

KALIMER 노심유로폐쇄 탐지계통 구조 개발

Development of Architecture for the Detection System of Core Flow Blockage in KALIMER

성승환, 허섭, 위명환, 김동훈, 김성오
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

액체금속로(KALIMER)에서는 손상된 핵연료봉의 파편이나 일차냉각 계통에 잔류하던 이물질(foreign materials)이 각 유로가 분리된 집합체 내로 유입되어 집합체 내의 부수로가 폐쇄되는 현상이 발생할 수 있다. 폐쇄 현상이 발생하면 핵연료 집합체 내에서 열제거 불균형으로 인하여 핵연료가 손상되고 노심 손상 사고로 발전할 수 있다. 노심 유로폐쇄 발생 시 이를 조기에 탐지하여 사고를 막을 수 있는 탐지계통의 개발이 요구된다.

본 논문에서는 노심유로폐쇄의 물리적 현상 분석을 통하여 핵연료 손상으로 인한 가스와 핵연료 물질, 국부적 또는 총체적 비등 현상, 유로폐쇄에 따른 온도 변동을 KALIMER 노심유로폐쇄 탐지계통의 탐지대상으로 설정하고, 이들의 감지 수단으로 가스 태그, 지연 중성자 검출기, 음향 계측기 및 열전대를 각각 선정하였다. 감지수단 중 온도와 음향 감지에 대한 세부기법을 분석하여 노심유로폐쇄 탐지계통의 기능요건을 도출하고, 탐지계통의 기능을 보호와 감시 기능으로 분류하여 감지기법을 할당함으로써 노심유로폐쇄 탐지계통의 예비 구조를 개발하였다.

Abstract

Flow blockage of subassembly in the Korea Advanced Liquid Metal Reactor (KALIMER) can be occurred by fragments from failed fuel or foreign materials left in

primary coolant system. Flow blockage of subassembly may cause failure of fuel and eventually core damage accident. Therefore, the development of Flow Blockage Detection System is required for the protection of core damage accidents by early detection of flow blockage

In this paper, gas and materials from failed fuel, local and gross boiling phenomena and temperature change due to flow blockage are established as the detection sources for the detection system by the analysis of physical phenomena, and gas tag, delayed neutron detector, acoustic detector, thermocouple are selected for the detection means of each source. After analysis of detection methodology based on temperature and acoustic, the preliminary architecture is established through the extraction of functional and detection requirements and the classification of function with protection and monitoring.

1. 서론

액체금속로는 핵연료봉 번들 (bundle)이 조밀하며 출력밀도가 높기 때문에 손상된 핵연료봉의 파편이나 일차냉각 계통에 잔류하던 이물질(foreign materials)이 각 유로가 분리된 집합체 내로 유입되어 집합체 내의 부수로가 폐쇄되는 현상이 발생할 수 있다. 폐쇄 현상이 발생하면 핵연료 집합체 내에서 열제거 불균형으로 인하여 핵연료가 손상되고 이를 중지시키지 못하면 소듐의 비등(boiling)과 함께 전체 노심 손상의 사고로 발전할 수 있다.^[1] 따라서 노심 유로폐쇄 발생 시 이를 조기에 탐지하여 사고를 막을 수 있는 탐지 계통의 개발이 요구된다.

현재 탐지방안의 개발을 위한 연구가 많이 진행되고 있으나, 대부분의 경우 실험에 의한 특성 파악 정도였으며 적용 사례의 경우에도 보호계통을 위한 단순 감지 개념만을 수용하고 있어 감시 및 진단 개념을 포함한 종합적인 개념 개발이 미진한 실정이다. 국내의 경우에는 폐쇄 현상과 사고전개 과정의 파악을 위한 연구는 계속되어 왔으나 실제적인 감지수단의 연구와 적용에 대한 연구는 미미한 상태이다. 따라서 본 연구를 통하여 KALIMER의 안전성뿐만 아니라 노심손상 방지에 의한 경제성 제고를 위해서 노심유로 폐쇄 현상을 탐지할 수 있는 실제적이고 종합적인 감지방안 및 계통의 예비 구조를 개발

하였다.

