System의 블록선도         | 13 |
| 그림 6. 전치증폭기 회로와 근사적인 출력전압값          | 16 |
| 그림 7. 실험에 사용된 각 입력신호                | 17 |
| 그림 8. 평균치, MSV방식 및 3차모멘트방식에 의한 결과비교 | 19 |
| 그림 9. MSV방식에 의한 결과                  | 23 |
| 그림 10. 3차 모멘트방식에 의한 결과              | 23 |

## 표 목 차

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 표 1. 잡음변화에 따른 MSV방식에 의한 계산결과   | 20 |
| 표 2. 잡음변화에 따른 3차모멘트방식에 의한 계산결과 | 21 |

## 제 1 장 서 론

원자력발전소의 노외핵계측기(ex-core nuclear detector)는 일반적으로 3개의 영역, 즉, 선원영역(source range), 중간영역(intermediate range) 및 출력영역(power range)으로 구분하여 원자로 출력을 측정하며, 각 영역에는 비례계수기(BF<sub>3</sub> counter), 핵분열함(fission chamber) 및 전리함(ion chamber)이 사용되고 있다. 비례계수기 및 전리함에 비해 상대적으로 수명이 긴 (발전소의 평균 수명인 40년) 핵분열함을 이용하여 광대역으로 노외핵계측을 실현하려는 연구가 진행되어 왔으며<sup>[1,2,3]</sup>, 근래 Maine Yankee(미국) 등의 발전소에서는 이미 핵분열함으로 광대역측정(wide-range measurement)을 진행시켜 왔다. 그러므로 수명이 짧은 비례계수기 및 전리함의 잦은 교체로 인한 작업자의 방사선 피폭에의 노출, 안정성 저해 및 경제적 손실을 감안하면 핵분열함만으로 노외핵계측계통(ex-core neutron flux monitoring system : ENFMS))을 구성하는 것이 이상적이라 하겠다.<sup>[4]</sup>

핵분열함만으로 광대역을 구현하기 위해서는 측정범위를 증가시켜야 하고 기존 핵분열함의 측정범위를 저출력으로 확대시켜야 한다. 저출력에서 정확한 중성자속에 의한 신호를 검출해 내기 위해서는 고출력에 비해 상대적으로 잡음의 영향을 고려하여야 한다. 중성자속 측정에 있어 신뢰성을 떨어뜨리는 잡음으로 작용하는 요인으로는 전자파에 의한 잡음(electro-magnetic interference : EMI), 전자회로에 의한 잡음<sup>[7]</sup> 및 핵분열함에서 중성자와 함께 발생하는 감마선등을 꼽을 수 있다. EMI와 전자회로등에서 발생하는 잡음은 접지방법 및 회로구성방법의 개선으로 억제할 수 있으며 감마선에 의해 발생하는 신호는 중성자에 의한 신호에서 감마선에 의한 잡음을 차별화 하는 신호처리방식의 개선으로 원하는 신호를 보다 정확히 검출해 낼 수 있다.

현재 신호처리방식으로 중간영역에서는 LCR(Log Count Rate) 및 MSV(Mean Square Voltage)방식을 이용하고 있다. 기동영역에서 중성자속이 비교적 적은 영역에서는 LCR을 사용하고 중성자신호가 증가해서 LCR방식을 더

이상 사용할 수 없을 때 MSV로 전환하여 신호를 처리하게 된다. MSV 방식은 광대역측정시 저출력으로 측정범위를 확장하게되므로 잡음의 영향을 많이 받게 되어 보다 뛰어난 잡음분별력을 가진 개선된 신호처리방식이 요구된다.

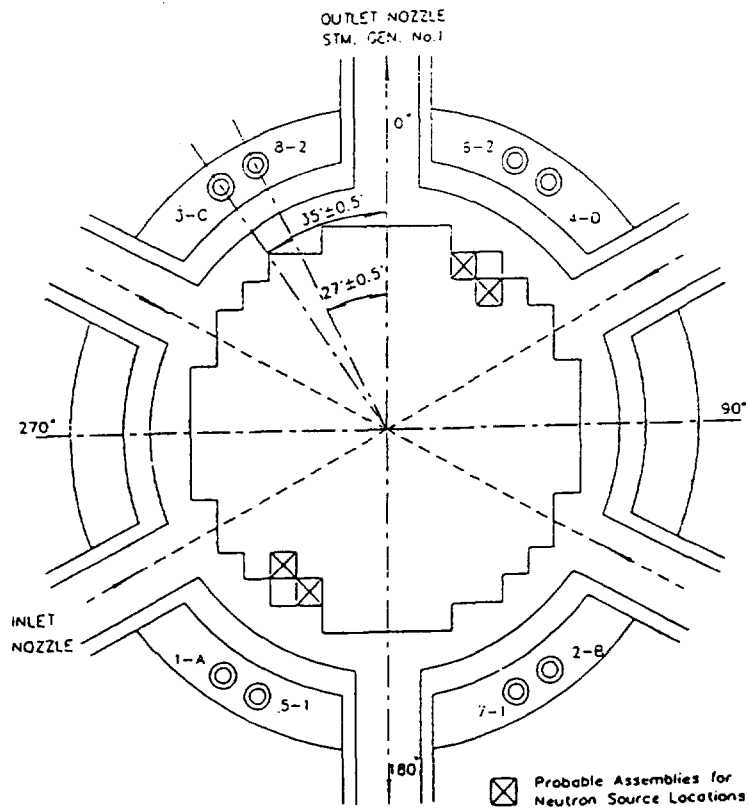
본 연구에서는 3차 모멘트방식을 도입하여 중성자신호로부터 감마선에 의한 신호를 분별해냄으로써 중성자신호에 충실한 신호처리를 수행하도록 하였다. 개선된 신호처리방식의 도입에 대한 검증은 노외핵계측계통에서 원신호취득의 어려움등으로 컴퓨터를 이용한 모의실험으로 3차 모멘트방식의 타당성을 살펴보았다. 모의 실험에 앞서 핵분열합에서 중성자신호의 발생과 신호의 특성, 잡음신호의 발생등을 살펴보고, 이를 바탕으로 모의실험의 준비 및 전개과정을 살펴보았다. 실험의 결과와 고찰을 한 다음 향후 나아갈 방향등을 모색하였다.

## 제 2 장 본 론

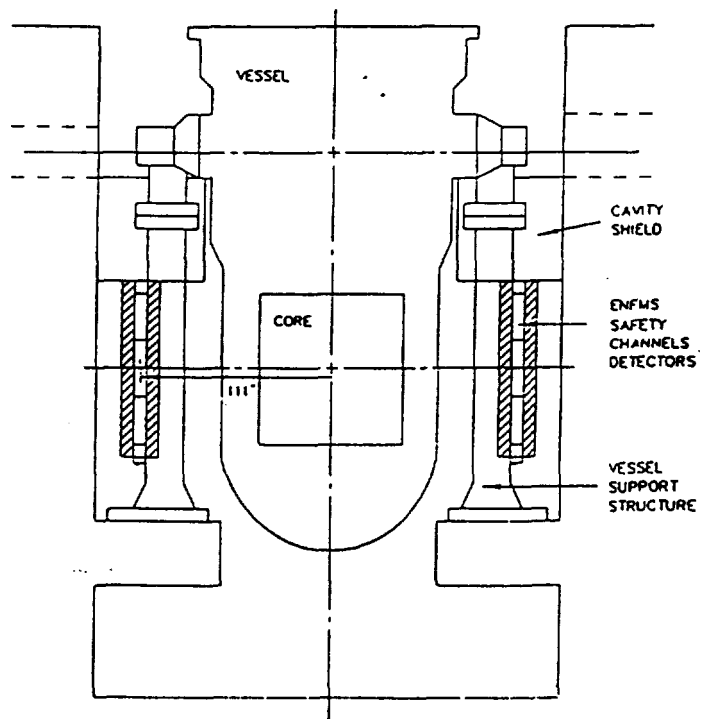
노외핵계측계통은 원자로에서 누설되는 중성자속을 감시하여 원자로출력을 측정하는 계통이며 원자로 바깥에 검출기를 설치하여 누설중성자속을 측정한다.<sup>[5]</sup> 울진 3, 4 호기의 노외핵계측계통의 위치를 그림 1에 나타내었다. 이 계통은 원자로 외벽에 일정한 각도를 유지하며 설치되어 있는 검출기(neutron detector), 핵분열함에서 발생하는 에너지에 의한 전압신호를 처리하는 신호처리함(signal processing drawer) 그리고 이 신호를 기록하는 기록계(recorder)와 표시창(display)등으로 크게 나누어진다.

### 제 1 절 핵분열함에서 신호의 발생

핵분열함은 전리함과 유사하지만 전류펄스의 크기가 전리함에 비해 매우 크기 때문에 펄스를 계수하는데 유용하다. 함 내부벽면은 U-235으로 피복되어 있고 내부공간은 각각 10, 90%의 질소( $N_2$ )와 아르곤가스(Ar)로 구성된 혼합기체로 채워져 있다. 원자로에서 발생한 중성자속이 감속재에 의해 열중성자로 변한 후, 핵분열함 내의 U-235에 흡수되어 에너지를 방출하고, 다시 중성자와 핵분열파편을 생성한다. 이때 발생하는 에너지가 함내부의 가스를 이온화시켜 전자와 양이온으로 전리시킨다. 발생된 이온과 전자는 각각 음극과 양극으로 이동하며, 전하형태로 전치증폭기(pre-amplifier)에 입력된다. 전치증폭기로 입력되는 펄스신호는 콘덴서에서 충, 방전하여 전압펄스로 만들어지며 신호처리에 필요한 신호를 형성하게 된다. 발생신호의 크기는 함내의 전기장의 분포, 이온쌍이 발생하는 위치, 전하량, 증폭기의 입력저항 및 핵분열함과 연결도선의 전체 정전용량등에 크게 영향을 받게 된다. 개략적인 핵분열함의 동작원리를 그림 2에 나타내었다.<sup>[1,3]</sup>



(a) Angular Arrangement



(b) Vertical Arrangement

그림 1. 울진 3,4 호기 노외중성자속검출기의 위치

## 제 2 절 신호 처리

### 1. 신호의 전달

전치증폭기를 거친 중성자에 의한 신호는 필터(band pass filter)를 통하여 저주파와 고주파신호를 제거하여 최대한 오류신호를 억제한 후, 원하는 신호 형태(0 - 10 V)로 출력하게 된다. 기존의 노외핵계측계통은 선원영역에서는 비례계수기를 사용하였고, 중간영역에서는 핵분열함을 이용하여 LCR방식( $10^{-7}$  - 0.2 % FP)과 MSV방식(0.2 - 200 % FP)을 통해 신호 처리한 다음 출력을 측정하였다. 광대역측정에서는 선원영역은 비례계수기를, 중간영역과 출력영역은 핵분열함을 또는 모든 영역에서 핵분열함을 사용한다. 이때 LCR방식의 측정영역은  $10^{-8}$  - 0.01 FP, MSV방식의 측정영역은  $10^{-3}$  - 200 % FP가 된다. 참고로 Gamma-Metronics (GM)사의 광대역 노외핵계측계통에 대한 측정범위를 그림 3에 나타내었다.<sup>[6]</sup>

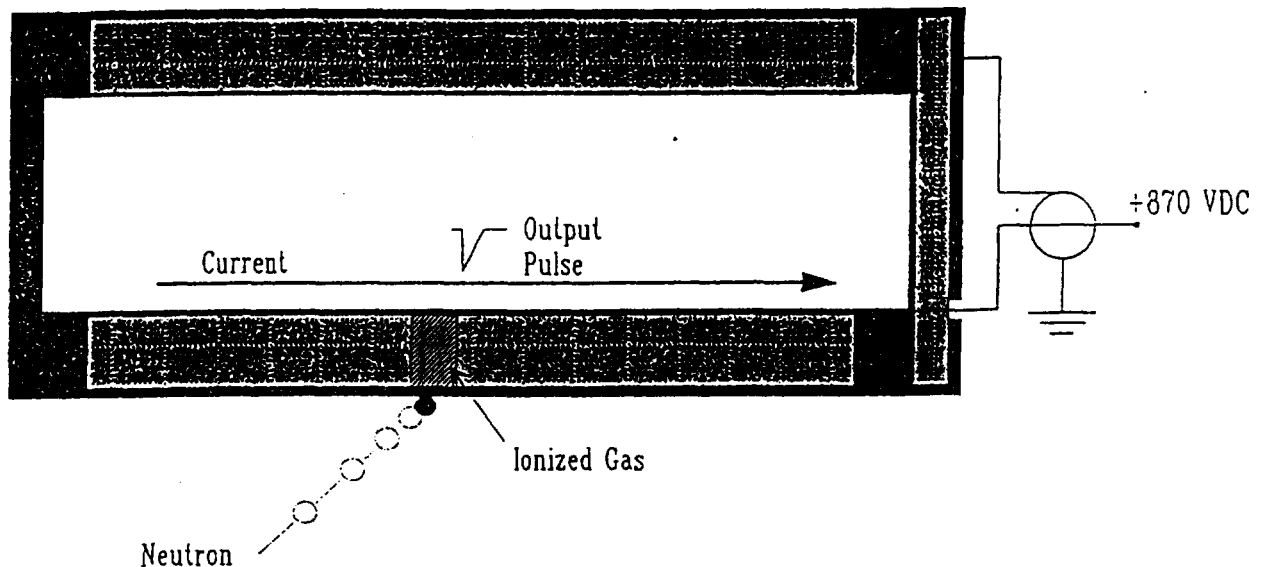
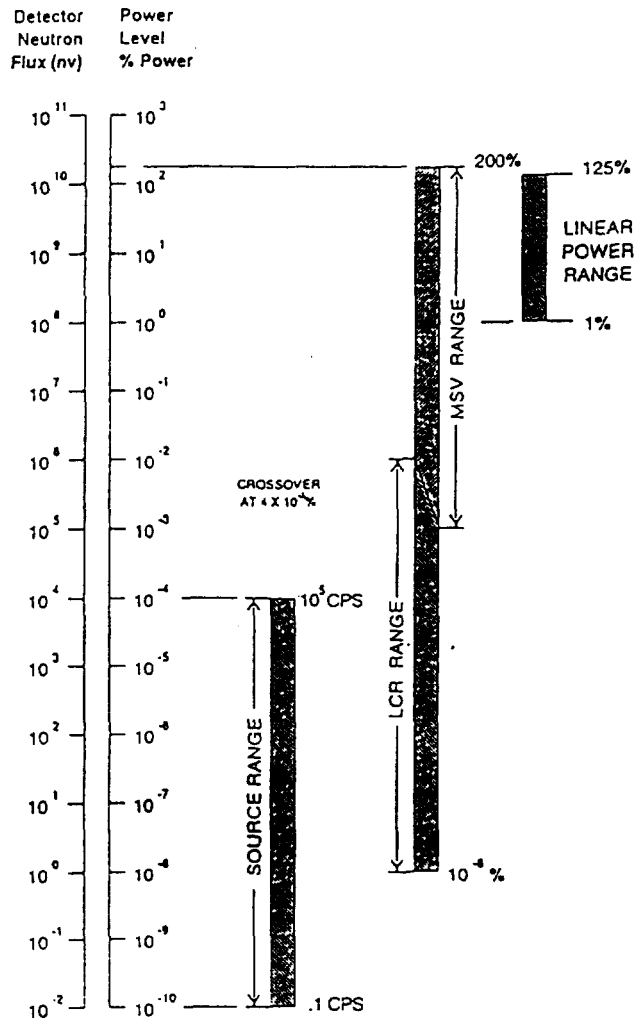


그림 2. 핵분열함 동작원리에 대한 개략도

GAMMA-METRICS NUCLEAR INSTRUMENT RANGES  
OF THE EX-CORE NEUTRON FLUX MONITORING SYSTEMS



LCR : 대수계수율

MSV : Mean Square Voltage

그림 3. 광대역측정용 영역별 측정범위

## 2. 신호처리방법의 개선

노외핵계측계를 광대역측정으로 원활하게 수행하기 위해서는 두 가지 측면에서 개선이 되어야 한다. 첫째, 기존계통에 비해 중간영역의 저출력으로 확장됨에 따라 측정 대역이 늘어났다. 발전소의 출력이 높은 경우, 배경잡음이 신호출력에 크게 영향을 미치지 못하지만 저출력에서는 감마선등의 영향이 상대적으로 증가되므로 신호의 정확도를 개선하기 위해 잡음의 영향을 줄이기 위한 신호처리방법이 요구된다. 둘째, LCR방식에서 MSV방식으로 전환하는 영역(cross over)이 저출력으로 이동됨에 따라 MSV방식의 비선형부분을 선형적으로 유지하여 두 방식의 원활한 전환이 이루어 져야 한다.

## 3. 신호처리방식

펄스계수모드에서는 중성자간의 발생주기가 길어 시간에 따라 개별적으로 계수할 수 있으나 출력이 증가함에 따라 중성자속도 증가하게 되어 중성자속에 의한 펄스의 발생주기가 급격히 좁아져 중성자에 의해 발생하는 신호들이 중첩되어 나타나므로 더 이상 중성자를 개별적으로 셀 수 없게 된다.

중성자속의 증가로 인해 펄스가 중첩되어 나타나는 신호의 출력을 나타내기 위해 다음과 같은 신호처리방식이 사용된다.

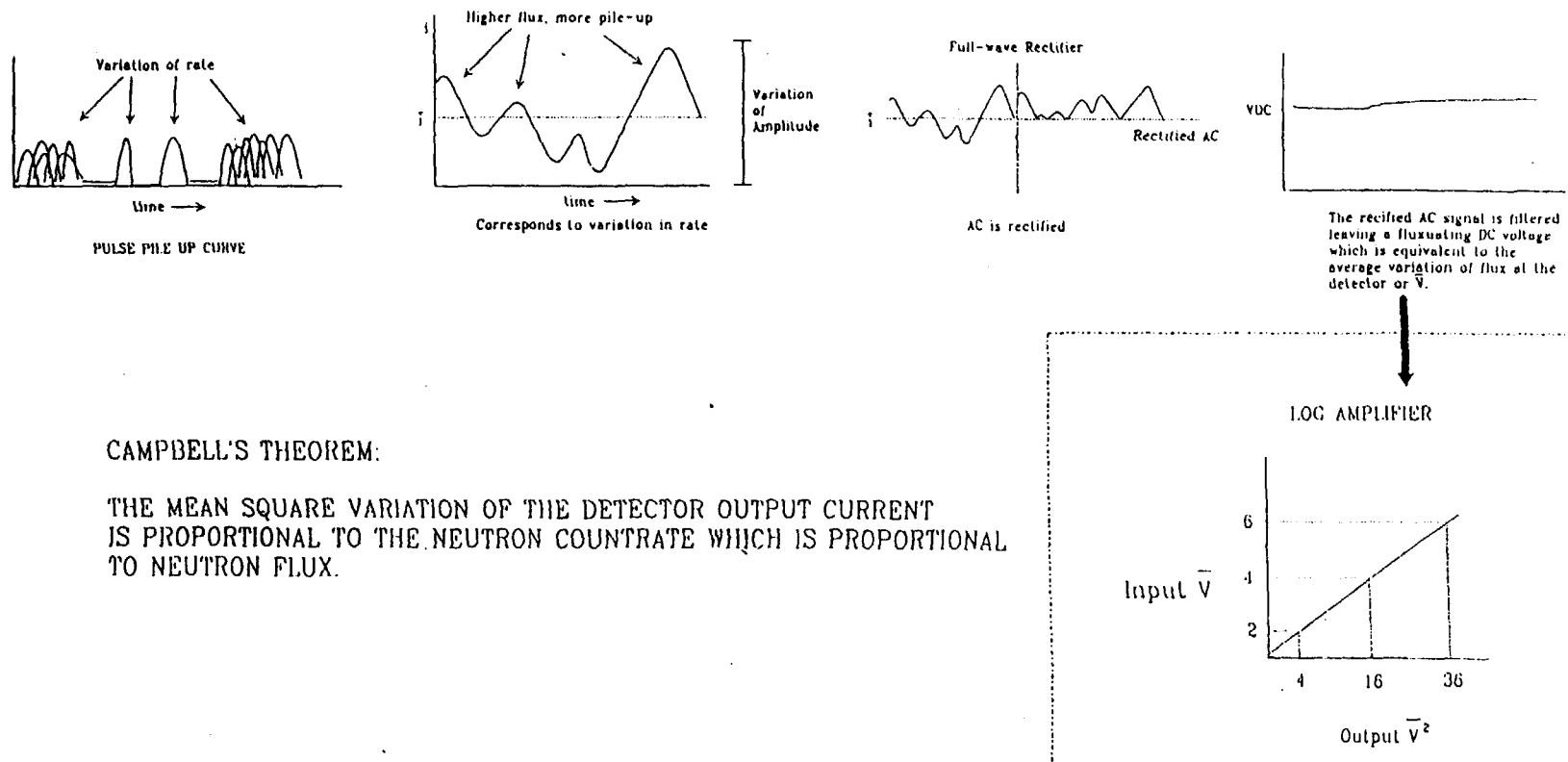
### (가) MSV방식 - Campbell 정리를 이용한 중성자속 측정방식

검출기에서 무작위(random)하게 발생하는 신호가 중성자속에 의해 이온화가 충분히 진행된다고 가정할 때, 중성자에 의해 발생하는 신호는 poisson 분포를 가지게 되어 Campbell 방법(그림 5)을 이용하여 중성자속에 의한 전류값을 계산할 수 있다. [7,8,9,10,11,12]

$$mean E(t) = \langle I \rangle = \langle N \rangle \int_0^{\infty} i(t) dt \quad (1)$$

# CAMPBELL'S THEOREM

WIDE RANGE DISCRIMINATOR AND BANDPASS FILTER BOARD



CAMPBELL'S THEOREM:

THE MEAN SQUARE VARIATION OF THE DETECTOR OUTPUT CURRENT IS PROPORTIONAL TO THE NEUTRON COUNT RATE WHICH IS PROPORTIONAL TO NEUTRON FLUX.