노심 유로폐쇄 탐지를 위해서는 먼저 발생 원인에 따른 물리적 특성과 탐지 대상을 파악하고, 각 탐지 대상을 위한 감지수단과 감지기법에 대한 특성 및 기술 분석이 수행되었다. 이에 근거하여 탐지시스템의 기능을 설정하고, 각 기능별로 적절한 감지기법에 대한 요건을 추출하여 탐지시스템의 예비 구조를 설정하였다. 즉, 본 연구에서는 탐지구조개발을 위하여 노심유로폐쇄의 형성 메커니즘을 파악하고 탐지 대상을 분석하여 감지수단을 선정하고 각 감지수단에 대한 특성과 처리기법을 분석하여 유로폐쇄 탐지시스템의 구조를 예비 설정하였다.

2. 노심유로폐쇄 탐지대상 및 감지수단

노심유로폐쇄 탐지시스템의 구조 설정을 위하여 그 발생 원인을 파악하고 각 원인에 따른 형성과정을 파악하였으며, 감지기의 적용성 분석을 통하여 감지수단을 설정하였다.

2.1 형성 원인 및 물리적 탐지 대상^{[1][2]}

일반적으로 액체금속로는 출력밀도가 높고 집합체 내부의 핵연료봉이 매우 조밀하게 구성되어 있기 때문에 핵연료 손상 등에 의한 노심유로폐쇄 현상의 발생 확률이 높을 뿐만 아니라 설계기준사고 이상의 사고유형이 존재한다. 집합체내에서의 유로폐쇄 형성 원인은 크게 입자 축적에 의한 폐쇄와 부수로의 기하학적 변형에 의한 것으로 크게 분류되었다. 먼저 입자축적에 의한 폐쇄는 폐쇄를 유발한 입자의 발생 원인에 따라 제작 설치상의 실수로 인하여 원자로 초기 운전 이전에 이미 존재하는 집합체의 결함이 있을 수 있으며, 또한 원자로 운전 중에 피복재 손상 등에 의해서 발생하는 결함, 마지막으로 설치 제작상의 오류로 일차계통 유로 내에 존재하던 입자나 물체가 노심 유로를 폐쇄하는 경우로 분류할 수 있다.

두 번째로 부수로의 기하학적 변형에 의한 것으로 핵연료의 온도 구배나 불균일한 피복재 재질로 인하여 피복재가 팽윤(swelling)되면 냉각 성능의 감소나 불규칙한 온도분포를 유발하는 냉각 채널의 폐쇄 또는 형상 변형이 발생할 수 있는 것으로 알려져 있다. 그림 1에 노심유로폐쇄의 형성원인 및 그 전개과정이 나타나 있으며, 형성원인은 부수로의 기하학적 변형, 핵연료 손상 및 이물질의 축적으로 분류하여 각각의 전개 과정에 따라 물

리적 탐지대상을 분석하였다.

물리적 탐지 대상을 정리하여 보면, 부수로의 기하학적 변형은 초기에 구조물의 진동과 유로형상의 변형을 초래하고 국부적 폐쇄로 전개되어 비등을 가져오며, 핵연료봉의 팽윤, 파단, 균열 등에 의한 핵연료피복재 손상은 핵연료 가스 방출과 물질의 누출로 국부적 폐쇄에 의한 비등을 초래한다. 그리고 유입되는 입자 등에 의한 이물질은 유로입구에 축적되어 집합체의 총체적 폐쇄를 유발하고 핵연료봉의 파손과 비등을 동반한다. 따라서 노심 유로폐쇄 여부를 판단하기 위해서는 전개과정에서 발생하는 구조물의 진동, 소듐의 비등, 집합체 내부의 온도 및 유량 변화 현상과 핵연료 누출 물질을 탐지해야 하는 것으로 분석되었다.