그림 4. Campbell의 정리

$$\text{variance } \sigma^2 = \langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2 = \langle N \rangle \int_0^\infty [i(t)]^2 dt \quad (2)$$

여기서  $\langle N \rangle$  은 평균계수율이며  $i(t)$ 는 시간에 따라 발생하는 전류값이다. Campbell 정리에 따르면 무작위 전류펄스원으로부터 전류의 평균값은 평균계수율과 펄스크기에 비례하고 분산은 평균펄스율과 펄스크기의 제곱에 비례한다.

검출기에서 발생하는 신호는 중성자속에 의한 신호뿐만 아니라, 감마선등에 의한 신호를 포함한 배경잡음등의 신호와 혼재되어 있다. 이들 신호 중 중성자속에 의한 신호의 크기가 다른 잡음신호보다 크기 때문에 이 Campbell 정리를 적용했을 때 신호를 제외한 결과를 얻으므로 중성자에 의한 신호와 다른 잡음에 의한 신호를 차별화 하는 특성을 가지게 된다.

검출기에서 발생한 신호는 전치증폭기의 입력콘덴서를 거치면서 신호의 평균값과 순시값의 차이를 증폭하게 된다. 증폭된 신호는 다시 제곱회로(squaring circuit)에서 제곱한 후 평균을 취함으로써 구해진다. 이 계통의 출력은 계측기에서의 원신호의 분산의 형태를 가지게 된다.

$$\langle (I - \langle I \rangle)^2 \rangle = \langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2 \quad (3)$$

Campbell System 의 블록선도는 다음과 같다.

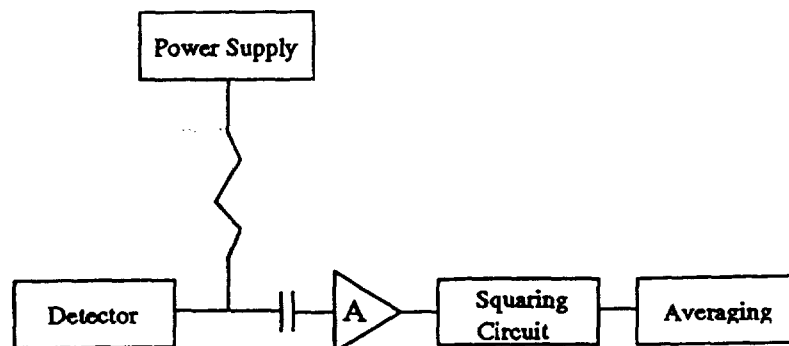


그림 5. Campbell System의 블록선도

위에서 살펴본 바와 같이 검출기로부터 발생하는 무작위신호가 발생 횟수가 많아지면 각 입자에 의해 발생하는 신호들이 연속으로 중첩되어 나타나 중성자속의 측정이 어려우나, Campbell 정리를 이용하면 시간에 따라 무작위로 발생하는 신호에 따른 펄스의 계수율을 확률적으로 계산할 수 있다.

#### (나) 3차 모멘트법을 이용한 중성자속의 측정방식

DC모드에서 신호의 차수를  $e$ 라고 가정하면 2차 모멘트의 Campbell 방법에서는  $e$ 의 제곱이 되어 상대적으로 잡음에 비해 크기가 큰 중성자신호를 잡음으로부터 분별하는 효과를 가진다. 2차 모멘트의 Compelling 방법에서 고차로 확장한 방법이 처음 제안된 이후<sup>[9]</sup> 이를 이용하여 중성자속측정에서 잡음을 분별능력을 향상시키기 위한 연구가 행해졌다.<sup>[8,13,14,15,16,17]</sup>

고차의 모멘트방법을 이용하면 원하는 중성자속 신호로부터 잡음의 분별능력 즉, 신호 대 잡음비가 2차 모멘트법보다 뛰어남을 알 수 있다.

Campbell 정리를 3차 모멘트로 확장하면

$$\begin{aligned} \langle N \rangle \int_0^\infty [i(t)]^3 dt &= \langle (I - \langle I \rangle)^3 \rangle \\ &= \langle I^3 \rangle - 3\langle I^2 \rangle \langle I \rangle + 2\langle I \rangle^3 \end{aligned} \quad (4)$$

중성자속에 의한 신호의 크기는 감마선이나 다른 신호의 크기보다 상대적으로 높기 때문에, 모멘트계산에서 신호의 차수가 높아질수록 낮은 차수보다 분별정도가 뛰어나게 된다. 그러나 더 복잡한 고차모멘트에 의해 출력값을 계산할 때 최고차이외의 중간차수를 포함하게 되고 고차로 진행될수록 이 중간차수는 늘어나게 된다. 중간차수는 원하는 결과의 왜곡을 발생시킬 수 있으므로 정확한 신호를 얻기 위해서는 중간차수를 제거하는 것이 중요하다. 그러므로 모멘트를 4차이상의 고차로 확장시 정확한 출력신호를 얻기 위

해서는 부가적인 중간차수 제거하는 단계를 포함시켜야 하므로 계통구성이 복잡해진다.

### 제 3 절 모의 실험

#### 1. 실험개요 및 목적

노외핵계측계통의 광대역측정을 수행시 잡음에 안정된 신호처리계통과 출력에 따른 신호의 선형성을 개선하기 위해, MSV방식보다 개선된 신호처리방식을 모색하였다. 따라서 3차 모멘트방식을 도입하여 저출력에서 기존의 MSV방식보다 잡음분별능력을 개선하고자 하였다.

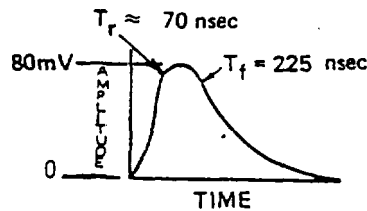
발전소에서 발생하는 원신호를 취득하여 두 방식을 비교 분석하는 것이 출력에 따른 두 가지 방식의 정확한 비교 결과를 얻을 수 있으나 노외핵계측기는 안전관련계통(safety related system)으로 분류되므로 운전중인 발전소에서 원신호를 검출하는 것은 정상운전에 막대한 영향을 줄 수 있으므로 현실적으로 어려움이 있다. 또한 운전중인 발전소로부터 신호검출이 가능하여도 각 출력별로 두 신호처리방식의 비교는 가능하나 각 출력에서 두 신호처리방식이 잡음의 크기에 따라 어느 정도의 잡음둔감성을 가지는지가 하는 문제를 파악하는데 어려움이 발생한다.

상기의 문제점으로 인하여 잡음분별능력의 개선을 위해 도입된 3차 모멘트의 타당성을 검증하기 위해 컴퓨터모의실험을 통해 MSV방식과 3차 모멘트방식을 이용한 신호처리방식을 상호 비교하였다. 두방식에 대해 잡음의 크기를 변화시키면서 각 잡음에 따른 신호의 영향정도를 검토하였고, 결과를 바탕으로 3차 모멘트 적용의 타당성을 살펴보았다.

## 2. 실험

### (가) 입력데이터의 생성

원자로외부로 누설되는 중성자속에 의하여 핵분열함에서 발생된 에너지는 전하의 형태로 전치증폭기의 입력되어 펄스형태의 전압신호로 나타나게 된다.<sup>[18]</sup> 이때 발생하는 펄스신호를 기초로 상승시간이 약 70 ns, 하강시간이 약 225 nS인 의사 전압펄스를 만들었다. 이러한 출력전압펄스의 개략적인 형태를 그림 7에 나타내었다. 생성된 펄스의 샘플링시간은 100 nS, 전체 Window는 5000개의 입력신호로써 구성하였다. 각 출력에 따라 신호의 발생과 크기를 무작위로 생성시키고 각 출력에서 배경잡음을 변화시키면서 두 가지 방식을 이용하여 출력을 계산, 비교하였다.



TYPICAL OUTPUT PULSE

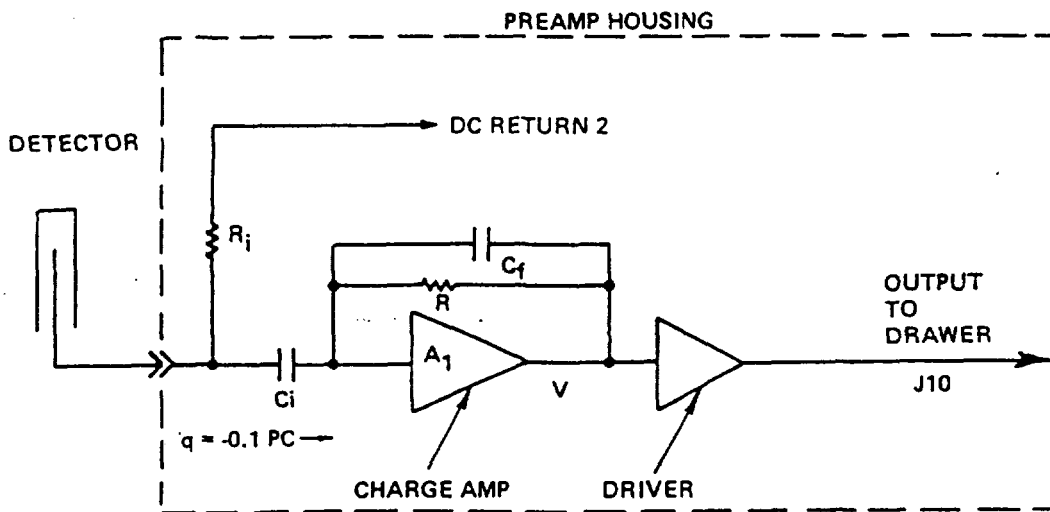
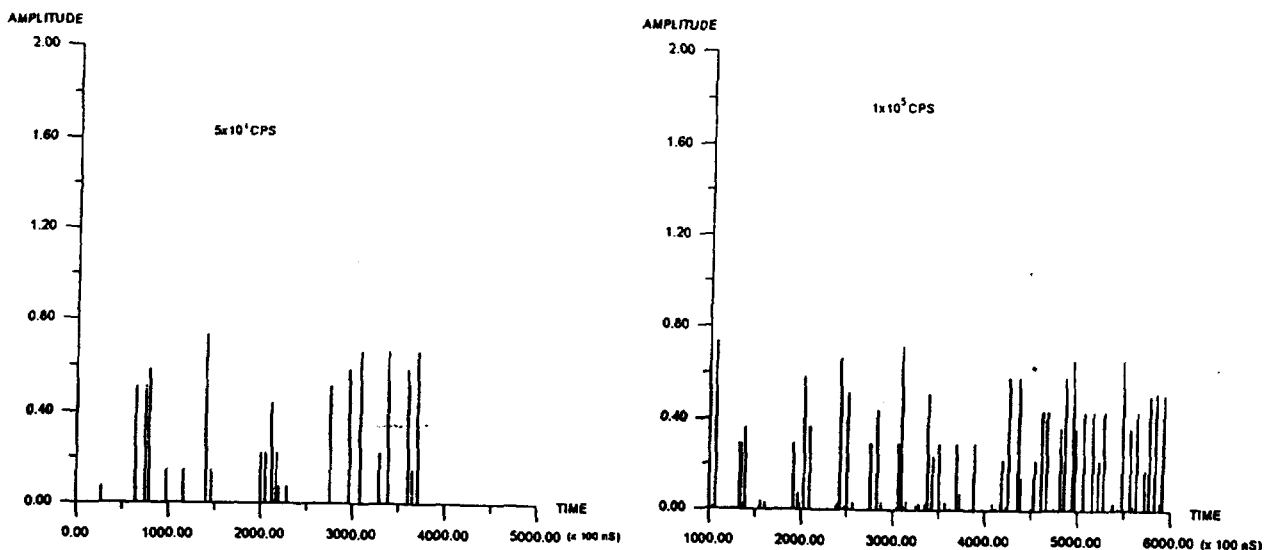


그림 6. 전치증폭기 회로와 근사적인 출력전압값

(나) 실험의 전개

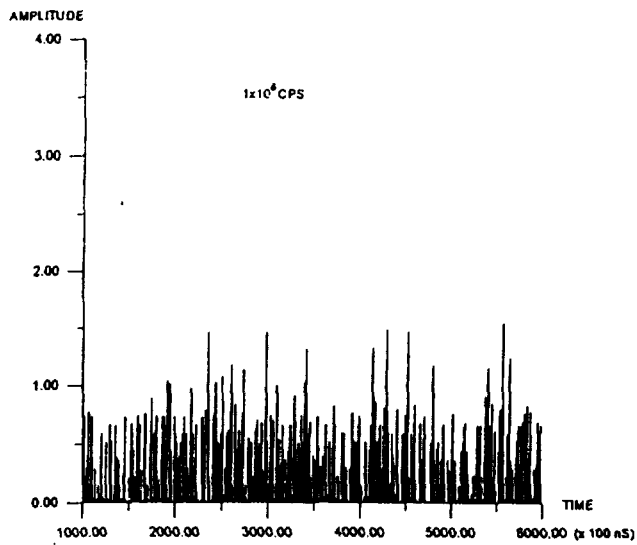
그림 8은  $10^{-8}$  FP의 출력에 상응하는 신호이고 각각  $10^{-7}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$ 에 해당하는 출력을 나타내었다. 본 실험의 목적은 중간영역이 저출력으로 확장시 잡음에 대한 안정도를 살펴보는 것이므로 실험범위를  $10^5$  CPS부터  $5 \times 10^7$  CPS까지( $10^{-4}$  FP -  $5 \times 10^{-2}$  FP)로 한정하여 실험을 수행하였다. 이 범위는 중간영역에서 LCR에서 MSV로 전환되는 지점이므로 이 부분에서 모의 실험을 수행하는 것은 전 범위에서 수행하는 것과 동일한 결과를 얻기 때문에 편의상 범위를 좁혀 실험을 수행하였다. 잡음의 크기는 원신호의 0.05배로 생성하였고 최초잡음은 원신호 발생률의 약 1/10 정도로 만들었다. 원신호에 대한 잡음포함 비율을 최초잡음대비 5배 또는 10배씩 증가시키면서 출력을 계산함으로써 두 방식에 대해 각 잡음에서의 신호의 안정도를 판별하였다.



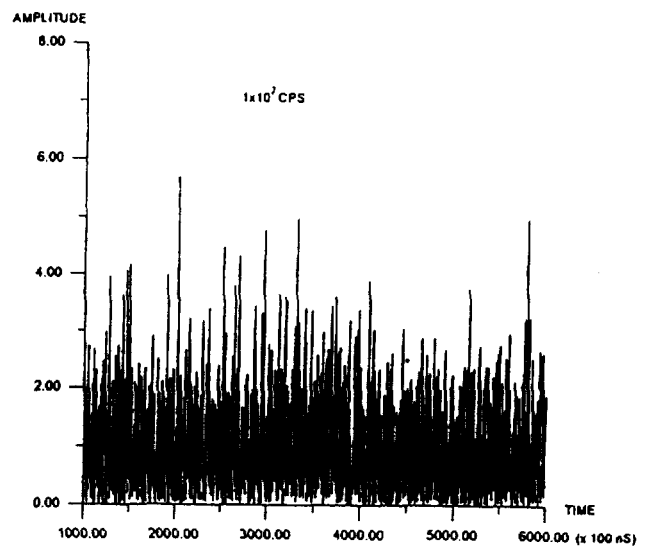
(a)  $5 \times 10^4$  CPS

(b)  $1 \times 10^5$  CPS

그림 7. 실험에 사용된 입력신호



(c)  $1 \times 10^6$  CPS



(d)  $1 \times 10^7$  CPS

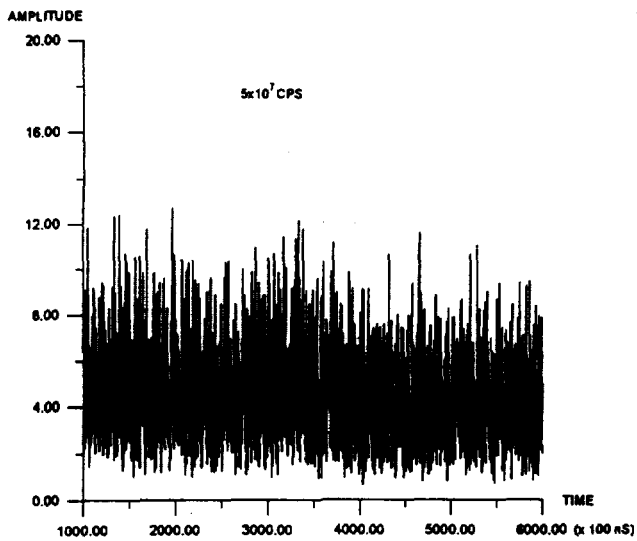
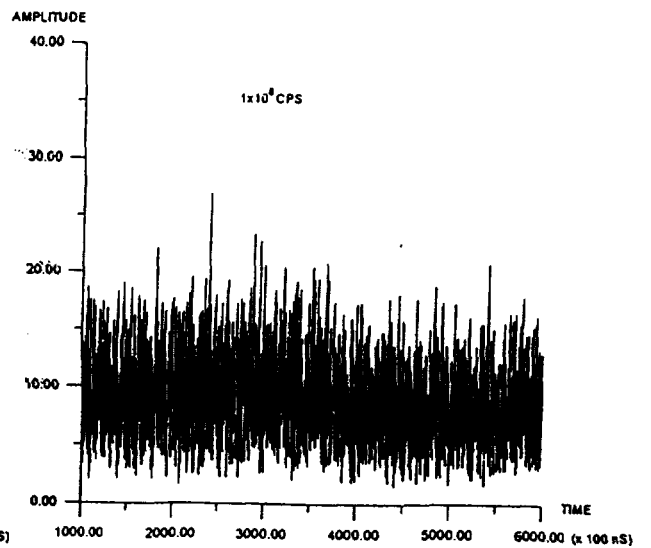
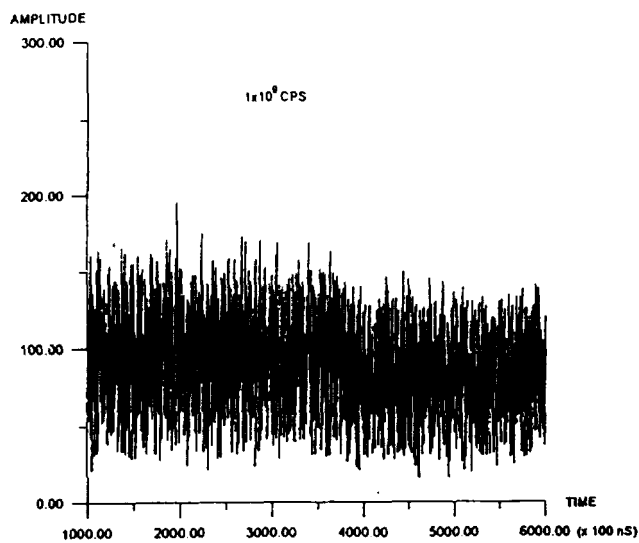


그림 (e)  $5 \times 10^7$  CPS

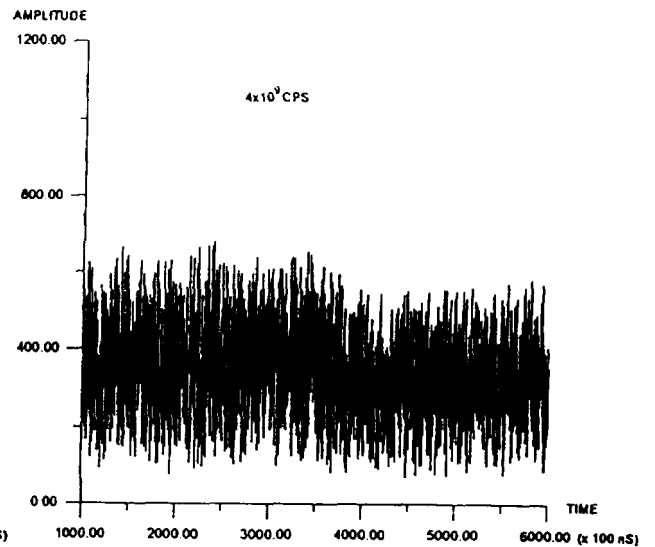


(f)  $1 \times 10^8$  CPS

그림 7. 실험에 사용된 입력신호



(e)  $1 \times 10^9$  CPS



(f)  $4 \times 10^9$  CPS

그림 7. 실험에 사용된 입력신호

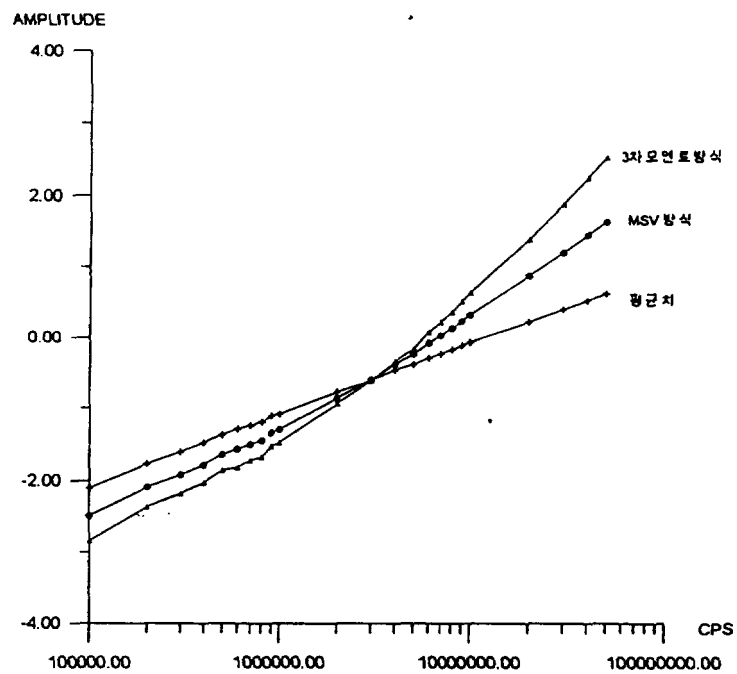


그림 8. 평균치, MSV방식 및 3차모멘트방식에 의한 결과비교

## 제 5 절 실험결과 및 고찰

### 1. 실험 결과

잡음비에 따른 각 방식의 계산 결과치를 표 1, 2 에 나타내었고 표의 결

표 1. 잡음변화에 따른 MSV방식에 의한 계산결과

| CPS | 잡음 a          | (잡음 a) x 5    | (잡음 a) x 10   | (잡음 a) x 30   | (잡음 a)x50     |
|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1e5 | -2.522035e+00 | -2.519655e+00 | -2.516484e+00 | -2.505270e+00 | -2.503375e+00 |
| 2e5 | -2.117304e+00 | -2.075009e+00 | -2.111079e+00 | -2.110280e+00 | -2.108081e+00 |
| 3e5 | -1.954124e+00 | -1.912298e+00 | -1.947988e+00 | -1.947043e+00 | -1.944081e+00 |
| 4e5 | -1.827425e+00 | -1.785472e+00 | -1.820563e+00 | -1.818426e+00 | -1.815605e+00 |
| 5e5 | -1.702738e+00 | -1.661359e+00 | -1.696379e+00 | -1.695837e+00 | -1.683282e+00 |
| 6e5 | -1.635695e+00 | -1.593602e+00 | -1.627613e+00 | -1.627334e+00 | -1.606235e+00 |
| 7e5 | -1.580058e+00 | -1.538276e+00 | -1.572243e+00 | -1.560150e+00 | -1.539790e+00 |
| 8e5 | -1.528185e+00 | -1.520612e+00 | -1.520460e+00 | -1.497358e+00 | -1.477527e+00 |
| 9e5 | -1.425531e+00 | -1.418935e+00 | -1.410086e+00 | -1.393621e+00 | -1.374197e+00 |
| 1e6 | -1.394924e+00 | -1.386956e+00 | -1.369624e+00 | -1.350122e+00 | -1.331191e+00 |
| 2e6 | -9.985095e-01 | -9.640178e-01 | -9.727332e-01 | -9.604503e-01 | -9.469216e-01 |
| 3e6 | -7.699733e-01 | -7.544953e-01 | -7.421789e-01 | -7.327008e-01 | -7.228145e-01 |
| 4e6 | -5.755864e-01 | -5.587861e-01 | -5.491272e-01 | -5.372413e-01 | -5.292490e-01 |
| 5e6 | -4.582836e-01 | -4.376464e-01 | -4.288137e-01 | -4.206424e-01 | -3.709285e-01 |
| 6e6 | -3.050986e-01 | -2.849011e-01 | -2.767737e-01 | -2.697481e-01 | -1.948334e-01 |
| 7e6 | -2.094556e-01 | -1.876472e-01 | -1.796576e-01 | -1.418995e-01 | -7.504751e-02 |
| 8e6 | -1.140449e-01 | -9.058791e-02 | -8.474062e-02 | -2.110040e-02 | 3.899668e-02  |
| 9e6 | -1.323490e-02 | 1.048908e-02  | 4.194743e-02  | 9.824211e-02  | 1.515412e-01  |
| 1e7 | 6.511939e-02  | 8.921748e-02  | 1.414375e-01  | 1.928308e-01  | 2.439650e-01  |
| 2e7 | 5.783648e-01  | 6.078193e-01  | 6.381457e-01  | 6.682853e-01  | 6.999703e-01  |
| 3e7 | 9.048244e-01  | 9.351175e-01  | 9.576406e-01  | 9.791405e-01  | 1.000405e+00  |
| 4e7 | 1.140390e+00  | 1.172077e+00  | 1.189306e+00  | 1.206660e+00  | 1.222923e+00  |
| 5e7 | 1.329782e+00  | 1.361949e+00  | 1.375571e+00  | 1.389455e+00  | 1.462870e+00  |

표 2. 잡음변화에 따른 3차모멘트방식에 의한 계산결과

| CPS | 잡음 a          | (잡음 a) x 5    | (잡음 a) x 10   | (잡음 a) x 30   | (잡음 a)x50     |
|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1e5 | -2.851533e+00 | -2.851526e+00 | -2.851490e+00 | -2.849095e+00 | -2.836894e+00 |
| 2e5 | -2.383893e+00 | -2.383887e+00 | -2.383085e+00 | -2.377769e+00 | -2.379462e+00 |
| 3e5 | -2.198960e+00 | -2.198205e+00 | -2.198873e+00 | -2.193205e+00 | -2.193145e+00 |
| 4e5 | -2.062950e+00 | -2.062664e+00 | -2.062404e+00 | -2.056690e+00 | -2.053493e+00 |
| 5e5 | -1.901302e+00 | -1.900419e+00 | -1.900750e+00 | -1.893747e+00 | -1.893696e+00 |
| 6e5 | -1.877604e+00 | -1.877373e+00 | -1.876798e+00 | -1.867803e+00 | -1.868569e+00 |
| 7e5 | -1.787210e+00 | -1.786731e+00 | -1.785655e+00 | -1.778861e+00 | -1.768287e+00 |
| 8e5 | -1.746334e+00 | -1.745756e+00 | -1.742604e+00 | -1.738168e+00 | -1.714680e+00 |
| 9e5 | -1.609488e+00 | -1.608401e+00 | -1.605878e+00 | -1.593051e+00 | -1.579668e+00 |
| 1e6 | -1.570175e+00 | -1.569486e+00 | -1.567139e+00 | -1.544769e+00 | -1.527680e+00 |
| 2e6 | -1.083068e+00 | -1.081547e+00 | -1.079485e+00 | -1.053864e+00 | -1.040918e+00 |
| 3e6 | -7.960005e-01 | -7.940095e-01 | -7.917772e-01 | -7.649159e-01 | -7.545458e-01 |
| 4e6 | -5.488340e-01 | -5.468732e-01 | -5.447571e-01 | -5.178553e-01 | -5.038697e-01 |
| 5e6 | -4.068358e-01 | -4.044168e-01 | -4.025949e-01 | -3.704931e-01 | -3.619534e-01 |
| 6e6 | -1.763809e-01 | -1.737035e-01 | -1.723078e-01 | -1.419968e-01 | -1.354573e-01 |
| 7e6 | -5.908764e-02 | -5.601474e-02 | -5.102985e-02 | -2.145110e-02 | 2.042139e-02  |
| 8e6 | 7.594275e-02  | 7.882679e-02  | 8.733342e-02  | 1.114799e-01  | 1.841805e-01  |
| 9e6 | 2.131827e-01  | 2.160006e-01  | 2.258660e-01  | 2.784243e-01  | 3.456001e-01  |
| 1e7 | 3.340051e-01  | 3.370347e-01  | 3.496930e-01  | 4.227177e-01  | 4.828727e-01  |
| 2e7 | 1.024503e+00  | 1.028540e+00  | 1.036148e+00  | 1.101469e+00  | 1.138557e+00  |
| 3e7 | 1.487012e+00  | 1.491545e+00  | 1.496756e+00  | 1.558641e+00  | 1.586363e+00  |
| 4e7 | 1.821058e+00  | 1.825540e+00  | 1.830325e+00  | 1.888759e+00  | 1.912048e+00  |
| 5e7 | 2.093374e+00  | 2.098415e+00  | 2.101937e+00  | 2.158583e+00  | 2.177134e+00  |

과치에 따른 그림을 그림 9와 10에 각각 나타내었다. 실험의 결과로 3차 모멘트는 MSV방식에 비해  $10^5$  CPS 과  $10^6$  CPS 사이에서는 약 1.8 배,  $10^6$  CPS 과  $10^7$  CPS 사이에서는 약 1.5배,  $10^7$  CPS 에서  $5 \times 10^7$  CPS 사이에서는 약 1.4배 정도로 잡음에 대한 신호의 안정도가 뛰어남을 알 수 있다. 실험에서 사용된 입력신호는 신호발생과 크기가 무작위로 생성되었으므로 절대적인 결과 비교에는 어려움이 있으나 실험결과에서는 3차 모멘트 방식에 의한 결과가 MSV방식에 비해 대략 1.5배의 잡음안정도를 나타내었다. 그러나  $5 \times 10^7$  CPS 이상에서는 MSV 방식과 3차 모멘트에 의한 방식의 결과치가 유사하게 나타났으므로 전체적인 잡음안정도는 다소 낮게 나타날 것이다. 3차 모멘트방식은 중성자속에 의해 발생하는 신호가 다른 배경잡음에 의한 신호에 비해 크므로 MSV방식에 비해 중성자속에 의한 신호로부터 배경잡음을 분별해내는 능력이 뛰어나다.

## 2. 고 찰

모의실험을 통해 다음과 같은 결과를 도출하였다. 첫째, 전체적인 잡음안정도에서는 3차 모멘트에 의한 방식이 MSV방식에 비해 뛰어났다. 고출력에서는 두 방식이 유사한 모양을 나타내지만 저출력에서는 3차 모멘트가 잡음분별력이 더 뛰어났다. 둘째, 일부 잡음에 대해서는 MSV가 3차 모멘트에 비해 잡음분별력이 뛰어난 곳도 있었다. 무작위로 발생된 중성자속에 의한 신호와 잡음신호가 발생시간이 한 곳에 밀집되어 있을 경우 이와 같은 결과가 나타날 것이며 차수가 높은 3차 모멘트에서 신호의 왜곡도가 더 클 것으로 예상된다. 셋째, 이상적인 출력을 MSV방식과 3차 모멘트방식과 비교해 보았을 때 3차 모멘트방식이 MSV에 비해 선형성은 뛰어나지 못한 것을 알 수 있었다.(그림 8 참조) 차수가 2차, 3차로 증가하면 출력에 따른 전압값의 변화율도 증가하므로 이와 같은 결과가 나타냈다.(그림 9 참조) 그러나 광대역측정시의 LCR방식과 MSV방식의 전환은 약  $10^{-3} - 10^{-2}$  ( $10^6 - 10^7$  CPS)에서 이루어지므로 이 구간에서 MSV방식과 3차 모멘트방식은 모두 선형성을 유지하고 있었다.

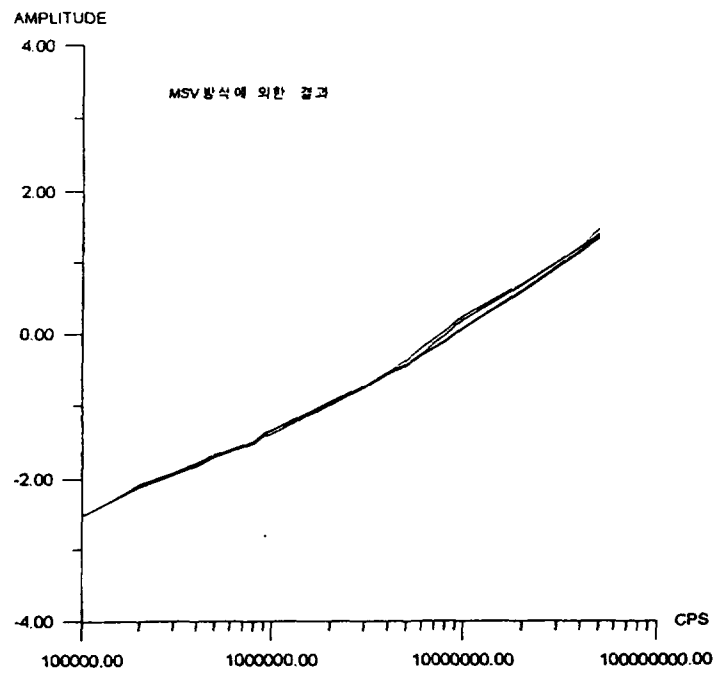


그림 9. MSV 방식에 의한 실험결과

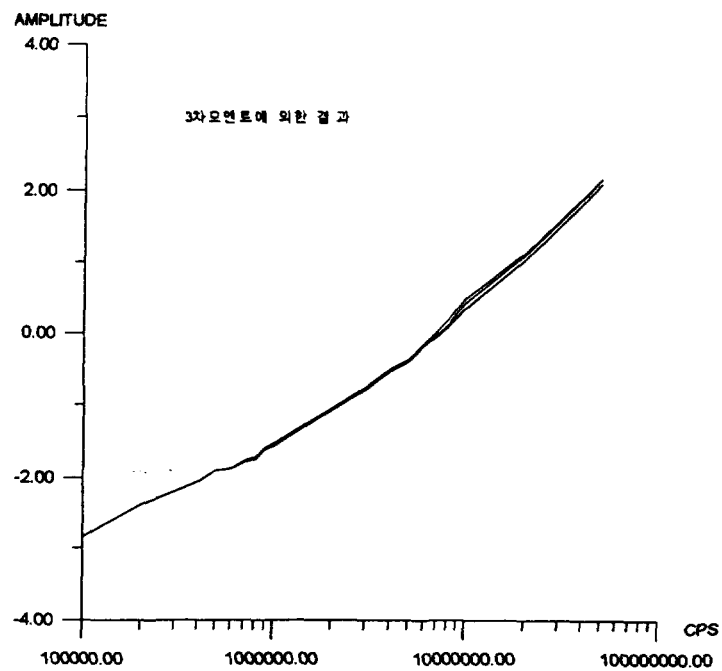


그림 10. 3차 모멘트 방식에 의한 실험결과

### 제 3 장 결 론

해분열함만으로 원자로의 전 운전범위에 대해 출력을 감시할 때 신호처리방식중 기존의 MSV방식을 개선한 3차 모멘트방식을 도입하여 잠음에 영향을 준감한 계통을 구성하고자 하였다. 개선에 대한 검증으로 컴퓨터를 사용한 모의실험을 수행하였으며 각 출력별로 잠음변화에 따른 두 방식의 신호변화율을 살펴보았다.

출력이  $10^{-4} - 0.5 \text{ FP } (10^5 - 5 \times 10^7 \text{ CPS})$  원 때 MSV방식을 이용한 출력결과와 3차 모멘트에 의한 결과를 비교한 결과 각 출력구간별 차이가 있고, 실험 데이터에 따라 편차가 있으나 3차 모멘트방식이 MSV방식에 비해 대략 1.5배의 잠음안정도를 나타내었다. 그러나 반복실험 중 부분적으로 3차 모멘트 방식에서 신호의 왜곡이 발생하였으며 이것은 신호의 분포특성에 의한 것으로 예상되며 향후 연구되어야 할 부분이다. 또한 신호처리방식의 특성상 MSV방식에 비해 3차 모멘트방식의 결과가 선행도에서는 떨어지나 광대역측정시 LCR 방식과 MSV방식의 전환구간에서는 두 방식 모두 선행성을 유지함을 확인하였다.

## 제 4 장 향후 과제

디지털방식을 이용하여 원신호로부터 잡음신호를 차별해 내는 방식은 많은 기술의 발전을 이룩해 왔다. 현재 아날로그에서 필터를 사용하여 저주파 신호와 저주파신호를 걸러내고 있지만 디지털에서 창(Window)을 사용하거나 Smoothing등의 기법을 사용함으로써 원하지 않는 신호를 쉽게 배제할 수 있으며, 신경회로망등의 기법을 이용하여 신호를 처리하거나 아날로그신호의 결과를 검정하는 분석신호로 사용할 수 있을 것이다. 그러나 현재 디지털시스템을 노외핵계측계통에 적용하기 위해서는 먼저, 컴퓨터로 입력신호를 실시간으로 처리 시 전체 신호의 응답시간에 대한 요건을 충족시켜야 하며, 소프트웨어에 대한 검증작업이 선행되어야 하는 문제점을 안고 있다. 현재 당면한 이러한 문제점으로 인해 노외핵계측의 전 계통을 디지털화를 시키기보다는 아날로그 신호처리 결과에 대한 신호의 분석 및 신뢰도 분석을 위해 사용됨이 타당하다 하겠다.

아날로그방식에서 3차 모멘트를 적용하기 위해서, 3차 모멘트를 적용하였을 때 실제 원신호에 대해서 얼마만큼 지속적이고 안정적인 신호를 취득할 수 있는가 등의 검증작업이 요구되며, 하드웨어적으로 MSV에 비해 복잡해질 것으로 예상되므로 이에 대해 필수적으로 수반되는 비용문제등도 고려해야 한다. 그러므로 3차 모멘트를 노외핵계측기에 적용하기 위해서는 MSV에 대비하여 신호의 정확도 정도 및 추가소요비용등을 고려한 trade-off에 대한 연구가 수반되어야 한다.