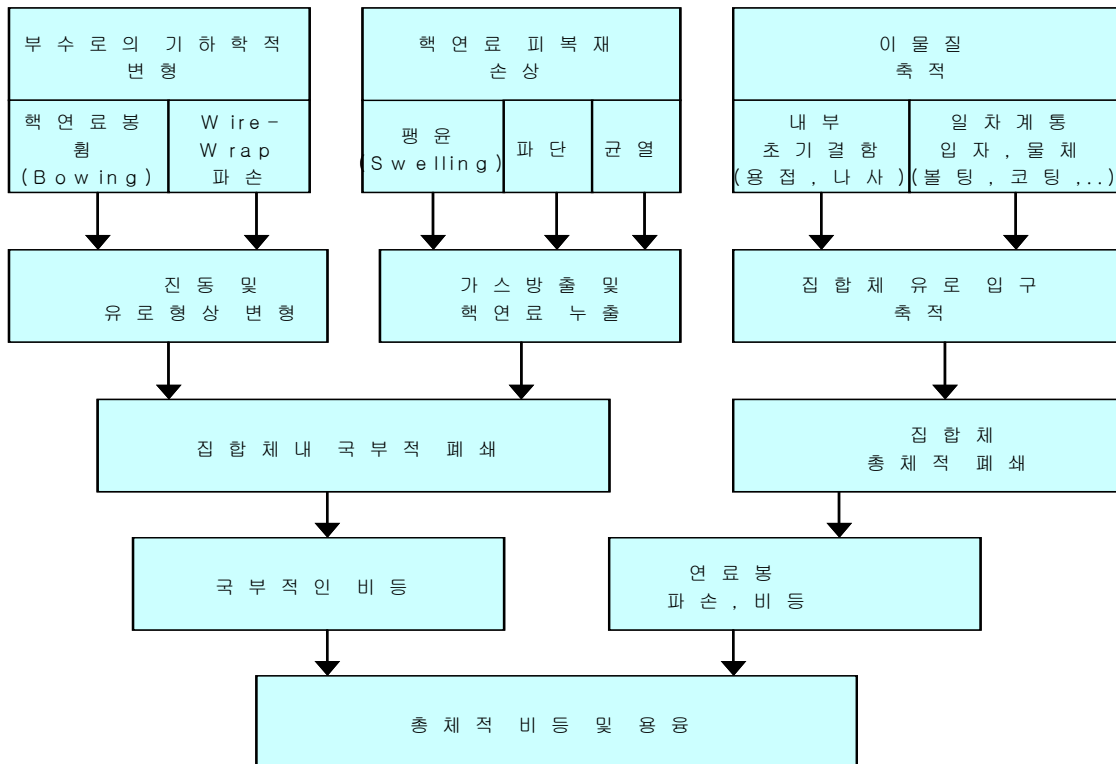


그림 1. 노심유로폐쇄 형성원인 및 전개과정

2.2 감지수단

진동, 비등, 온도변화, 핵연료 물질 등을 탐지하기 위해서는 이들의 발생과 변화를 인식

할 수 있고 또한 액체금속로에서 적용 가능하다고 판단되는 감지수단을 분석하였다. 먼저 진동현상의 감지수단은 음향계측기와 초음파계측기가 주로 이용되고 있다. 경수로에서 내부구조물진동감시계통으로 적용된 예가 있으나, 액체금속로는 구조물이 복잡하고 유로의 변형에 의한 진동이 미약하기 때문에 정상적인 구조물의 진동과의 구별이 매우 힘들어 적용 가능성이 희박할 것으로 판별되었다.

두 번째로 핵연료 누출 감지를 위하여 가스 태그(tag)와 지연중성자 검출기에 분석하였다. 현재 액체금속로에서 많이 적용하고 있으며 그 예로 CRBRP의 핵연료손상감시계통, PRISM의 지연중성자감시계통 및 CDFR의 원자로정지계통 등 노심손상사고에 대비한 기능 등 여러 플랜트에서 적용되었으며 핵연료 손상에 의한 초기단계부터 폐쇄가 진행되는 전 과정에 걸쳐 탐지가 가능한 것으로 판별되었다.

세 번째로 소듐 비등에 의한 기포의 생성과 소멸시 발생하는 음향신호를 감지하는 음향계측기의 사용이 고려되었다. 현재 CDFR의 원자로정지계통 등 대부분의 액체금속로에 적용됐거나 적용을 고려하고 있으며, 국부적 또는 소규모 폐쇄에 대한 조기감지 기능으로 적용성이 뛰어난 것으로 분석되었다.

네 번째로 노심 손상에 대한 일반적인 방식인 온도 변화에 의한 감지 방안을 분석하였다. 온도변화에 대한 감지는 경수로, 액체금속로 등에서 일반적으로 이용되는 열전대로써 감지 가능하며, 여러 위치에 설치된 열전대의 평균온도를 측정하고 해당 출력에 대하여 기 설정된 온도와의 편차를 비교하는 평균온도 비교에 의한 감지는 액체금속로 대부분이 적용하고 있다. 또한, 평균온도 감지기법의 응답시간과 정밀도의 문제점을 보완하기 위한 통계적 분석에 의한 온도 감지기법이 연구되고 있으며 이는 온도신호의 분포와 특성을 분석함으로써 조기감지와 정밀성 및 진단기능 등 기능이 뛰어나 적용시 많은 장점을 갖는 것으로 분석되었다.

위의 감지 수단 중에서 핵연료 누출 감지를 위한 가스 태그와 지연 중성자 검출 방식은 있는 그대로 태그 가스와 지연 중성자를 측정하는 방법이며, 현재 대부분의 액체금속로에서 적용하고 있으므로 별 다른 연구를 수행하지 않았으며, 현재 여러 가지 방안이 연구되고 있는 비등에 의한 음향 신호 측정과 열전대를 이용한 온도 측정 방식에 대한 세부적인 분석을 다음 장에서 수행하였다.

3. 노심유로폐쇄 온도 및 음향 감지 기법

노심유로폐쇄를 탐지하기 위한 기법 중에서 현재 연구 중인 음향 신호 측정과 온도 측정 기법에 대해 상세히 기술하면 다음과 같다.

3.1 온도 감지기법

노심유로폐쇄 탐지를 위한 온도감지 기법은 집합체 출구의 단순 평균온도 측정에 의한 방법과 온도 변동의 통계학적 분석에 의한 판정기법으로 크게 분류할 수 있다. 먼저 현재 개발된 평균 온도 측정 기법은 정상조건시의 출력에 따른 평균 온도를 데이터베이스로 보유하고, 원자로 운전시 해당 출력에 따른 실제 온도변화와 평균온도 변화의 차이를 비교하여 그 차이가 일정 값 이상이면 폐쇄 발생으로 판정하는 방안이 연구 중이다. 기존의 열전대를 이용한 단순 온도 측정에 의한 감지기법으로서, 폐쇄 여부에 대한 확실한 판정을 제공할 수 있으나 다른 연구 결과를 보면 60% 이상의 폐쇄가 진행되어야 감지가 가능한 것으로 분석되었다. 따라서 조기감지에 의한 노심손상의 방지 방안으로는 부적절하고 사고 방지 및 완화를 위한 보호목적으로 이용 가능하다.

두 번째로 통계적 분석 기법을 이용한 온도 감지 기법은 평균온도 감지기법의 단순 온도 측정으로 발생하는 응답성에 대한 문제점을 해결하기 위하여 온도의 분포와 변화를 통계학적 기법으로 분석하여 조기감지 뿐만 아니라 발생위치 판단 등의 진단기능에도 이용하기 위한 기법이다. 이러한 통계적 기법은 입력된 온도 신호의 평균제곱근(root mean square : RMS), 전력스펙트럼밀도, 확률밀도, 자기 및 상호 상관관계, 왜곡도, 첨도 등의 통계적 요소를 계산하여 결정된 판정논리에 따라 폐쇄여부를 판단하는 방법이다. 또한, 이들 요소들의 특성과 관계성을 학습기법에 의하여 추론 및 추적하는 ALN (Adaptive Learning Network) 기법도 이용되고 있다. 통계적 기법의 핵심은 폐쇄가 없을 때의 배경 잡음 신호와 폐쇄가 존재할 때의 온도 신호를 얼마나 잘 식별할 수 있느냐 하는 것으로서, 유로폐쇄 상태에 따른 신호의 특성 파악이 선행되어야 한다.^{[3][4][5]} 참고 문헌에 나타난 바와 같이 온도 신호의 RMS, 스펙트럼 밀도 등이 구해지면 여러 가지 통계적 기법의 적용이 가능하다. 특히 현재 연구 중인 기법으로는 유로폐쇄의 존재 유무는 정상상태와 이상상태의 통계학적 비교에 의하여 판정하는 것으로 온도신호 특성 분석에 의하여 배경

잡음과 폐쇄 신호를 구별하고 폐쇄시의 RMS 값, 전력 스펙트럼 밀도의 크기 등을 설정함으로써 판정할 수 있다. 그밖에 독일에서 적용한 k-value 기법, 여러 국가에서 적용성을 검토하고 있는 왜곡도를 이용한 판정기법 및 자동결정 프로세스를 이용하는 ALN 기법이 등이 있으며 이를 비교 분석하여 KALIMER 노심유로폐쇄 탐지 계통에 적용 가능한 방법을 판별하였다. 먼저 독일에서 개발된 k-value 기법은 다음과 같다.^[6] KfK/IRE의 KNS 169 핵연료봉 변들에서 폐쇄 실험을, KNK II에서 온도계측의 신뢰성을 시험한 기법으로, k-value는 온도요동에 대한 RMS 값을 집합체 입구와 출구간의 온도 상승으로 정규화한 것이다.