## 참 고 문 헌

1. R. D. Wyckoff, Design, Development and Instrumentation of a Wide Range Fission Chamber System, IEEE Trans. on Nucl. Sci. NS-29, No.1, pp. 745-748, 1981
2. H.A. Thomas , E. corte and C. L. Lingren, Design and Qualification of an Improved Flux Monitoring Safety System, IEEE Trans. on Nucl. Sci. vol. NS-24, No.1, pp. 722-728, 1977
3. W. M. Treholme and D. J. Keefe, A Neutron Flux Measuring Channel Covering Ten Decades of Reactor Power with a Single Fixed-position Detector, IEEE Trans. on Nucl. Sci., pp. 253-260, 1967
4. 백광일, 광대역측정을 위한 노외중성자속감시계통에 관한 연구, 한국원자력연구소, 1994.3
5. C.K. Lee, System Description for Ex-core Neutron Flux Monitoring System for UCG 3&4, 1992
6. Gamma-Metrics, ENFMS Training Course for KAERI, 1991
7. F. G. Stremmler, Introduction to Communion System, Addison-Wesley Publishing Company, 1982

8. A. Papoulis, Probability, Random Variables, and Stochastic Process,
9. R. A. Dubridge, Campbell Theorem - System Concept and Results, IEEE Trans. on Nucl. Sci. , pp. 241-246, 1963
10. D. A. Gwinn and W. M. Trenholme, A Log N and Period Amplifier Utilizing Statical Fluctuation Signals from a Neutron Detector, IEEE Trans. on Nucl. Sci. vol. NS-10, pp. 1-9, 1963
11. Y. Plaige and R. Quenee, Use of Campbell's Method in Nuclear Reactor Control Instrumentation, IEEE Trans. on Nucl. Sci., pp. 247-252, 1963
12. Y. Endo, T. Ito and E. Seki, A Counting-Campbell Neutron Measurement System and its Experimental Results by Test Reactor, IEEE Trans. on Nucl. Sci. vol. NS-29, No.1, pp. 714-717, 1982
13. Bruno Baers, Varance and Higher Order Signal Moments in Neutron Flux Measurements, Nucl. Instr. and Methods in Physics Reacher A275, pp. 403-410, 1989
14. B Baers, Use of Higher Order Signal Moments and High Speed Digital Sampling Technique for Neutron Flux Measurements, IEEE Trans. on Nucl. Sci., VOL. 40, pp. 832-839, 1993
15. I. Lux, and A. Baranyai, Higher Order Campbell Techniques for Neutron Flux Measurement I, Nucl. Instr. and Methods, pp. 469-475, 1982

### **부록 3   노외중성자속 감시계통의 잡음감소에           관한 연구**

# 노외중성자속 감시계통의 잡음감소에 관한 연구

## 요 약

노외중성자속 감시계통과 같이 저신호레벨의 신호전송계통에서 흔히 문제점으로 접하게 되는 EMI에 의한 잡음발생현상은 이 신호를 사용하는 계통의 성능보장은 물론이고, 원자로의 안전운전확보를 위해서도 반드시 개선되고 그 대책이 강구되어야 할 기술적인 현안사항이다. 이 신호잡음 현상은 전기-전자회로의 물리적인 현상에 의해 발생하는 것으로 피할 수 없는 자연적인 원인과 피할 수 있는 인위적인 원인에 기인하는 것으로 분류된다. 이 잡음의 전도와 전달과정은 복잡하고 연쇄적인 결합된 형태로 나타나므로 그 원인소자와 전달과정을 보다 적극적으로 관리하고 억제함으로써 그 영향을 최소화하는 능동적인 방법이 그 대책이 된다.

계통설계자 측면에서 접지계통을 완벽하게 설계하여 전달과정을 효과적으로 대처하고 외부잡음의 수신안테나 역할을 하는 신호케이블을 적절히 선정하여 노이즈 픽업을 억제하는 수단을 강구해야 한다. 또한, 기기 제작 설계단계에서는 항상 외부잡음이 발생된다는 가정하에 기기설계에 적용되는 관련 법규에 따라 잡음내용성에 대한 시험을 거쳐야 하며, 기기 설치후에도 관리소홀로 인한 내부 잡음원인을 제공하는 요소가 없도록 관리해야 한다. 또한, 관련기기의 사용단계에서는 사용전검사를 실시하여 기기 설치후 사용중에 발생될지도 모를 예상된 외부잡음에 대한 최종 건전성을 확인하는 절차가 필요하다. 따라서, 본계통의 계통설계자의 입장에서 설계시 권장되어야 하고 고려되어야 할 사항들을 중심으로 요약 정리하였다.

## 목 차

|       |                      |    |
|-------|----------------------|----|
| 제 1 장 | 서 론                  | 4  |
| 제 1 절 | 배 경                  | 4  |
| 제 2 절 | 국내원전에서 잡음발생 경험       | 5  |
| 제 2 장 | 잡음 발생 특성 고찰          | 7  |
| 제 1 절 | 적용법규 및 규제현황          | 7  |
| 제 2 절 | 잡음의 발생원인과 전달형태       | 8  |
| 제 3 절 | 접지를 통한 효과적인 잡음억제     | 17 |
| 제 3 장 | 노외중성자속 감시계통의 잡음현상 평가 | 24 |
| 제 1 절 | 노외중성자속 감시계통의 구성과 개요  | 24 |
| 제 2 절 | 케이블 접속에 대한 고찰        | 26 |
| 제 3 절 | 잡음억제 필터              | 29 |
| 제 4 절 | 잡음억제 대책 평가           | 30 |
| 제 5 절 | 잡음억제를 위한 고려사항        | 35 |
| 제 4 장 | 결 론                  | 44 |
|       | 참 고 문 헌              | 48 |

## 그 립 목 차

| 그림 번호                                     | 페이지 |
|-------------------------------------------|-----|
| [그림 1] EMI잡음발생과 전달과정                      | 10  |
| [그림 2] 동축케이블 시일드 접지 Loop에 의한 잡음발생과<br>개선안 | 12  |
| [그림 3] EMI 잡음억제를 대책기술의 분류                 | 12  |
| [그림 4] 용량성 결합에 의한 EMI 잡음과 시일드<br>차폐효과     | 14  |
| [그림 5] 유도성 결합에 의한 EMI 잡음과 시일드<br>차폐효과     | 16  |
| [그림 6] 케이블의 단말접속 처리방법                     | 17  |
| [그림 7] 일점접지방식과 접지저항                       | 20  |
| [그림 8] 원전 발전소에 적용되는 계측제어기기<br>접지선 접속도     | 21  |
| [그림 9] 효과적인 시일드선의 접속 방법                   | 23  |
| [그림 10] 노외중성자속 감시계통의 구성도                  | 25  |
| [그림 11] 제안된 전원선, 시일드 및 신호선<br>접지 결선도      | 32  |
| [그림 12] EMC 시험판정의 적용기준치                   | 40  |

## 표 목 차

| 표 번호                      | 페이지 |
|---------------------------|-----|
| [표 1] 중성자속 감시계통의 외부케이블 선정 | 35  |

## 제 1 장 서 론

### 제 1 절 배 경

지금까지 국내외 많은 원자력발전소에서 노외중성자속 감시계통과 같은 저 신호레벨의 신호전송계통에서 EMI (Electro-Magnetic Interference)에 의한 잡음 발생으로 인해 계통 전체의 성능저하는 물론, 이러한 거짓신호에 의해 우발적으로 원자로가 빈번히 불시정지하였던 사례가 있었었고, 측정된 신호의 오차증대로 원자로 안전운전 확보와 신뢰성 제고에 많은 문제점이 제기되고 있는 것으로 보고되고 있다. 국내에서도 최근 상업운전을 시작한 영광 3,4호기에서 동일한 문제점이 시운전 기간중에 제기되어, 이를 해결하는데 많은 시간과 노력이 필요하였다.

본 보고서는 이러한 EMI에 의한 잡음현상의 문제점을 조사분석하고 그 개선대책을 제시하여, 원전설계 초기단계에서부터 설계에 적절히 반영하도록 권장하기 위하여 작성되었다. 잡음현상의 발생은 자연적인 현상과 인위적인 현상으로 구별되며, 잡음발생 현상 자체로써 그 원인을 추적진단하여 이를 치유하기에는 전도되는 과정이 매우 복잡하고 연쇄결합된 형태로 나타나는 까닭에 용이하지가 않다. 따라서 보다 바람직한 치유방법은 이러한 잡음발생 현상이 발전소에서 항시 가시적으로 존재한다는 가정하에 전달경로나 발생가능성의 원인소자를 적극적으로 관리함으로써 어떠한 잡음원인에 의해 발생된 것의 전도를 억제하고 이의 영향을 최소화하는 것이 능동적인 억제대책이라 할 수 있다. 또한 이러한 개선책은 근본적으로 해당 계통의 기기제작자가 회로설계단계에서부터 잡음현

상에 대한 영향을 최소화하기 위한 대책을 강구해야 하는 것이 선결되어야 할 기본적 설계요건이 된다. 따라서, 본 보고서는 기기제작자의 회로설계관점에서 보다 전체 계통설계자의 설계관점에서 이에 대한 개선책을 검토하였다.

## 제 2 절 국내원전에서 잡음발생 경험

영광 3,4호기 공히 관측된 신호잡음 현상은 핵연료가 장진도 되지 않은 상태에서 본 계통의 제어반에 있는 계측지시기가 높은 출력상태의 지시값을 표시하였고, 이 지시값조차도 케이블의 사소한 움직임에 따라서 큰 변화를 보였다. 이 문제의 해결을 위해 영광 3호기에서는 전치 증폭기와 신호처리함사이의 모든 신호선에 Common-Mode 잡음여과기를 새로이 장착함으로써 원만한 해결을 보았으나, 영광 4호기에서는 이 방법으로 해결되지 못하여 Common-Mode 여과기의 케이스를 접지하고, 신호처리함 내부에 새로운 잡음제거용 부품을 추가함으로써 개선효과를 거두었다. 이러한 잡음현상은 그 발생원 자체가 불분명하고, 그 원인이 다양하고 복합적으로 연쇄결합된 현상으로 나타나기 때문에, 그 원인을 정확히 규명하는데는 기술적으로 여러가지 어려움이 있고, 이에 대한 적절한 장비나 기술이 부족한 상태이다. 영광 3,4호기 경험에서 이러한 문제발생의 근본원인이 다음과 같이 추론되었다.

- 신호전송선로에 외부잡음 영향을 저감하는 전용의 잡음차폐전선관 (Conduit)을 사용하지 않았다.

- Class 1E Vital 120Vac 전원모선에서 교변주파수의 기수고조파의 Harmonic 잡음에 의한 전도잡음 발생가능성이 높다.
- 본 계통의 접지선로인 기기 및 차폐실드접지에 대한 설계가 충분하지 못하였다.
- 관련 기기 설치완료후 관리 소홀로 인하여 습기 혹은 이물질이 침입하여 잡음을 발생시킨 사례가 있었다.
- 기기제작 성능시험단계와 계통시운전단계에서 본 계통의 잡음내용성 시험실시와 그 결과에 대한 확실한 뒷받침이 없었다.

발전소에서 일반적으로 발생하는 전기적 잡음현상에 대하여 고찰하고, 그 발생원과 전도과정을 보다 심도있게 검토하여 계통설계자의 관점에서 그 개선책을 제시하기 위하여 현재까지 보고되고 있는 국내외 여러 발전소의 경험사례와, 원전설계와 규제관련기관에서 이와 유사한 문제점을 해결한 사례등과, 설계기술규격등을 근거로 그 해결방안을 제시하고, 실제 설계시에 적용하고자 한다. 한편, 운전중인 원자로의 노심말기 혹은 핵연료 교체 전후에서 흔히 경험하는 잔류방사선의 감마방사선에 의한 중성자속 검출기에서의 잔류 잡음신호는 원자로 출력과 상관없이 일정한 크기의 신호형태로 나타난다. 따라서 잔류 방사선에 의한 잡음현상은 그 원인이 잔류 감마선에 의해 발생하는 현상으로, 본 보고서에서 취급하는 전기적 잡음 현상과는 근본적으로 관계가 먼 현상이므로 본 보고서에서는 검토되지 않는다.

## 제 2 장 잡음 발생 특성 고찰

### 제 1 절 적용법규 및 규제현황

신호전송회로에서 잡음의 문제를 규제하기 위한 관련법규는 주로 유/무선통신 선로와 같이 저 신호선에서 통신선로의 전파방해를 규제하고 억제하기 위해서 제정된 법규이지만, 동일한 목적의 법규적용을 위해서 본 계통에도 적용이 가능하다. 원전설계에 적용하는 법규가 주로 미국내 법규를 통용하여 적용하고 있는 실정에서 다음과 같은 법규를 본 계통의 설계와 기기제작시에 적용함이 권장된다.

#### 1. FCC (Federal Communication Commission) Regulation

##### - FCC Conducted Emission Limits (Class A)

| Frequency      | Regualtion Limits | Remarks |
|----------------|-------------------|---------|
| 0.45 - 1.6 MHz | 1000 $\mu$ V      |         |
| 1.60 - 30 MHz  | 3000 $\mu$ V      |         |

##### - FCC Radiated Emission Limits (Class A)

| Frequency(MHZ) | Measuring Distance(m) | Field Strength( $\mu$ V/m) |
|----------------|-----------------------|----------------------------|
| 30 - 88        | 30                    | 30                         |
| 88 - 216       | 30                    | 50                         |
| 216 - 1000     | 30                    | 70                         |

#### 2. U.S. Millitary Standards : (구체적인 규제내용은 관련 법규 참조)

가. MIL-STD-461B : EMI Characteristics & Limits Requirements

나. MIL-STD-462 : EMC Test Method and Procedures

다. MIL-STD-463 : EMC Test Equipment

3. IEEE Std. 518 : IEEE Guide for the Installation of Electrical Equipment to Minimize Electrical Noise Inputs to Controllers from External Sources : (구체적인 내용은 관련 법규참조)

## 제 2 절 잡음의 발생원인과 전달형태

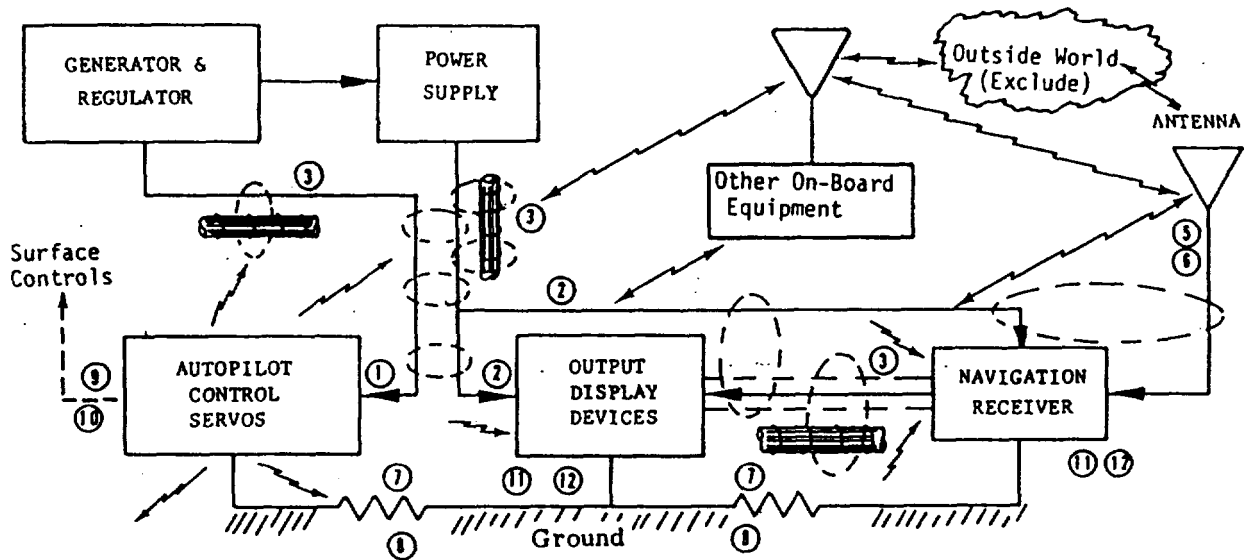
신호선에서 주로 발생하는 잡음 현상은 “저 신호선계통 (Low Level Signal Processing System)에서 측정된 실제 신호에 원하지 않는 잡음성 신호가 전자기적 전도 혹은 유도현상으로 혼입되어 거짓신호 형태로 출력신호에 나타나서 해당 시스템 혹은 기기 자체의 성능을 저하시키는 현상” 으로 정의된다. 원자로 제어 및 보호 계통인 경우, 이러한 거짓 신호에 의하여 빈번히 원자로의 트립신호를 유발하거나, 정상운전을 방해하여 원전운전의 전체 신뢰도를 저하시키는 좋지 않은 영향을 주게 된다. 즉, 이는 실 신호에 간섭하여 정보의 전달을 저해하거나 교란시키는 것이다. 이러한 잡음현상은 발전소에서 복합적인 전자기간섭(EMI)현상에 의해 연쇄결합된 형태로 나타나기 때문에, 그 원인을 정확히 규명한다는 것은 매우 어렵다. 더우기, 이러한 EMI의 원인은 크게 자연물리현상에 기인한 자연적인 발생원(피할 수 없는 현상)과 사람의 실수나 오류로 인한 인위적인 발생원(피할 수 있는 현상)으로 나누어 질 수 있다. 따라서, EMI

방지대책이란 그 발생원인에 근거하여 피할 수 있는 문제를 근원적으로 제거하거나, 전달경로에서 피동소자를 통한 억제대책을 말하고 설계단계에서 능동적으로 고려할 수 밖에 없다. 또한, 피할 수 없는 이러한 현상의 문제는 잡음이 어떠한 형태로든지 발생된다는 가정하에, 이에 대한 영향을 최소화하는 일련의 개선책을 말한다. 잡음의 전달경로는 잡음 발생원에서부터 직접 공중방사되어 간섭을 받는 방사전달 및 외부 신호선 혹은 전원선으로부터 전도되어 간섭을 받는 전도전달에 의한 경로로 나누어진다. 그림 1에서 잡음의 발생원인, 전달과정, 그리고 간섭현상에 의해 수신된 잡음신호의 관련 형태를 보여주고 있다. 이 EMI 발생원과 간섭을 받는 기기간에는 대체로 다음과 같은 3 가지 형태의 전기적 현상으로 전달된다.

- 전기자결합에 의한 유도전하 발생 : 공간 혹은 전기재료 내부에서 전자기파의 전하전달에 의한 유도잡음
- 금속물질의 부식이나 이물질의 침입으로 인한 두금속간 전기전도도 특성변화인 Galvanic Action에 의한 잡음
- 자기장의 자기적 결합에 의한 자기전류 발생 : 서로 인접한 신호기와 잡음원간의 전자기파의 자기전류에 의한 전도잡음

## 1. 전기적 잡음 발생원

전기적 잡음 발생원은 전기전자의 물리적인 현상에 의해서 발생되며, 대체적으로 전기/전자 부하에서 전압 혹은 전류가 시간적으로 급속히



- |                                                   |                                              |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1. Power Cable Conducted Emission                 | 7. Common Ground Impedance Emission Coupling |
| 2. Power Cable Conducted Susceptibility           | 8. Common Ground Impedance Suscept. Coupling |
| 3. Interconnecting Cable Conducted Emission       | 9. H-Field Radiation                         |
| 4. Interconnecting Cable Conducted Susceptibility | 10. E-Field Radiation                        |
| 5. Antenna Lead Conducted Emission                | 11. H-Field Susceptibility                   |
| 6. Antenna Lead Conducted Susceptibility          | 12. E-Field Susceptibility                   |

[그림 1] EMI 잡음의 발생과 전달과정

변화( $dV/dt$  or  $di/dt$ )하는 과도현상의 발생으로 인해서 시작되며, 그 발생원은 다음과 같이 요약된다.