$$k = \frac{\sigma}{\Delta T} \quad (\sigma : \text{RMS 값}, \Delta T : \text{냉각재 온도 증가분})$$

이 방법에 의하면 10% 이상의 폐쇄를 감지할 수 있으며, 일부 소듐 비등 현상도 감지할 수 있는 것으로 연구되었다. 이 방법은 노형에 관련성이 큰 것으로 판정되어 충분한 실험이 진행되기 전에는 KALIMER에서 채택하고 추후 진단 기능의 일부로 확장을 고려하고 있다.

두 번째로 온도 신호 측정값의 왜곡도를 이용하는 기법이 있다.^[7] 왜곡도 기법은 통계 처리 기법 중에서 신호 분포의 왜곡도를 비교 평가하여 폐쇄의 크기와 위치를 파악할 수 있는 판정기법이다. 폐쇄 지역이 작은 경우, 폐쇄 지역은 고온 성분을, 나머지 부분은 평균 이하의 온도 분포를 갖게 되므로 측정 신호의 왜곡 현상이 발생하게 되고 이를 근거로 유로폐쇄 현상을 탐지하는 기법이다. 왜곡도는 다음 식과 같이 정의되며 일반적으로 널리 사용되는 통계 기법이므로 확신도의 값으로 환산하여 노형에 무관하게 적용이 가능할 것으로 판단되어 KALIMER 탐지계통의 일부로 채택하였다.

$$\text{왜곡도} = \frac{\int T^3 p(T) dT}{\sigma_T^3} \quad (p(T) : \text{확률밀도함수}, \sigma_T : \text{RMS 값})$$

세 번째로 ALN(Adaptive Learning Network) 기법으로 ALN은 평균, RMS 값 등의 여러 통계적 변수들의 관계 함수로 목표 값 (즉, 폐쇄 크기)에 대한 적합성을 찾는 자동결정 프로세싱 기법이다.^[8] 알고 있는 이력 데이터를 이용하여 관계 특성과 결정 프로세싱을 학습 및 훈련한 후, 실제 적용시 모르는 데이터가 목표 값에 얼마나 접근했는가를 판정한다. 이는 많은 학습 자료가 요구되는 관계로 현재는 채택하지 않으며 추후 연구를

좀 더 진행된 후에 판별한다.

3.2 음향감지 기법^{[9][10][11][12]}

온도감지 기법과 마찬가지로 음향소음 기법도 배경잡음과 비등 신호에 대한 특성을 명확하게 파악하고 이를 판별하는 기술이 핵심으로서, 먼저 신호 특성을 파악해야 한다. 하지만 음향 신호는 노형과 핵연료 집합체의 구조 및 구성물에 민감하게 변화한다. 현재 KALIMER의 노심 비등현상에 의한 음향신호 데이터의 획득이 불가능하기 때문에, IAEA가 주체가 되어 1980년대에 수행된 “소듐 비등잡음 감지를 위한 신호처리기술”을 통하여 제시된 독일의 소듐 비등 실험로인 KNS와 러시아의 BOR-60의 실험 데이터를 이용한 신호특성과 처리기법의 분석을 통하여 KALIMER 노심유로폐쇄 탐지 계통으로의 적용성을 분석하였다.

음향 신호의 일반적인 특성을 살펴보면, 날카롭고 큰 진폭을 갖는 펄스들이 비등에 의한 기포의 소멸 현상을 나타내는 중요한 부분으로 비등에 의한 신호는 강한 고주파 성분의 전력 스펙트럼 밀도를 가지므로 저주파 성분의 배경 잡음과는 구별 될 수 있다. 이러한 신호의 처리를 위하여 다음과 같은 대표적인 기법들이 있으며 이 중에서 KALIMER 노심유로폐쇄 탐지계통에 적용 가능한 기법을 판별하였다.

먼저 측정신호의 배경 잡음과 목표 신호를 구별하기 위하여 신호를 이중 제공하는 기법이 있다. 이는 비등신호의 고주파 성분을 추출하기 위하여 고 대역 통과 필터 이용하여 배경잡음을 제한하는 방법으로 필터를 통하여 배경잡음을 줄인 후 제곱회로를 이용하여 비등 신호의 임펄스 특성을 강조하는 기법이다. 신호의 제곱은 비선형 특성을 갖지만, 첨두 성분을 강조함으로써 배경잡음과의 식별이 뚜렷해지고, 강조된 신호를 비등 감지 결정 논리로 입력되며, 처리기법이 단순하여 실시간 적용성이 좋다.