- 유도성부하의 급격한 개폐동작 (Switching)
- Thyristor와 같은 전력용 반도체에 의한 빈번한 Switching 동작
- 용접기기의 사용에 의한 아아크 전류 발생
- 대전류용량 전기부하 사용에 의한 전자기 유도전류 발생
- 형광등, 네온등기구와 같은 고조파 발진회로.
- 열적인 전위차 (Thermal Voltage) 발생
- 화학적인 전위차 (Chemical Voltage) 발생

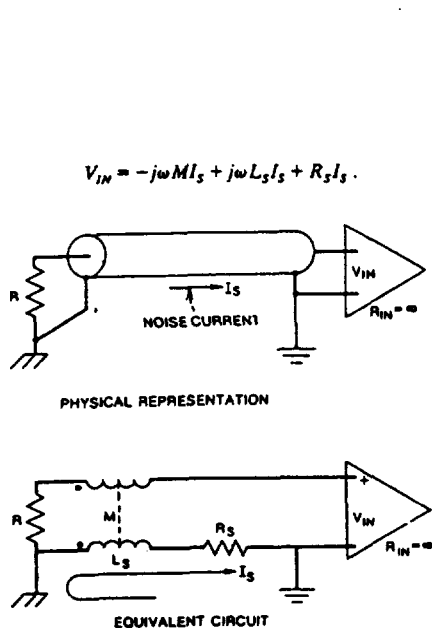
## 2. 잡음발생의 전도형태

### 가. Normal-Mode 잡음 (Transverse)

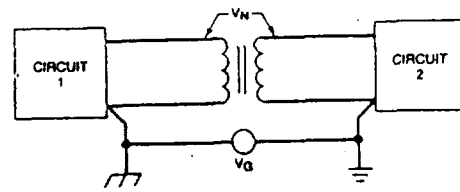
이 잡음현상은 정상적인 신호와 잡음 발생원이 직접 결합되어 잡음신호형태로 신호수신기에 비 연속적으로 나타나는 잡음이다. 이러한 잡음의 발생원은 신호발생 기기에서 서로 다른 금속도체간의 저항이나 열접촉에 의한 열전위차(Thermal Potential), 혹은 절연저하에 의한 누설전류 등에 의해 주로 발생된다. 따라서 이러한 잡음이 발생되지 않도록 관련 기기에서 부식방지와 습기등의 침입을 막도록 하는 설치후 관리에 세심한 노력이 필요하다.

### 나. Common-Mode 잡음 (Longitudinal)

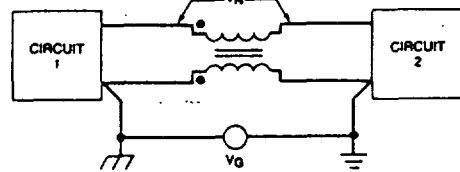
이 잡음현상은 접지점을 기준으로 신호線 양단에 그림 2 와 같이 두개의 다른 접지점간에 흐르는 전류가 신호선에 전달되어 잡음의 형태로 나타나 측정된 신호에 첨가되어 전압형태로 전송되는 신호잡음이다. 이러한 잡음의 원인은 다중접지선 상호간의 전위차이에 의한 내부순환전류의 흐름으로 전자유도, 부하의 용량성, 저항성 결합에 의해 발생한다. 따라서, 잡음의 원인이 되는 다중접지의 상호전위차에 의한 내부순환전류가 발생되지 않도록 전체 신호선계통의 실드차폐선에서 단일접지를 유지하도록 설계 및 기기설치시에 세심한 주의가 필요하다.



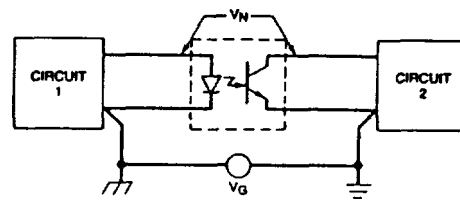
(가) 잡음의 발생



(나) 신호격리 변압기 사용

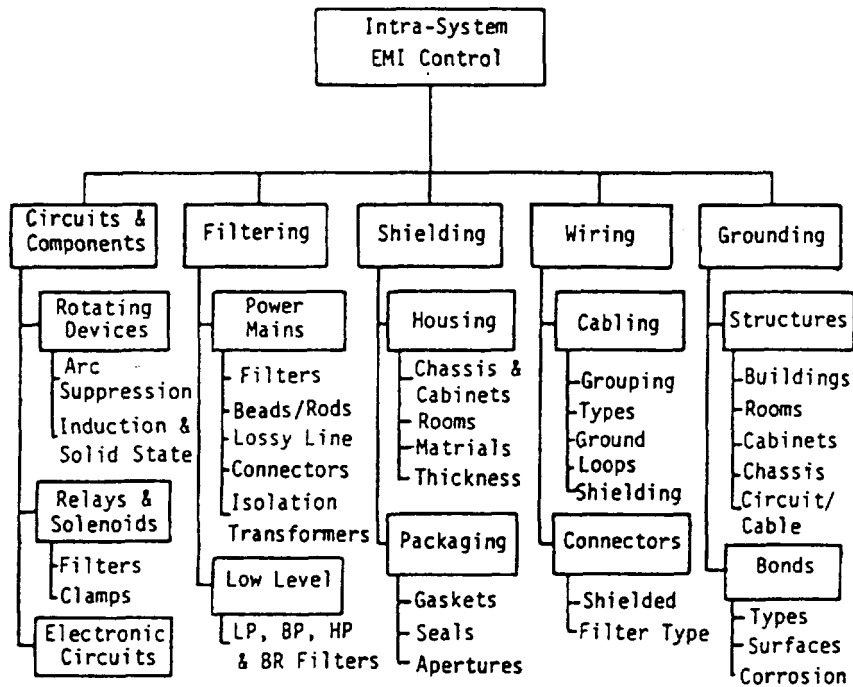


(다) Common Mode Filter 사용



(라) 광신호 격리기 사용

[그림 2] 동축케이블 시일드접지 Loop에 의한 잡음발생과 개선안



[그림 3] EMI 잡음 억제를 위한 대책기술의 분류

### 3. 잡음 억제 대책

앞서 언급한대로 미세한 신호전류 회로에서 발생하는 잡음의 현상은 물리적 현상에 의해 발생하는 피할 수 없는 현상으로 문제는 이러한 잡음 발생의 영향을 얼마나 최소화하고 억제할 수 있느냐 이다. EMI에 의한 잡음을 억제하는 기술적인 대책은 앞장 그림 3 에서 보는 바와 같이 전달 경로별로 크게 구별된다.

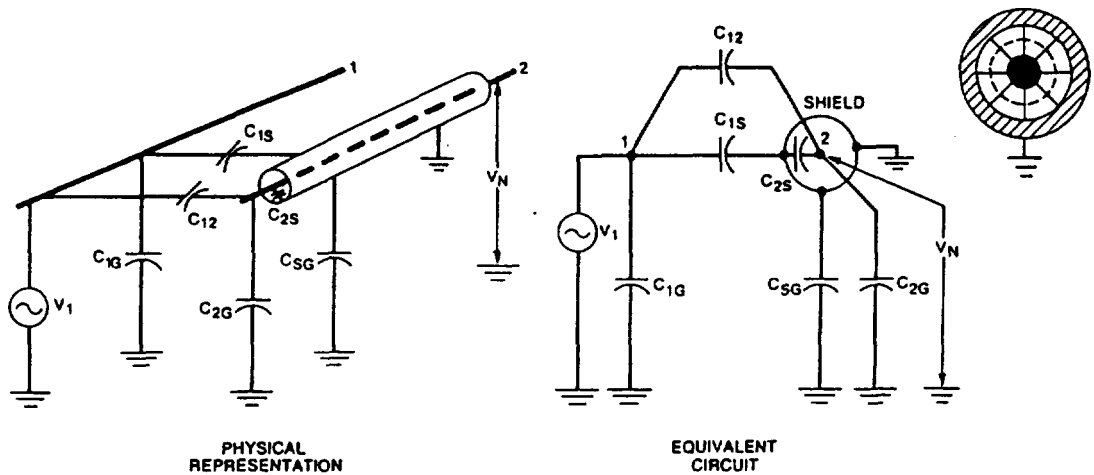
#### 가. 신호선(Signal Cable)에 의한 잡음픽업 억제 대책

신호선(Signal Cable)은 일반적으로 시스템내에서 전체 길이가 길고 잡음발생원에 인접하여 노출되기 쉽기 때문에, 전도된 잡음이나 유도된 잡음을 쉽게 수신하여 이를 전송하는 안테나 구실을 하게 되므로 잡음 억제측면에서 매우 중요한 고려요소이다. 이 신호선에 잡음이 전달되는 방법은 다음과 같은 세가지로 나눌 수 있다.

##### (1) 용량성 결합 (Capacitive Coupling)

고전압선에 의해 형성된 전기장이 인접한 신호선에 정전포유 용량을 통하여 신호회로에 유도되는 것이다. 이는 신호선을 보호하는 동축케이블등을 설계하여 동축케이블의 실드선을 접지하여 두 배선간의 포유용량의 크기를 작게 함으로써 최소화할 수 있다. 그러나 방향성유지 및 거리를 띄워서 10 dB 이상의 감쇄는 불가능하기 때문에 실드가 가장

좋은 방법이 된다. 신호선을 완벽하게 정전차폐하도록 실드하면 용량성 결합에 의한 유도잡음은 신호선에 전달되지 않는다. 따라서, 노외 중성자속 계측기 계통의 직류고압 케이블 선과 신호용 케이블선은 시일드선을 가진 동축케이블로 설계공급함이 바람직하다. 아래 그림은 용량성 결합에 대한 차폐효과를 나타내고 있다.



[그림 4] 용량성 결합에 의한 EMI 잡음과 시일드 차폐효과

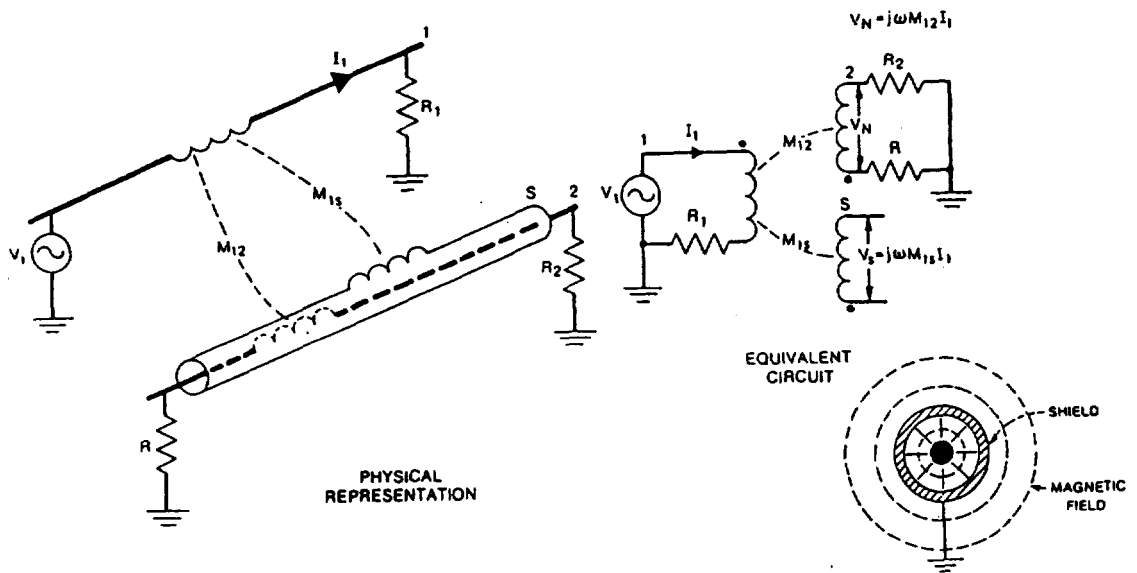
## (2) 유도성 결합 (Inductive Coupling)

이는 두개 이상의 도선간에 나타나며 잡음 발생원인 한쪽도선에서 고전류 혹은 전류변화가 클 때 자기성 결합인 상호인덕턴스를 통하여 다른 신호도선쪽에 유도되어 발생한다. 평행한 두선로간에 작용하는 상호인덕턴스는 실용적으로 다음의 수식으로 표현되고 두도선간의 이격거리에 좌우됨을 알 수가 있다.

$$M = 4 \times 10^{-7} \ln \left( \frac{b}{a} \right) \quad b : \text{두도선간의 거리}, a : \text{도체의 반경}$$

이러한 자기적 결합을 최소화하기 위해서는 고전류선의 케이블을 효과적으로 실드차폐하여 전류원에서 방사되는 자기력을 감쇄하여 신호선에 그 영향을 최소화하는 방법이다. 즉, 대용량 혹은 고전류부하의 케이블선에 시일드 피복선을 설계하고 부하단이 직접접지인 경우에는 이 시일드선 양단을 접지하여 내부순환 전류를 반대방향으로 시일드선을 통하여 흘리고, 부하단이 비접지인 경우에는 전원부에서 시일드를 접지하여 유도전류가 서로 반대방향으로 시일드선을 통하여 흐르게 함으로써 전자유도되는 자기적 결합을 서로 상쇄하는 효과를 거둘 수가 있다. 따라서, 대용량부하 혹은 고전압 케이블의 시일드접지를 부하단에서 접지방식에 따라 시일드선 접지방법을 선택해야함이 강조된다. 그림 5 에서 유도성 결합에 의한 EMI 잡음과 시일드 접지의 차폐효과를 보여주고 있다. (가) 그림은 시일드선에 전류가 흐르지 않을 경우 자력선은 케이블 외부로 방사가 되나 그림 (나)에서는 시일드선을 통하여 반대방향의 전류를 흘림으로써 케이블 외부로 방사되는 자력선이 서로 상쇄되어 없어지는 상태를 보여주고 있다. 또한, 신호선에서는 신호선의 0 전위 접지를 얻고 있는 어느 한쪽의 단말에서 시일드 접지를 동시에 실시함으로써 자기적 결합을 효과적으로 차폐할 수가 있다. 일반적으로 신호선의 동축케이블은 정전유도 차폐효과뿐만 아니라 시일드 내외피복이 서로 절연되어 있어 고주파수 선로에서 흔히 발생하는 도체의 표피효과 (Skin Effect)에 의한 순환전류의 자기차폐효과도 얻는 점이 높이 평가되고 있다. 또다른 자기적 결합을 저감하는 방법은 두개의 신호선을 서로 꼬이게 하여 자기적 결합전류를 서로 상쇄하는 방법이다. 단위 피이트당 5회 이상의 꼬인 신호선을 사용함으로써 저주파 신호선에서 효과적인 방법이다. 그림 6 에서 동축케이블에서 시일

드선의 접지선 연결에 대한 효과적인 방법을 보여 주고 있다. 그림 (가)에서 증폭기가 접지된 경우에는 시일드선을 증폭기의 신호접지와 연결함이 효과적이고 그림 (나)에서 처럼 신호원이 접지된 경우에는 신호원 접지와 연결함이 효과적이다.



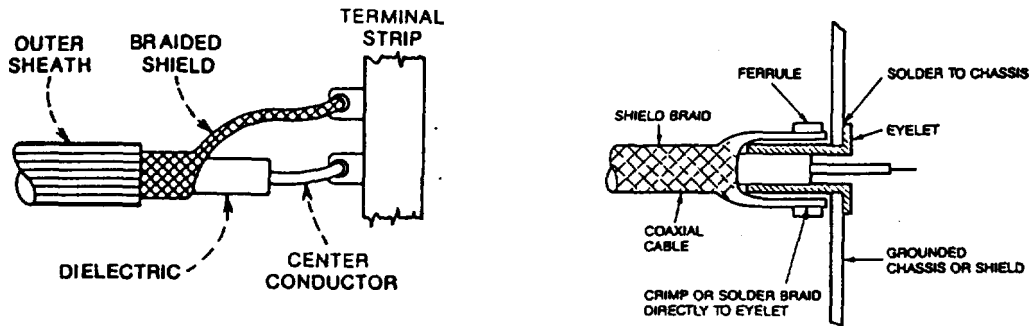
[그림 5] 유도성 결합에 의한 EMI 잡음과 시일드 차폐효과

### (3) 신호선의 단말처리 효과

신호선에서 동축케이블이나 꼬임선(Twisted Cable)의 단말(Termination)이나 연결단자에서의 시일드선의 처리는 자기차폐 측면에서 매우 중요하다. 그림 6에서 완전한 시일드 차폐의 연결상태[(가)그림]와 불완전한 시일드차폐의 단말처리[(나)그림]의 형태를 보여 주고 있다. 신호선의 터미날 단자에서 시일드선의 적절한 단말처리가 잡음의 전도를 최소화할 수 있으므로, 다음과 같은 신호선의 단말처리방법에 따라 결선험

이 바람직하다.

- 접지결선 임피던스의 최소화 요건
- 시일드선으로 도선을 360도 완전히 둘러싼 보호



(가) 불완전한 차폐 단말결선 (나) 완전한 차폐 단말결선

[그림 6] 케이블의 접속단말 처리방법

### 제 3 절 접지를 통한 효과적인 잡음 억제

접지는 원래가 전기선로와 신호선로계통에서 기준전위를 0으로 하거나, 전기사고시 큰 전류를 대지로 흘려보내거나, 고전압에 의해 유도된 유도전압을 대지로 흘려서 인체를 보호하기 위한 수단으로 널리 이용된다. 따라서, 접지는 사용목적상으로 인체의 전기적 안전사고를 대비한 안전접지(Safety Ground)와 신호선에서 기준전위를 설정하기 위한 신호선 공통접지 (Instrument Common Ground), 그리고 신호선의 전자기차폐를 고려한 시일드 접지(Shield Ground)로 분류된다. 이러한 접지는 일반

적으로 접지도선과 접지도체의 접촉저항에 의한 일정 크기의 접지전위를 갖고 있다. 이러한 접지전위는 그 접지목적에 따라 항상 일정한 설계 기준치 이하가 되도록 요구되고 이를 사용목적에 따라 철저히 구분하여 설계해야 접지전위차에 의해 귀환되는 내부순환전류 흐름에 따라 발생하는 잡음을 상당히 억제할 수 있다.

#### 1. 기기의 보안 접지 (Equipment Security Ground)

기기의 보안접지(Equipment Security Ground)는 보통 '기기접지' 라고 하는데, 이는 발전소 종사원의 인체를 전기적인 충격이나 감전사고로부터 보호하기 위해 설비하는 접지이다. 고압/저압의 전압레벨에 따라 모든 전기기기의 외함이나 Chassis를 일정한 크기의 나동선으로 접지선과 연결하고 철구조물이나 금속기기의 프레임과도 나동선으로 일정한 간격으로 다중접지가 되게 접지해야 한다.

이 접지선은 접지저항이 크고 다중접지선간에 접지 전위차가 항상 존재하게 되므로 신호선의 기준전위를 얻기 위한 신호접지나 시일드 접지선과는 전기적으로 서로 격리되도록 접지설계해야 한다.

이 접지의 목적은 절연파괴와 같은 전기사고로 인해 생길 수 있는 인체에 위협한 전기적 충격(Shock)을 없애기 위한 것이며, 또한 기기절연 사고시 과전류 보호장치가 동작하기 까지 낮은 임피던스 선로를 만들어 큰 사고전류를 흐를 수 있도록 한다.

일반적으로 전자회로는 Rack이나 캐비넷 내부에 탑재되며, 이 Rack 등은 안전을 위하여 접지되어 있다. 그러나 이 Rack은 종종 스위칭회로의

귀환용으로 사용되기 때문에 잡음이 많이 발생하게 되며, Rack 또는 게비넷 내부 Drawer에서 연결부 및 이음부로 인하여 높은 저항치를 갖게 된다. 따라서, 전자-계측기기의 설치 Rack에 탑재된 전자회로는 이들 접지를 통하여 영향을 받지 않도록 Rack이나 제어판(Panel)과는 접지선으로 연결하지 않도록 해야한다. 그러나, 고주파에서는 Rack의 잡음전류가 용량성 결합에 의하여 영향을 줄 수 있기 때문에 이 용량성 결합을 최소화 되도록 접지선으로 연결하는 경우도 있다.

## 2. 신호공통접지 (Instrument Common Ground)

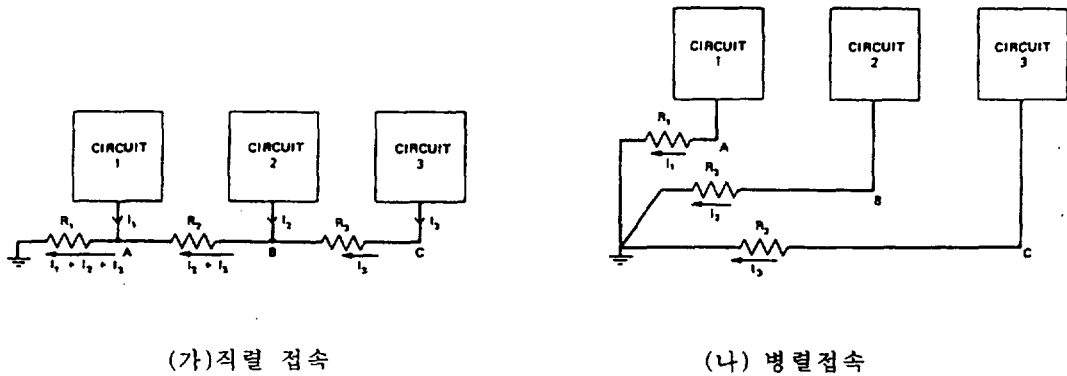
계기접지인 신호선공통접지는 엄밀하게 1종접지를 통하여 신호값의 기준전위를 0으로 얻고자 함이기 때문에 보통 '신호공통접지'라 한다.

이 신호공통접지는 다른 접지선과 서로 전기적으로 격리가 되게 피복 절연체를 가진 절연케이블로 설계하여 접지저항이나 접지전위차에 의한 기준전위가 변동하지 않도록 해야한다. 이는 신호 루프-프(Loop)에서 보면 엄격히 접지라고는 할 수 없으며, 전류가 전원으로 복귀하는 저 임피던스 선로 역할을 한다.

따라서 공통접지를 설계하는 경우 매우 중요한 설계요소중의 하나는 접지선의 결선을 어떻게 하느냐 이다. 이는 공통접지한 신호선로에서 영향을 서로 받지 않도록 동작주파수 및 회로의 형태에 따라 고려해야 할 점이다. 신호선의 공통접지는 접지선 결선 방법에 따라 크게 다음 두가지의 형태로 나눌 수 있다.

### 가. 일점(Single-Point) 접지

이는 직렬방식과 병렬방식의 두가지로 나눌 수 있다 (그림 7 참조). 직렬방식은 결선은 비교적 간단하지만, 앞서 설명한 바와 같이 신호선 회로간에 접지를 공유하기 때문에 신호선 상호간에 전기적으로 많은 영향을 줄 수 있다. 이 때문에 잡음억제측면에서는 좋지 않은 접속방법이다. 병렬방식이 저주파신호에서 가장 바람직한 접속방법이라 할 수 있으나, 접지 케이블의 수가 많아지는 단점이 있다.



[그림 7] 일점 접지방식과 접지저항

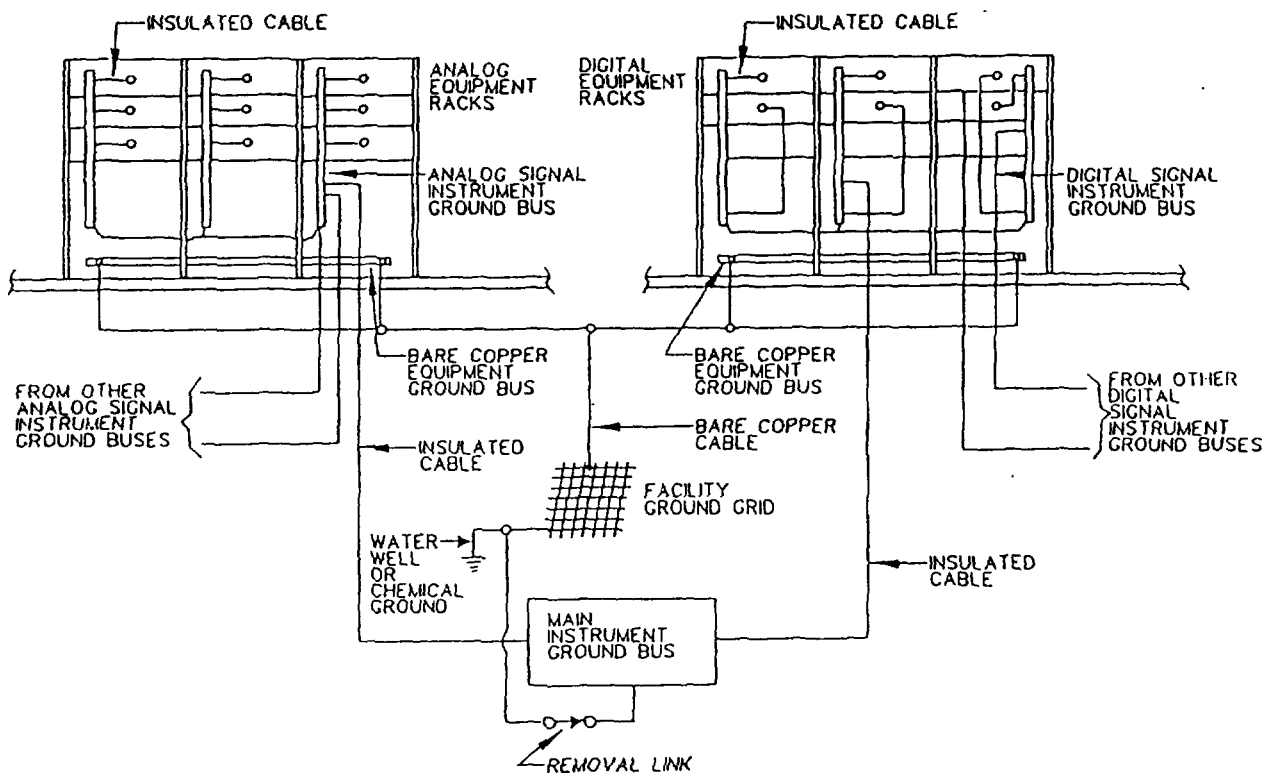
### 나. 다점(Multiple-Point) 접지

고주파 신호선에서 접지선의 길이가 1/4 파장의 홀수배가 되면 큰 선로 임피던스를 가지게 되며 이 접지선로가 잡음을 수신하는 안테나로 작용하게 되어 잡음을 전도하기 때문에 접지선은 파장의 1/12 이하가 되도록 하여야 한다. 따라서 회로와 접지간에 길이를 짧게 하여 선로 임피던스를 작게 하도록 함이 바람직하다.

일반적으로 RFI (Radio- Frequency Interference) 잡음주파수가

1MHz이하인 경우에는 단일점접지, 10MHz이상인 경우에는 다점접지 방식이 권장된다. 1~10MHz에서는 가장 긴 접지선이 파장의 1/12보다 짧으면 일점접지가 사용될 수 있고, 그렇지 않으면 다점접지의 사용이 권장된다. 다점접지인 경우 접지점(Grounding Point)간의 간격은 예상되는 RFI 잡음신호 파장의 1/8보다 짧아야 한다.

그러나 실제로는 잡음억제효과를 가지면서 케이블의 수를 줄이기 위하여 회로특성에 따라서 각각 별도의 접지를 하고 이것이 궁극적으로 하나가 되어 일점접지를 이루는 방식이 많이 권장된다. 그림 8에서 원전 발전소에서 권장되고 있는 계측제어기기 및 계통의 접지선 결선도를 보여 주고 있다.



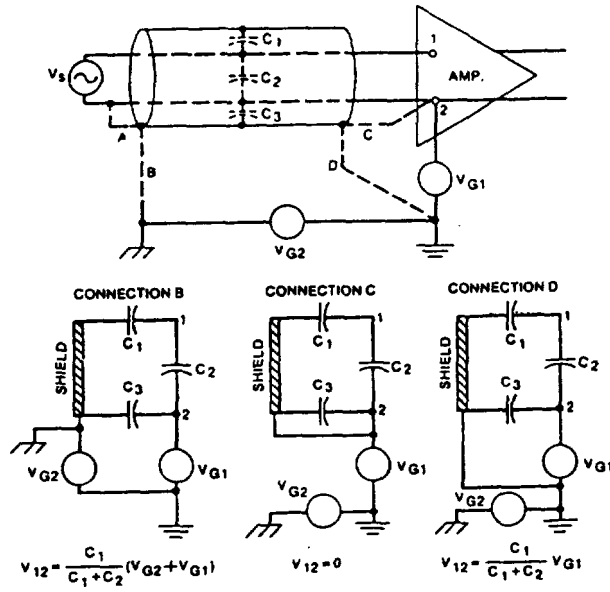
[그림 8] 원전 발전소에 적용되는 계측제어기기 접지선 접속도

#### 다. 시일드(Shield) 접지

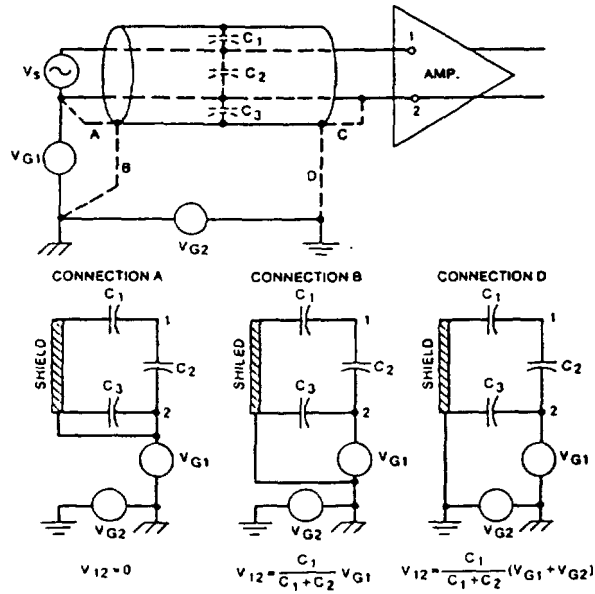
저주파용 선로의 시일드는 전체 선로에서 단단중 어느 한쪽에서만 접지되어야 한다. 이는 한 선로에서 여러 점에서 시일드 접지되는 경우 접지전위차로 인해 내부순환 전류가 흐르게 되고, 이 순환전류에 의해 신호선에 잡음이 발생하는 근본 원인이 되기 때문에 다중접지가 되지 않도록 설계상과 설치상에 세심한 주의를 기울여야 할 부분이다.

그러면, “시일드선은 신호원과 수신회로 중에서 어디에 접속되어야 하는가?”가 중요하다. 신호원(입력회로) 또는 수신회로가 접지된 경우의 등가회로가 각각 그림 9 (가) 와 (나)에 나와있다.

결론적으로 말해서 수신회로만이 접지된 경우 시일드는 수신회로의 공통 접지단자에 연결해야 하며, 신호원만이 접지된 경우에는 신호원의 공통 접지단자에 연결하여야 한다. 또한, 주파수가 1MHz 이상이거나 선로의 길이가 파장의 1/12을 넘는 경우에는 여러 점에서 접지된다. 또 다른 문제는 고주파에서 포유용량에 의하여 접지 Loop가 형성되기 쉽기 때문에 이를 격리하기가 매우 어렵다. 따라서 고주파 신호선에서는 시일드선의 양끝을 접지하는 경우도 있다. 이 때는, 접지전위차에 의한 잡음은 고유신호와 큰 주파수 차이를 나타내도록하여 회로 Filter에서 잡음신호를 여과될 수 있도록 해야한다.



(가) 신호중폭기를 접지한 경우 ("C"-결선 방법이 효과적임)



(나) 신호원을 접지한 경우 ("A"-결선 방법이 효과적임)

[그림 9] 효과적인 시일드선의 접지선 방법

### 제 3 장 노외중성자속 감시계통의 잡음현상 평가

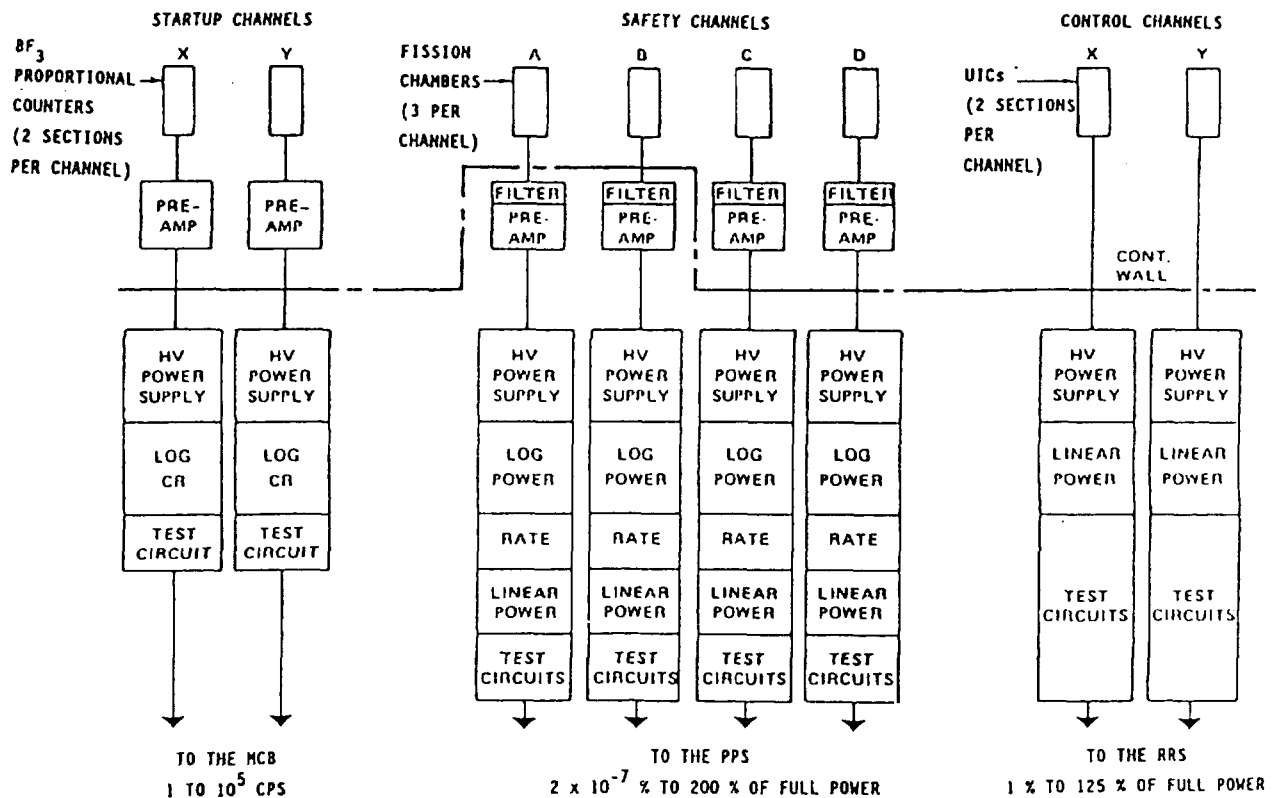
#### 제 1 절 노외중성자속 감시계통의 구성과 개요

영광 3, 4호기 노외중성자속 감시계통의 시스템 구성과 상세도가 참고문헌 2에 수록되어 있다. 이 계통은 발전소에서 원자로 보호기능과 원자로 제어계통 및 감시계통에 사용되는 원자로 출력변수의 측정값을 제공하는 신호전달계통으로 다음과 같이 구성된다.

- 원자로용기 외벽에 설치되는 중성자 검출기 (채널당 3개)
- 원자로용기 바깥에서 검출기 교체시 케이블작업이 용이하도록 접근이 가능한 곳에 위치한 케이블선의 Junction Box와 격납건물 외벽에 있는 전치증폭기
- 신호처리함에서 변환된 직류고전압을 신호검출기에 공급하기 위한 고전압 여과기
- 주제어실내에 위치하고 측정된 신호를 일정한 형태로 변환하여 필요한 계통에 전송하는 신호처리함.

이 계통의 동작원리는 먼저 신호처리함에서 직류 800V. (혹은 2,000V(dc))의 고전압이 만들어 지며, 전치증폭기에 있는 고전압 여과기로 보내진다. 여과된 이 전압은 각 검출기에 인가되어 양(+), 음(-)전극의 역할을 하게된다. 각 검출기의 출력신호는 저전위의 펄스형이며, 그 펄스율은 검출기에서 중성자속밀도(nv)에 비례한다. 이 저 전위 펄스는 전치

증폭기에서 증폭되어, 약 200~300ft정도 떨어져 있는 신호처리함까지 동축케이블(Coaxial Cable)을 통하여 보내 진다. 신호처리함에서는 입력된 신호를 토대로 원자로 %(Percent) 출력을 계산하여 지시기에 표시하기도 하고, 필요로 하는 각종 관련 제어논리 회로에 이용한다. 그림 10 에서 본 계통에 대한 계측채널의 구성과 각 채널별 사용된 검출기를 보여준다.



[그림 10] 노외중성자속 감시계통의 구성도

## 제 2 절 계통내 케이블 접속에 대한 고찰

### 1. 고전압 전원 (High Voltage)

신호처리함에서 만들어진 고전압전원은 Triaxial Cable을 통하여 Junction Box에 있는 Common-Mode Filter (이하 CMF라 한다) 로 보내진다. 이 때, Triaxial Cable의 중심선과 안쪽실드선은 각각 고전압전원 및 공통접지에 접속된다.

한편 바깥쪽 시일드선은 신호처리함의 Chassis에 접속되며, 또한 CMF의 Chassis에 접속된다. 이 CMF를 거친 고전압전원은 다시 여과기에 입력되며, 바깥쪽 실드선은 CMF 및 여과기의 Chassis에 접속된다. 고전압전원은 다시 여과기를 거친 후, 세개의 선로로 분배되어 각각 세개의 검출기로 공급되며, 그 각각의 접속방식은 상기와 같다. 이 방식은 격납건물의 격리 관통부 (이하 관통부라 한다) 까지 계속된다.

관통부부터는 Triaxial Cable이 Quadraxial Cable로 그 선로 케이블의 종류가 바뀌며, Quadraxial Cable선의 바깥쪽 두개의 시일드선은 단말에서 함께 접속되어 근본적으로 Triaxial과 같다고 할 수 있다. 또한, 고전압전원을 제외한 모든 시일드선은 관통부 외부의 모든 실드선과 접속되지 않으며 따라서 Floating되어 있다고 할 수 있다. Transition Joint부터는 다시 Quadraxial Cable이 Triaxial Cable로 변환되며 그 접속방식은 이상의 설명과 같다. 이들 사용된 케이블은 각 채널별 신호의 크기와 전송 거리에 2중, 3중 혹은 4중의 각기 다른 동축케이블이 사용된다.

## 2. 신호선 (Upper, Middle, Lower 신호들, Test)

관통부내(격납건물내)에서 케이블의 접속방식은 위 1 에서 설명한 것과 동일하다. 그러나, 입력되는 세개의 신호중에서 Middle 신호는 전치증폭기와 CMF를 거쳐서 신호처리함으로 보내지며, 시일드선의 접속방법은 바깥쪽 실드선이 전치증폭기 및 CMF의 Chassis에 연결된다.

전치증폭기는 입력되는 이 신호를 이용하여 Log 신호 및 Linear 신호를 만들어 CMF를 거쳐 신호처리함으로 보내며, 그 접속방식도 위의 내용과 같다.

한편 Upper 및 Lower 신호들은 CMF만을 경유하여 직접 신호처리함까지 연결되며, 그 바깥쪽 실드선은 CMF 및 신호처리함의 Chassis에 접속된다.

## 3. 전치증폭기 전원공급

이 전원공급을 위해 사용되는 Cable은 세개의 도체(AWG #16)를 갖는 일반 케이블선이나 바깥에 실드가 되어 있는 것이다. 이 세개의 도체는 각각 +15V, -15V 및 공통접지를 위해 사용된다. 이 케이블의 실드선은 CMF, 전치증폭기 및 신호처리함의 Chassis에 접속되어 있다.

이 케이블의 공통접지선은 신호처리함의 공통접지에만 연결되고 전치증폭기에서는 접지선과 연결되지 않는다.

#### 4. 전용전선관 및 검출기 씬블(Thimble)

검출기용 고압전원공급과 신호전송용 동축케이블들은 일반 금속 전선관을 사용하여 전용으로 현장에서 신호처리함까지 연결되어 있다. 이 전용 금속전선관은 전체 길이를 따라 일정한 간격으로 접지되어 있고, 그 접지는 기기접지선에 분류되어 접속된다. 접지선의 연결방법은 금속조임쇠(Metal Clamp)등을 사용하여 접속되어 있다.

#### 5. AC 입력전원

본 계통에서 사용될 전원은 각 채널별 서로분리된 120Vac 필수교류 전원모선에서 교류전원 격리변압기 (Isolation Transformer) 및 과전류보호 차단기(Circuit Breaker)를 통하여 공급입력된다. 신호처리함내에서는 다시 전원입력부에 내장되어 있는 교류-직류 전원변환기를 거쳐 적절한 직류전원으로 변환되어 Line Filter를 통하여 검출기 및 신호처리함에 전원이 공급된다.