두 번째로 온도 감지에서와 마찬가지로 ANL 기법이 있다. 온도감지 기법에서 기술한 기법과 동일하며, 특성 변수로는 평균, 왜곡도, 첨도 및 저 신호 계수가 이용된다. ANL 기법은 모델 구조 설과 강력한 계산 능력이 요구되는 복잡한 기법이나 다른 기법에 비해 비등현상에 대한 식별 성능이 뛰어나지만, 온도 감지와 마찬가지로 충분한 선행 연구 및 실험 자료가 확보되어야만 그 정확성을 보증할 수 있어 현 유로폐쇄탐지계통에서 채택하지 않고 진단 계통의 확장 가능성은 추후 연구를 통하여 판단할 것이다.

세 번째로 정규화 분산 k 기법이 있다. 이는 독일의 KNS 데이터를 이용하여 주어진 설정치 이상에서의 펄스 계수율, 펄스 에너지 등의 여러 가지 특성 분석 결과, 신호의 분산 값을 평균값으로 정규화 시켰을 때 비등 발생을 가장 효과적으로 식별 할 수 있다는 분석 결과에 의하여 제안된 기법이나 긴 처리시간이 요구되어 현재 채택하지 않고 추후 진단 기능의 후보 방안으로 설정하였다.

4. KALIMER 노심유로폐쇄 탐지시스템의 예비 구조 설정

2장과 3장의 분석을 바탕으로 탐지시스템의 기능과 감지요건을 분류 및 추출하여 탐지시스템의 예비 구조를 설정하였다.

4.1 탐지시스템의 기능 및 감지요건

노심유로폐쇄 탐지시스템은 폐쇄의 발생 시기, 폐쇄의 정도 및 감지의 신뢰성에 따라 원자로 정지를 위한 플랜트 보호기능과 운전제한을 위한 경고, 진단 등의 감시 기능으로 분류할 수 있다. 감지변수는 설정 치에 의하여 분류된 동일변수나 특성이 다른 감지변수에 의하여 보호 또는 감시기능에 적용되어야 하므로 대표적인 보호와 감시기능을 포함한 전체적인 노심유로폐쇄 탐지시스템의 기능 및 탐지 요건의 주요한 내용은 다음과 같다.

- 노심 손상 사고 방지 → 경보 발생 및 플랜트 정지 신호 제공
- 노심유로폐쇄에 대한 위치, 크기, 원인 등의 진단 기능 제공 (추후 고려사항)
- 노심유로폐쇄 탐지시스템의 탐지기능은 폐쇄발생 및 진행에 따른 전 과정을 감시
- 온도감지를 위한 열전대의 시정수는 30 msec 이내 (온도 통계 처리용)
- 핵연료 다발 출구로부터 온도 감지기까지의 거리는 가능하면 50cm 이하

4.2 탐지시스템 예비 구조

KALIMER 노심유로폐쇄 탐지시스템의 구조는 탐지대상 선정과 그에 따른 감지수단 및 처리 기법의 설정, 그리고 계통 적용을 위한 기능 분류와 설계개념의 정립을 통하여 설정되었다. 설정된 노심유로폐쇄 탐지시스템은 보호와 감시 및 진단을 위한 종합적인 탐지체계를 갖도록 설정

되었다. 현재 설정된 전체적인 예비 구조는 그림 4와 같으며 그림에서 점선으로 표시된 부분은 현재 구조 설정에는 채택되지 않았으나 추후 연구를 통하여 진단 기능으로의 확장성을 고려한 항목을 의미한다.

(1) 탐지 대상

2장에 기술한 물리적 탐지대상의 분석 결과에 따라 노심유로폐쇄 탐지계통은 핵연료 물질, 온도변동 및 비등현상을 탐지대상으로 한다. 핵연료 물질은 노심손상에 의해 발생하는 핵연료 방출가스와 핵연료 누출물을 포함하며 온도변동은 국부적, 총체적 폐쇄로 인한 소듐 냉각제의 온도변화를 대상으로 한다. 비등현상은 주로 국부적 폐쇄에 의한 소듐의 비등현상 탐지를 그 대상으로 한다.

(2) 감지수단 및 감지기법

핵연료 물질의 감지수단은 일반적으로 이용되고 있는 지연 중성자 검출기와 가스태그를 적용하였다. 지연 중성자 검출기는 선행 핵에 의한 지연중성자를 검출할 수 있는 수단이며, 가스태그는 핵분열 방출가스를 검출하는 수단이다. 온도변화의 감지수단은 빠른 시정수를 가진 열전대를 이용하며 감지기법에 따라 목적을 분류하였다. 평균온도를 측정하는 기법을 수용한 기능은 폐쇄사고 진전 또는 입구폐쇄와 같은 대규모 폐쇄시 원자로 정지 등의 보호계통 입력 수단으로 적용되며, 정밀성과 응답성이 좋은 통계적 기법을 적용한 기능은 그 특성에 따라 보호, 감시 및 진단용으로 분류하였다. 현재까지는 RMS 값이나 전력 스펙트럼 밀도, 왜곡도 등은 결정논리가 명확하고 신뢰성을 가지므로 폐쇄의 탐지시기에 따라 감시계통 또는 보호계통 목적으로 적용되도록 구조를 설정하였다. 비등현상의 감지수단은 음향계측기를 적용하며 온도감지 기법과 마찬가지로 기법에 따라 분류하였다. RMS 값이나 전력 스펙트럼 밀도 등은 온도감지 기법과 유사하게 이용 가능하고 추후 온도 감지와 비등 감지 모두 초기 폐쇄 사건을 감지할 수 있고 그 크기 및 위치가 판별 가능할 것으로 ANL, 정규화 분산 k , 패턴인식 등과 같은 분석 기법은 진단 기능으로 추후 채택할 예정이다. 이러한 기법은 충분한 실험과 선행 연구가 우선되어야 하므로 추후 그 적용 가능성 및 진단 알고리즘 개발이후에 채택하고자 한다. 즉, 이들 감지기법에 대한 최종 선택은 KALIMER의 폐쇄 신호특성 분석에 따라 결정될 것이다.