#### 6. 기기 접지 (Equipment Ground Bus)

각 채널의 모든 노출된 금속부 및 Chassis등은 원자로보호계통용 신호처리 캐비닛에서 # 4/0 AWG ( $107.16\text{mm}^2$ ) 구리나동선을 통하여 외함과 함께 접지되어 있다.

## 7. 시일드 접지모선 (Shield Ground Bus)

모든 시일드는 해당 캐비닛내에서 1/4" x 1"의 단면적을 갖는 Copper Bar의 절연된 시일드 접지모선에 접속되어 있다. 이는 기기접지와는 완전히 전기적으로 절연되어 있다. 이 접지모선은 # 4/0 AWG 절연케이블을 통하여 발전소 신호공용접지 (Plant Instrument Common Ground)에 접속된다.

한편, 신호처리함의 신호증폭기 전자회로를 보호하기 위한 차폐시일드는 증폭기 기준치 0 전위를 얻는 선로인 신호공통접지선에 연결하여 기기접지선과 전기적으로 서로 격리되게 연결한다. 또한, 동축케이블의 시일드선도 이 신호증폭기 시일드와 접지연결되어 있다.

## 제 3 절 잡음억제 필터

본 계통의 회로에서 이미 어떤 경로를 통해 유도된 잡음을 제거하기 위한 방법으로 잡음억제 필터인 Decoupling Filter를 사용한다. 이 필터는 전원부에서 전도되는 잡음 (Conducted Noise)를 제거하기 위한 전원선로의 필터와 신호선에서 유입되는 전도 및 방사형태로 전달된 잡음 (Conducted and Radiated Noise)를 제거하기 위한 신호처리부의 필터로 나누어진다. 이러한 필터는 일반적으로 Reactive Filter인 L-C 필터에 비해서 Passive Filter인 R-C가 보다 효과적인 것으로 보고되고 있다.

또한 잡음의 주파수 대역에 따라 10 - 150 kHz에서 Normal

Mode 형태로 전달되는 잡음은 압분자성체를 이용한 코일 (Reactance)를 이용한 필터가 효과적이고, 150 - 10,000 kHz 주파수 대역으로 Common Mode 형태로 전달되는 잡음은 Ferrite 자성체를 사용한 초-크 코일 필터가 효과적인 것으로 보고되고 있다.

최근에는 신호선에서 유입된 잡음을 제거하고 건전한 고유신호와 차별화하여 잡음을 제거하는 노이즈필터가 활발히 연구개발되고 있으며, 이러한 노이즈 필터의 개발은 본 계통과 같이 저신호선에서 발생하기 쉬운 잡음 문제를 해소하기 위한 좋은 기술적 발전이며, 본 계통의 성능향상을 위해서 반드시 기기제작자의 기기제작 설계단계에서 권고되어야 할 사항이므로 기기 구매사양서에서 반영되도록 권장된다.

#### 제 4 절 잡음억제 대책 평가 및 권장 사항

앞서 언급한 대로 영광 3,4호기에서 경험한 본 계통의 잡음 발생은 여러가지 복합적인 원인과 연쇄현상으로 나타나 건설 현장에서 이를 정확히 규명하기에는 여러가지 어려움이 있으나 대체로 다음의 원인에 의해서 발생하는 것으로 추정할 수가 있었다.

- 신호접지, 신호함과 신호선의 시일드접지 그리고 기기접지를 포함한 전체 계통의 부적절한 접지설계
- 중성자 검출기 혹은 신호케이블의 접속부에서의 습기혹은 이물질의 침입
- 특히, 형광램프, 네온램프, 용접기등과 같은 외부잡음 발생원으로부터 근접하여 신호처리함이 위치함

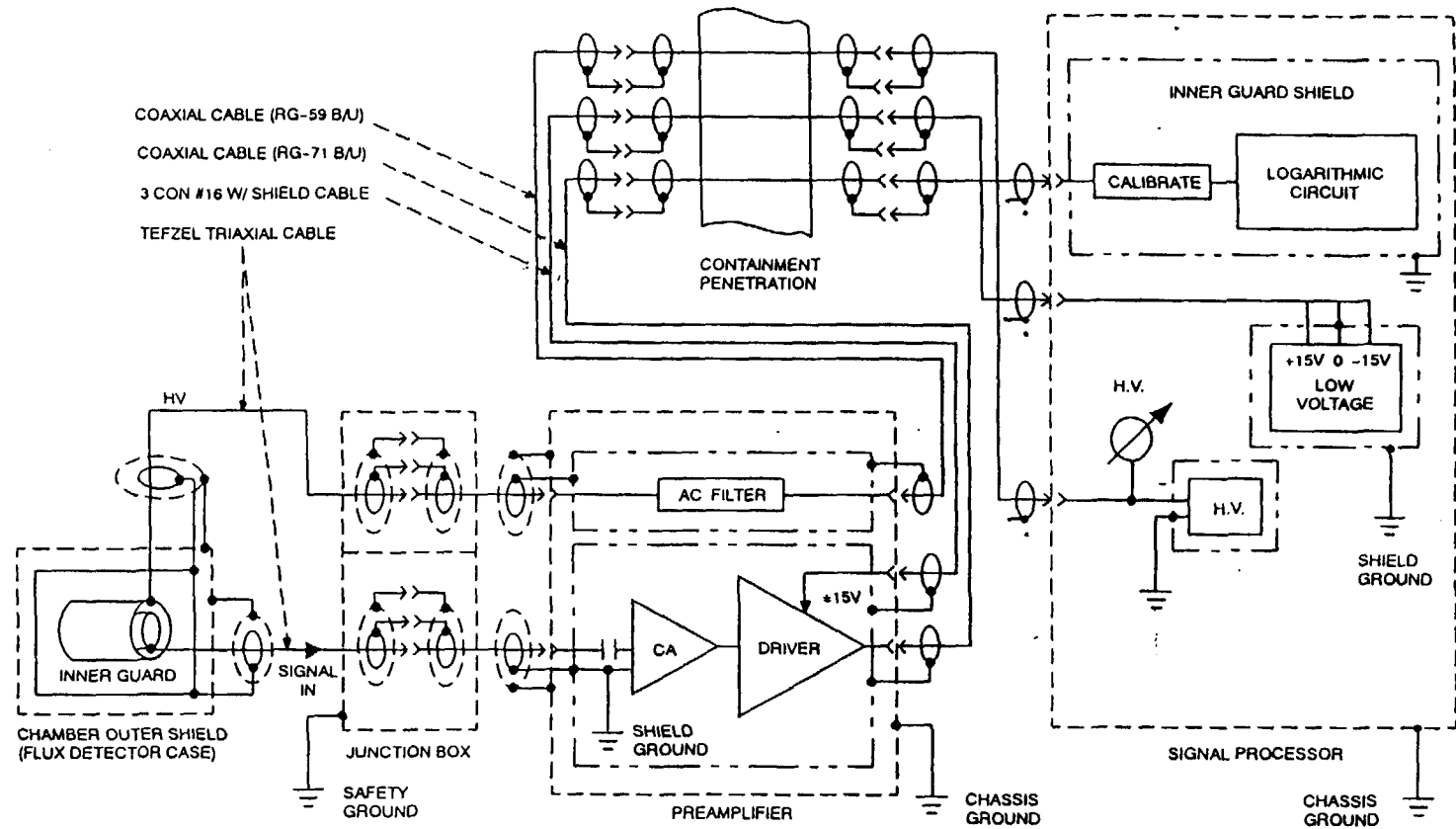
- Vital 120Vac 전원공급장치부의 부적절한 고조파 차폐설계
- 설치된 기기의 EMI 내용성에 대한 제작성능시험 및 설치후 내용 시험의 불충분함.

## 1. 접지계통 설계에 대한 평가와 권장 사항

연속적이고 크기가 일정한 신호잡음현상은 적절한 접지계통의 설계를 통하여 많은 개선효과를 거둘 수가 있다. 적절한 접지설계란 본 계통에서 신호선의 기준전위접지, 시일드선접지 그리고 기기접지에 대한 충분한 기술적인 타당성과 적절성을 말한다.

영광 3,4호기 중성자속 검출기계통의 접지계통을 검토하는 과정에서 신호선의 기준전위 접지에서 중요한 결점을 발견할 수가 있었다. 이 신호선 접지는 고전압 전원선과 신호선의 기준치 전위선이 서로 공유된 결선을 하고 있고 단일접지를 유지하지 못하고 있다. 따라서, 앞서 지적한 바와 같이 전체 선로에서 시일드선의 단일접지를 유지하기 위하여 신호처리함에서 고압/전치증폭기 전원선들의 기준전위 접지선은 외부 동축케이블의 차폐선과는 각기 연결하지 않도록 하여야 하고, 이 차폐시일드선은 검출기에서 내부차폐판과 신호선의 차폐선이 공통연결되므로 이 신호선의 시일드선을 전치증폭기에서 신호접지선과 연결이 되도록 하는 차폐시일드선의 접지연결상에 설계개선이 필요하다.

그림 11 에서 제안된 전원/신호선접지, 시일드접지 그리고 기기접지의 구성과 결선도를 보여주고 있다. 시일드선의 연결은 전체적으로 전기적인 연속성을 유지하도록 하여야 한다.



(주) : \* 표시에서 시일드선과 판넬 시일드선과의 연결 금지

[그림 11] 제안된 전원선, 시일드 및 신호선 접지 결선도

또한 3중 혹은 4중 동축케이블의 외부 시일드선은 내부 시일드선과 함께 결선이 되지 않게 해야 하고, 이 외부 시일드선은 다중접지가 허용되나 기기접지와는 서로 격리되도록 접지선 접속에서 주의가 필요하다.

또한 4중 외부시일드선과 3중 외부 시일드선의 연결은 각 케이블의 단말에서 공통연결을 해야 한다. 본 계통의 신호선과 전원선이 다른 케이블과 평행으로 가설되지 않게 하고, 평행한 다른 고압용 전선과는 IEEE Std. 518에서 규정한 일정거리 이상을 분리하여 인접한 고압용 전선로에 의한 잡음의 영향을 억제한다. 이들 신호선은 다른 신호선과 접촉을 방지하기 위하여 EMI 영향이 적은 전용의 전선관을 사용하여 외부 잡음의 영향을 없도록 해야한다. 이 전용의 전선관에 전체선로에 대하여 접지선을 설계하고 이 접지선은 기기접지선과 연결해야 한다 (시일드 접지선과 접속 금지).

## 2. Class 1E Vital 120V Bus에 대한 권장 사항

Class 1E Vital 120Vac Bus는 전원계통에서 직류전원을 인버터를 이용하여 다시 교류로 역변환한 교류파형으로, 제3 고조파를 포함한 기수의 고조파를 포함하고 있기 때문에, 본 계통의 전원부에서 이 고조파에 의하여 전도 및 유입되는 잡음신호를 근원적으로 제거해야 한다.

120Vac는 전원공급부에서 2000dc (혹은 800Vdc)로 승압후 직류로 변환되는데 이 전원부의 입력단에서 R-C 여파기에 의한 잡음 억제가 효과적이며, 부하개폐기에서 발생하는 썌어지형 잡음은 썌어지 흡수기 (Surge Absorber)를 설치하여 제거할 필요가 있다. 이 썌어지 흡수기는 모든 AC

전원계통과 120Vac의 스위칭회로에 병렬로 취부함으로써 전원부에서 발생하는 써어지성 잡음을 비록 ENFMS 뿐만 아니라, 이와 유사한 저신호 전송계통에서 발생하기 쉬운 신호잡음문제를 억제하는 효과를 가져온다.

따라서, AC 전원계통의 연계설계요건으로 제시함이 권장된다. 또한, 본 계통의 각 채널 전원은 동일한 모선에서 격리하여 수전하도록 하는 전원배치상의 설계고려도 필요하다.

### 3. 신호선과 전원선의 케이블 선정

중성자속 계측기의 신호선은 외부잡음의 차폐건전성을 향상하기 위하여 기동영역 및 출력영역용 신호선에서 신호준위와 사용용도별로 2중 (혹은 3중) 동축케이블인 95 ohm의 RG-71 B/U 를 사용하고, 신호처리함에서 시작되는 고압전원선은 동축케이블인 75 Ohm의 RG 59 B/U의 사용이 권장된다.

한편, 사고후 감시용 채널에는 전치증폭기가 격납건물밖에 위치하여 검출기에서 측정된 신호가 먼거리에 전송하는 과정에서 신호감쇄를 경감하고 차폐의 건전성을 향상하기 위하여 75 Ohm의 4중 동축케이블을 사용함이 권장된다. 이들 동축케이블은 중심도체가 신호 혹은 전원공급선이며 내부 시일드선은 방사전달되는 외부잡음을 차폐하기 위한 차폐선 역할을 하고 외부 시일드 차폐선은 1차로 외부에서 방사전도되는 외부잡음을 차폐하는 역할을 한다. 이 케이블선과 계측기의 리이드선과의 연결은 Amphenol Triaxial Connector를 사용하여 신호선과 시일드선과의 호환성을 이루고 시일드선의 전기적 연속성이 보장되고 접속부의 접촉저항이 최

소가 되도록 하고, 검출기 리이드선과 외부케이블과의 연결접속부인 Junction Box에서 관리소홀로 부식이나 외부습기에 영향을 받지 않도록 해야한다. 본 계통에서 권장되는 각 케이블을 사용목적별로 아래표에서 요약하였다.

[표 1] 중성자속 감시계통의 외부 접속케이블 선정

| Detector Channel              | Detector Type            | Used Cables             |                                                           |                                                           | Evaluation | Remarks |
|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------|---------|
|                               |                          | Detector Lead Cable     | Pre-amp to Penetration                                    | Penetration to Signal Drawer                              |            |         |
| Start-up and Control Channels | BF <sub>3</sub> Counters | Integral Triaxial Cable | Coaxial Cable<br>- Signal : RG-71 B/U<br>- HV : RG-59 B/U | Coaxial Cable<br>- Signal : RG-71 B/U<br>- HV : RG-59 B/U | Good       |         |
|                               | Ion Chambers             | Coaxial Cable           | Coaxial Cable<br>- Signal, HV : RG-59 B/U                 | Coaxial Cable<br>- Signal, HV : RG-59 B/U                 | Good       |         |
| Post-Accident Safety Channels | Fission Chambers         | Integral Triaxial Cable | 75 Ohm Quadraxial for Signal & HV (Note 1)                | Triaxial Cable for Signal and HV (Note 2)                 | Good       |         |
| Safety Channels               | Fission Chambers         | Integral Triaxial Cable | Coaxial Cable<br>- Signal : RG-71 B/U<br>- HV : RG-59 B/U | Coaxial Cable<br>- Signal : RG-71 B/U<br>- HV : RG-59 B/U | Good       |         |

Note 1 : Detector Junction Box에서 Pre-Amplifier 까지 연결용 케이블임.

Note 2 : Pre-Amplifier에서 Signal Drawer까지 연결용 케이블임.

## 제 5 절 잡음억제를 위한 고려사항

## 1. 계통설계시 고려 사항

잡음원에 의한 영향을 최소화할 수 있도록 하기 위해서 설계시에 다음 사항을 설계기본요건으로 고려한다.

- 가능하면 잡음 발생원에서 이격 설치하여 잡음원으로부터 잡음원의 영향을 최소화 하도록 한다.
- 항상 어떠한 경로를 통해서 잡음이 전달될 수 있음을 가정하여 신호처리회로 설계시 잡음에 민감하지 않도록 내부회로를 설계한다.
- 외부잡음의 경로에 이 잡음을 흡수하거나 소거하는 회로를 설계하여 내부회로에 전달되지 못하도록 설계한다.
- 측정채널을 다중화하여 하나의 채널에 잡음 영향이 있어도 다른 건전한 채널을 통하여 전체 계통의 성능에서 영향이 없도록 설계한다.

## 2. 기기 및 신호케이블의 최소 이격거리 요건

본 계통내 신호 및 검출기전원 Cable과 평행하여 포설된 주변의 고전압, 고전류의 케이블에서 발생하기 쉬운  $dV/dt$  및  $di/dt$  에 의한 전기적 및 자기적 잡음로부터 영향을 받지 않도록 하기 위하여 상호 일정거리 이상 격리되도록 해야 한다. 가능한 본 계통의 신호와 전원선은 현재의 금속전선관을 사용하는 것 보다 각기 독립적인 EMI 영향이 적은 전용의 전선로를 사용함이 권장된다. 이들 전용 전선관의 최소 이격거리

에 대한 설계요건은 참고문헌 2.1.1에 상세히 나와있다. 이에 따르면 계통 내의 고전압전원은 Level 2, 그 외의 모든 신호는 Level 1에 속하며, 이 두가지 신호는 상호 1" 만큼 분리되어야 하며, 부득이 같은 전선관 (Conduit)상에 놓여지는 경우에는 접지된 금속 격리벽으로 분리하도록 한다. 이 규제 요건을 요약하면 아래와 같다.

- 같은 채널내의 신호선과 고압전원선과의 최소 이격거리 :  
제한 없음
- 각 채널간 신호선과 고압선과의 최소 이격거리 : 3 인치
- 신호선과 주변의 고압전선 케이블 (1000Vac 이상)간의 최소  
이격거리 : 18 인치
- 기타 전원케이블과의 최소 이격거리 : 8 인치

### 3. 접지계통의 설계

#### 가. 기본설계 요건

(1). 배선에 대한 고려사항 : 신호선 및 고압전원선은 각기 3중의 동축케이블선으로 설계하여 외부에서 방사유도되는 잡음을 픽업하지 않도록 설계하여야 한다.

- 동심선 : 신호선 및 전원선으로 사용
- 내부피복시일드선 : 기준전위설정과 2차 외부잡음 차폐
- 외부피복시일드선 : 1차 외부 잡음 차폐

(2). 시일드접지 설계 : 시일드접지선은 전체 접지에서 다중접지에 의한 접지전위차로 내부순환전류가 흐르게 되어 이것이 잡음 발생의 주요원인이 되기 때문에 반드시 단일접지가 되도록 하고 접지의 연속성이 보장되어야 한다.

따라서, 검출기 외부함과의 접촉에 의한 다중접지의 발생을 근본적으로 막도록 해야한다. 또한 격납건물의 페니트레이션에서도 다중접지가 발생되지 않도록 페니트레이션의 외함과 내부격리벽과의 전기적인 접촉이 발생되지 않도록 해야 한다. 이 시일드 접지선은 발전소의 계기접지 주모선과 4/0 AWG 절연피복선으로 직접 연결하고, 계기용 접지 모선은 주기적으로 접지저항을 측정할 수 있도록 Removable Link로 연결되고 정상운전시에 이 Removable Link가 항상 Open된 상태로 있지 않도록 주의하여야 한다.

(3). 기기접지 설계 : Junction Box를 포함한 모든 패널의 외함과 검출기 외함들은 나동선의 접지선으로 접지주모선에 연결하여야 한다. 이 접지선은 케이블 트레이나, 전선관의 접지선과 공유가 가능하고 접지전위차가 없도록 가능한 일정간격 (3피트)으로 접지선과 접속이 유지되도록 해야 한다. 외함과의 접속은 Clamp Terminal 이나 다른 방법으로 접속하여 접촉저항을 줄이고 견고하게 고정되어야 한다. 또한, 이 기기접지선은 계기접지 및 시일드 접지선과 혼촉을 방지하도록 해야 한다.

#### 4. 검출기의 청결도 유지

대부분의 많은 발전소에서 경험한 바에 따르면 설치후 잡음의 발생은 중성자 검출기를 비롯한 본 계통의 기기 설치후 건설현장에서 관리소홀로 인해 전자-계측기기내에 이물질이나 습기의 침입으로 일부 전기전자부품이 부식되거나 습기에 의한 전도도 차이로 열전위차가 발생하여 내부전류가 순환되어 잡음이 발생한 경험도 많이 보고되고 있다.

따라서, 발전소 건설과정에서 소홀히 다루기 쉬운 계측기기 혹은 케이블 접속부등에서 깨끗한 환경의 청결도 유지하여 이물질의 침입은 물론이고 부식발생이나, 습기의 침입을 막도록 해야함도 잡음 발생억제를 위해서 고려해야할 중요한 요소이다.

## 5. EMI 적합성 시험 요건

### 가. 기기제작 시험

전치증폭기를 포함한 계통의 신호처리함은 잡음이 외부로 부터 유입된다는 가정하에 외부에서 전도되거나 유도된 잡음에 대한 내용력을 시험하여 설치후에 여러 원인으로 발생하는 잡음 현상에 대비해야 한다. 이 시험요건 및 절차서에 대해서 우리의 관심을 끄는 부분은 현재까지 EMI 적응성 시험요건이 미군의 군납품에 적용되고 있는 MIL Standard와는 이렇다할 규격요건이 정립되어 있지 않다는 점이다. 따라서, 대부분의 EMI 적합성 시험요건은 다음의 시험규격 요건에 근거를 두고 있다.

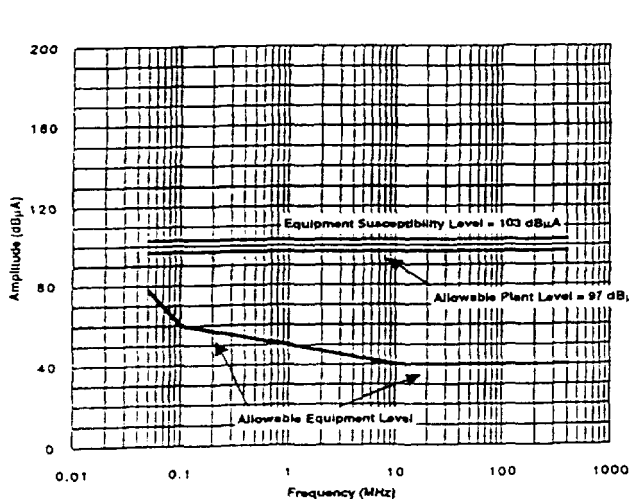
- MIL-STD-461D, 462D

\* CE102 : Conducted Emissions, power leads, 50kHz to 400 MHz

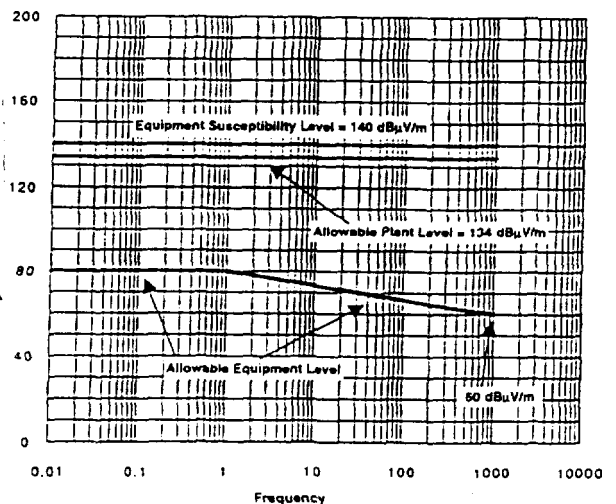
\* RE201 : Radiated Emissions, electric field, 10 kHz to 1 GHz

위 규격요건의 시험합격 기준에 의하면 EMI 내용성 공장시험을 위해서 시험환경요건은 실제 기기가 운전될 잡음환경을 고려한 실제 설치환경을 고려하여 모든 시스템구성과 케이블 접속을 한 상태에서 시험을 실시하도록 권장되고 잡음 발생원을 주파수별로 다양하게 인가하여 시험한 결과 충분한 안전 여유도를 유지해야 한다.

이 시험결과 권장되는 잡음 내용값은 그림 12 에서 보여주고 있다. 이 시험을 통해서 실제 기기가 설치된 후 전도, 방사 혹은 기타의 방법으로 전달되는 잡음 내용성에 대한 적합성이 입증되도록 요구하고 있다.



(가) 전도잡음의 내용성



(나) 유도잡음의 내용성

[그림 12] EMC 시험판정의 적용 기준치 [잡음주파수 : 50kHz - 400 MHz]

## 5. 품질 보증활동

품질보증활동은 본 계통의 설계단계에서 부터 기기제작과 기기 설치 및 시운전 전과정에 걸쳐 계통 전체의 성능보증과 잡음 발생의 근원을 제거하는 최선의 품질활동이다. 즉, 본 계통의 기기제작자와 기기설치자가 원 설계자의 의도대로 모든 생산과 건설활동을 문서화하여 이를 준수여부를 점검하고 확인하는 과정이 바로 기기설치후에 발생하는 여러가지 문제점을 사전에 제거하는 유일한 방법이기 때문이다.

따라서, 본 계통기기의 설치와 적절한 접지와 시공상의 철저한 품질관리가 병행되어 설치후에 예상되는 문제점을 예방하는 노력이 필요하다.

### 가. 기기제작 및 시공도면의 설계점검

현재와 같이 계통설계자와 기기제작자와 기기설치의 설계자가 서로 상이한 원전 설계관련업무에서 이러한 품질보증활동의 일환으로 기기제작자의 설계자료와 기기설치 (접지 및 케이블 설치포함)의 설계가 원설계자의 설계의도와 지침대로 수행되고 있는지의 여부를 확인하고 점검하는 절차도 품질보증 활동의 중요한 부분이라 할 수가 있다.

### 나. 기기제작시험결과 평가

기기제작후 기기성능을 보증할 각종시험결과에 대한 평가와 시험의

적합성에 대한 점검도 동시에 이루어져 기기공급자의 잡음의 내용성에 대한 평가도 실시되어야 한다. 이는 관련 법규에 따른 시험환경의 적합성과 인가된 외부잡음환경에 대한 평가도 포함된다.

## 6. 사용전 검사 및 예비운전시험

본 계통의 설치완료후에 원자로에 핵연료 장전이나 고온기능시험이 수행되기전에 사용전검사의 일환으로 적어도 다음과 같은 항목에 대하여 잡음 적합성검사를 실시해야 한다.

### 가. 잡음영향 측정검사

관련 계통의 기기설치후 기기공급자 혹은 관련적용 기술규격에 따라 잡음 면역성 시험을 실시한다. 적어도 잡음의 파고치와 주된 잡음요소의 주파수는 시험기록하여 기기성능을 검증받아야 한다.

### 나. 접지저항 검사

발전소 건설기간중에 접지공사의 처음 1년간은 매 2개월 마다 그리고 그 이후에는 매년 2번 정도의 접지저항을 측정하여 접지선의 부식이나 접지동선의 이음매부분이나 결선부분의 해체드으로 접지저항의 증가로 인한 접지저항특성의 변화여부를 점검해야 한다.

#### 다. 계기용 접지선과 시일드접지선의 절연파괴 검사

계기용 접지선과 시일드 접지선은 지중매설 접지모선과 주기적인 접지선의 절연시험을 수행할 수 있도록 Removing Ground Link로 연결된다. 이 피복선의 접지용 케이블과 대지간에는 10 Mohm 이상의 절연도를 유지해야 한다.

#### 라. 시일드선 접지의 다중접지 여부 점검

시일드선은 접지전위차에 의한 내부순환전류의 발생을 방지해야 하므로 중성자 검출기에서 신호처리함 에 까지 접지흔촉으로 인한 다중접지가 되지않도록 해야 한다. 따라서, 계통의 기기 및 케이블 설치후 전체 계통에서 단일 접지의 존속여부와 접지의 연속성 시험을 실시해야 한다. 또한, 중성자속 검출기와 씬블에서 접지상태와 시일드접지선의 연결이 설계치대로 유지하고 있는지에 대한 점검도 실시되어야 한다.

## 제 4 장 결 론

지금까지의 고찰을 통해서 저신호계통에서 흔히 발생하기 쉬운 전기적 잡음 현상의 원인과 그 대책을 설계단계, 시공단계와 기기제작시험단계 및 사용전 검사단계까지 검토하였다. 지금까지의 고찰을 통해서 노외중성자속 검출기계통의 잡음현상을 방지하기 위해서 다음의 사항들이 각 단계별로 유의할 점으로 요약된다. 이러한 유의할 점들은 신호잡음의 억제대책으로 요약되고, 이는 전기-전자회로의 물리적인 현상으로 발생하는 EMI 잡음은 피할 수 없는 자연적인 현상으로 귀착되어 이들 원인과 전달경로를 충분히 이해하여 보다 능동적인 원인소자와 전달경로를 관리함으로써 외부잡음의 전달을 최소화할 수 있음을 알수 있었다.

### 1. 잡음 발생원에서 억제대책

가. 가능한 잡음 발생원에 해당되는 전기/전자 기기류는 본 계통의 기기 혹은 케이블과 일정한 거리 이상으로 이격하여 방사에 의한 전달을 영향을 최소화하도록 한다. 또한, 전치증폭기 및 신호처리함은 고주파 발생원인 네온, 형광등에서 가능한 멀리 이격하여 설치한다.

나. 급속한 전압/전류 변화가 있는 스위칭회로에서는 스위칭 써어지 를 흡수하는 R-C회로를 취부하여 급격한 과도 변화를 줄이고 유도성 전기부하에서 발생된 써어지를 흡수하도록 설계함이 권장된다.

다. AC 전원계통으로 부터 전도유입되는 잡음성 잡음을 억제하기 위해서 잡음 필터 혹은 격리회로를 설계한다.

라. 고압전선 케이블은 시일드선의 피복을 갖는 케이블을 사용함이 권장되고 이 시일드선은 전 계통에서 단일접지가 유지되도록 설계함이 권장된다.

## 2. 잡음의 유도성 및 용량성 의한 전달 억제

가. 본 계통의 전원선과 신호선은 적절한 시일드 접지설계를 통해서 잡음의 픽업을 억제하도록 한다. 이 시일드접지는 전체 신호선 시일드에서 단일접지를 유지함이 중요하다. 이 시일드접지는 기기접지와는 서로 전기적으로 격리가 되어야 하고, 절연접지도선을 이용하여 발전소의 신호공통접지선에 연결되도록 해야 한다. 접지설계에 대한 권장되는 설계요건은 제 2장을 참조한다.

나. 신호선 케이블의 선정에서 검출기 신호레벨과 신호전송거리를 고려하여 측정된 신호의 감쇄를 줄이고 외부 잡음의 인가를 최소화 되도록 설계한다. 또한, 신호선과 전원선에는 EMI 내용성이 높은 재질의 전용 전선관을 사용하여 인접한 전원선로와 혼축을 방지하고 평행선로가 되지 않도록 설계한다.

다. 가능한 측정신호의 채널을 다중화가 되도록 설계하고 이 다중채널간에는 서로 전기적으로나 위치적으로 독립성을 유지하여 하나의 채널에서 잡음현상이 발생시에도 다른 건전한 채널로 선택하여 측정되도록 설계한다. 현재 설계된 2개의 Control Channel은 4개의 독립된 채널이 되도록 설계함도 권장된다.

라. 교류전원에서 유입되는 전도성 잡음을 억제할 잡음소호필터 혹은 격리변압기를 설계하여 전도성 잡음을 차단한다. 이 잡음소호 필터는 R-C 회로의 Passive한 소자를 사용함이 권장된다.

### 3. 기기제작 단계에서 고려사항

가. 기기제작설계자는 기기설치후 어떠한 원인에 의해서 항상 잡음이 발생된다는 가정하에 외부 잡음에 강인한 신호처리회로를 설계해야 한다.

나. 외부에서 유도되는 잡음에 민감한 전자회로는 내부차폐 시일드를 설계하고 이 차폐시일드의 접지가 외부함의 접지와 서로 전기적으로 절연을 유지하도록 해야 한다.

다. 접속 케이블의 단자처리에서도 중심도체인 신호선은 항상 외부의 유도성 잡음으로부터 차폐보호를 받을 수 있도록 가능한 전용의 접속단자를 사용하고 접속에서도 주의를 요한다.

라. 기기제작후 기기성능시험에서 EMI 잡음 적합성 시험을 관련 규제요건에 따라 예외없이 실시하여 EMI 건전성을 기기제작자 스스로가 보장하도록 한다.

### 4. 설치단계에서 고려사항

가. 기기설치후 이물질 침입으로 인한 부식, 습기발생등이 발생되지 않도록

철처한 사후관리와 QA 절차에 따른 기기설치상에 대한 점검유지가 필요하다. 특히, 케이블 접속부에서 Qualified Connection 을 유지하여 접촉저항증가나 이물질의 침입을 막도록 세심한 주의가 필요하다.

나. 중성자속 검출기에서 접지와 시일드접지의 연결이 설계치되로 유지하고 있는지 점검되어야 한다.

다. 기기설치후 시운전 및 예비운전단계에서 현장에서 EMI에 의한 잡음 내용성 시험을 예외없이 실시한다.

라. 접지저항의 변화를 점검하기 위하여 권장되는 주기별로 발전소 접지저항을 측정하여 접지저항의 증가로 인한 접지전위의 증가현상을 관찰하고 필요시 이에 대한 평가를 실시해야 한다.

마. 시험실시후 시험결과를 각 설계자 및 관련자들에 피이드백 시켜 향후 발전소건설을 위해 좋은 자료로 활용함이 요청된다.

[참고 문헌]

- [1] IEEE Std. 518-1982, "IEEE Guide for the Installation of Electrical Equipment to minimize Electrical Noise Inputs to Controllers from External Sources"
- [2] MIL-STD-461B, "Electromagnetic Interference Characteristic Requirements for Equipment", Apr. 1980.
- [3] MIL-STD-462, "Electromagnetic Interference Characteristics, Measurement of.", Jul. 1967.
- [4] 10487-IC-SR810, rev. 00, "Design Requirements for Ex-Core Neutron Flux Monitoring system"
- [5] 10487-IC-IR810, rev. 03, "Interface Requirements for Ex-Core Neutron Flux Monitoring System"
- [6] 10487-IC-SD810, rev. 01, "System Description for Ex-Core Neutron Flux Monitoring System"
- [7] 10487-IC-DS810, rev. 02, "Design Specification for Ex-Core Neutron Flux Monitoring System"

- [8] RDT C1-1T, "Instrumentation and Control Equipment Grounding and Shielding Practices", USAEC, Rev.0, 1973.
- [9] EPRI TR-102323, " Guidelines for Electromagnetic Interference Testing in Power Plants of Electric Power Research Institute", Sep. 1994.
- [10] W. H. Lewis, "Recommended Power and Signal grounding for Control and Computer Rooms", IEEE Trans. on IA, Vol. 1A-21, No.6, Nov/Dec, 1985.
- [11] James Cirillo and Michael Prussel, "Electromagnetic compatibility in Nuclear Power Plants", Sanders Associates, Inc.
- [12] E. P. Fowler and I. Wilson, "Recent Experience in Commissioning Neutron Flux Instrumentation with Particular Reference to the Avoidance of Electrical Interference Problems", UKAEA, UK.
- [13] R. B. Coedell, "The Relationship between MIL-Spec. and Commercial EMI Requirements", EMC/Tempest.

- [14]G. G. Champiot and J. C. Agostini, "Electromagnetic Environment in a PWR Plants", Direction Des Etudes et Recherches, EDF, France.
- [15]J. Cirillo and Michael Prussel, "Electromagnetic Compability in Nuclear Power Plants", IEEE Trans. on NS, Vol. 33, No. 1, Feb. 1986.
- [16]J. R. Oranchak, S. V. Athavale and H. C. Garg,"RFI Effects on Nuclear Power Plant I&C Equipment", Jackson, Michigan.
- [17]Sanders Associates, Inc., "Engineering Evaluation Report on PVNGS(Palo Verde Nuclear Generating Site) for ABB-CE".

| 서 지 정 보                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                  |                        |             |          |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------|-------------|----------|----------|
| 수행기관보고서번호                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 위탁<br>기관         | 보고서번호                  | 표준보고서번호     | INIS주제코드 |          |
| KAERI/RR-1544/94                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                  |                        |             |          |          |
| 제목/부제      광대역측정을 위한 노의중성자속감시계통의 개발                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                  |                        |             |          |          |
| 연구책임자 및<br>부서명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                  | 한 상준 (계측계통분야)          |             |          |          |
| 연구자 및 부서명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                  | 정 대원, 백 광일, 이 정양, 하 재홍 |             |          |          |
| 발행지                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 대전               | 발행기관                   | 한국원자력연구소    | 발행일      | 1995. 11 |
| 페이지                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 134              | 도 표                    | 유(o)   무( ) | 크 기      | 4x6 배판   |
| 참고사항                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                  |                        |             |          |          |
| 비밀여부                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 공개 (o)   비공개 ( ) |                        | 보고서 종류      | 연구 보고서   |          |
| 연구위탁기관                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                  | 계약 번호                  |             |          |          |
| 초록(300자 내외)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  |                        |             |          |          |
| <p>본 연구에서는 노의중성자속 감시계통에 대한 검출기로서 핵분열함만을 사용하고자 하였으며, 검출기의 단일화에 따르는 전체 계통에 대한 개념설계를 수행하였다. 전체 계통은 검출기, Junction Box, 광대역 증폭기 및 신호처리함으로 구성된다. 10CFR50 App.R을 만족시키기 위하여 광대역 증폭기의 기능을 KSNP에 비하여 많이 부여하였으며, 격납건물 외부에 설치하여 기기의 신뢰성 및 유지/보수가 쉽도록 설계하였다.</p> <p>한편 광대역을 실현하기 위하여 펄스계수모드 및 MSV모드에 대하여 정확히 이해하고, Calibration을 간소화하기 위한 일환으로 각 모드의 잡음에 대한 특성을 모의실험을 통하여 분석하였다. 그 결과, 3차 모멘트에 의한 방법이 MSV에 의한 것보다 약 1.5배정도 잡음안정도를 보였다.</p> <p>또한 전체 계통의 설치 및 운전시 EMI/EMC에 대하여 정보의 전전성을 유지하기 위하여 잡음해석 및 계통에 대한 분석을 하였다. 그 결과, 이들 원인과 전달경로를 충분히 이해하여 보다 능동적으로 원인소자와 전달경로를 관리함으로써 외부잡음의 전달을 최소화할 수 있음을 알 수 있었다.</p> |                  |                        |             |          |          |
| 주제명 키워드 :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                  |                        |             |          |          |
| <p>핵분열함,    광대역증폭기,    광대역측정,    잡음특성,<br/>         펄스계수모드,    MSV모드,    신호처리함,    3차모멘트,    개념설계</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                  |                        |             |          |          |

| BIBLIOGRAPH INFORMATION                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                               |                                         |                     |              |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|--------------|-----------------|
| Performing ORG.<br>Report No.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Sponsoring ORG.<br>Report No. | Standard Report<br>No.                  | INIS Subject<br>No. |              |                 |
| KAERI/RR-1544/94                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                               |                                         |                     |              |                 |
| Title/Subtitle A Study on the Excore Neutron Flux Monitoring System<br>for the Wide Range Measurement                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                               |                                         |                     |              |                 |
| Project Manager<br>and Dept.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                               | Sang Joon Han (Instrumentation Systems) |                     |              |                 |
| Researcher and Dept. D.W.Chung, K.I.Baik, J.Y.Lee, J.H.Ha                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                               |                                         |                     |              |                 |
| Pub. Place                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Daejeon                       | Pub.ORG.                                | KAERI               | Pub.date     | 1995. 11        |
| Page                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 134                           | Fig. and Tab.                           | Yes(o) No( )        | Size         | 4x6 배판          |
| Note                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                               |                                         |                     |              |                 |
| Classified                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Open(o), Outside( ),          |                                         | Class               | Report Type  | Research Report |
| Sponsoring ORG.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                               |                                         |                     | Contract No. |                 |
| Abstract (About 300 words)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                               |                                         |                     |              |                 |
| <p>This paper describes a study in which only one kind of neutron detector were used in the advanced ENFMS. The conceptual design was performed for overall system with unified fission chamber. The system consists of detector, junction box, wide-range amplifier and signal processing device. Also the requirements of 10CFR50 App.R were considered in design.</p> <p>On the other hand, through computer simulation, the characteristics of pulse-count mode and MSV mode was scrutinized and each noise withstanding capability was analyzed. The results say that 3rd moment has the more stable characteristics to background noise than MSV method.</p> <p>Also, to remain the integrity of information against noise, during installation and operation, the overall system of KSNP was analyzed from a view of noise. By administration for the cause of noise and noise-coupling paths, through the full understanding of noise characteristics, the transfer of the noise source can be minimized.</p> |                               |                                         |                     |              |                 |
| Subject Keywords (About 10 words)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                               |                                         |                     |              |                 |
| <p>Fission Chamber, Wide-Range Amplifier, noise,<br/>Wide-Range measurement, pulse-count mode, MSV mode,<br/>3rd moment, conceptual design, signal processing device</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                               |                                         |                     |              |                 |