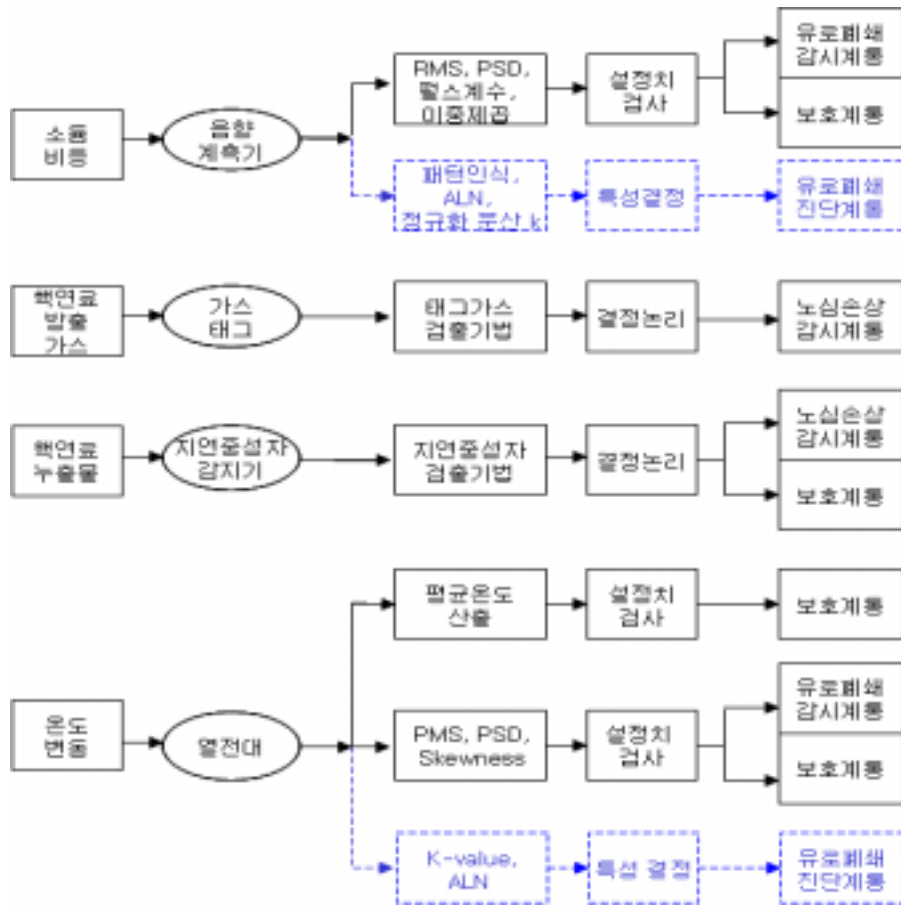


그림 2 KALIMER 노심유로폐쇄 탐지계통 예비 구조

5. 결 론

액체금속로는 핵연료봉 번들(bundle)이 경수로에 비하여 조밀하며 출력밀도가 높기 때문에 노심유로폐쇄가 발생할 가능성이 높으며 이로 인해 핵연료 손상 및 노심 손상 사고가 발생할 수도 있다. 따라서 노심 유로폐쇄 발생시 이를 조기에 탐지하여 사고를 막을 수 있는 탐지계통의 개발이 요구된다.

본 논문에서는 기존의 연구를 바탕으로 하여, KALIMER 노심유로폐쇄 탐지계통을 위한 탐지계통의 예비 구조를 개발하였다. 탐지계통의 구조 개발을 위하여 먼저, 노심유로폐쇄의 형성 메커니즘을 파악하고 탐지 대상을 분석하여 감지수단을 선정하고 각 감지수단에 대한 특성과 처리기법을 분석하고, 탐지 대상에 따른 감지 방법을 종합하여 전체적

인 탐지 구조를 설정하였다. 노심유로폐쇄는 구조물의 변형, 핵연료의 손상 및 이물질의 축적이 그 원인이며 이를 탐지하기 위해서는 핵연료 누출물과 온도변화 및 비등현상을 감지할 수 있어야 하므로 그 감지수단으로는 지연중성자 검출기, 가스태그, 열전대, 음향 계측기 등이 적용 가능한 것으로 판단되었다.

현재까지 개발되고 연구 중인 여러 기법들 중에서 KALIMER 노심유로폐쇄에 적용 가능한 방법을 선정하고 관련 기능 요건을 도출하고 이에 근거하여 노심유로폐쇄 탐지시스템의 예비 구조를 개발하였다. 본 연구를 통하여 선정된 감지수단과 기법, 탐지요건 및 구조는 추후 수행될 신호특성 분석과 상세기법의 설계를 통하여 KALIMER 노심유로폐쇄 탐지시스템의 기본 설계 구조로 활용될 수 있을 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업 일환으로 수행되었다.

참고 문헌

- [1] 권영민, 정관성, 한도희, "KALIMER의 국부 집합체손상사고 분석", 한국원자력연구소, KAERI/TR-1659/2000, 2000
- [2] D.G. Roychowdhury et al., "Design Approach to Local Blockages", Indira Ghandi Center for Atomic Research, 1991
- [3] K. Haga et al., "Experiments on Local Core Anomaly Detection by Fluctuations of Temperature and Flow Rate at LMFBR Fuel Subassembly Outlets", PNC, 1981
- [4] T. Sekiya et al., "A Study on Detection of Temperature Fluctuation Caused by Local Flow Blockage in 37-Pin Bundle", Osaka University, 1985
- [5] C.P. Greef et al., "The Detection of Coolant Blockages - Problems and Possibilities", Berkely Nuclear Laboratories, 1976

- [6] L. Krebs, G. Weinkotz, "Survey on the German Research Programme for Blockage Detection Within LMFBR Fuel Elements by Measurements and Analysis of Temperature Fluctuations at the Coolant Outlet", IAEA Special Meeting, 1984
- [7] E. Ohlmer, D.Schwalm, "LMFBR-Subassembly Fault Detection and Identification by Temperature Noise Analysis", Italy, 1976
- [8] G. Hughes et al., "STATEN Prediction in a CDFR Subassembly and the Use of Simulated Outlet Temperatures to Test Decision-Making Techniques", Berkely Nuclear Laboratories, 1985
- [9] IAEA, "Signal Processing Techniques for Sodium Boiling Noise Detection", Final Report and Proceedings of a Co-ordinated Research Programme, 1989
- [10] Y. Shinohara, K. Watanabe, "Interim Report on the Result of the Sodium Boiling Detection Benchmark Test", JAERI, 1984
- [11] H. Mauersberger et al., "IWGFR Benchmark Test on Sodium Boiling Noise Detection, Stage 3:Confidence Level Analysis Using BOR-60 Data", Rossendorf, 1986
- [12] R. Rowley et al., "IWGFR Benchmark Test on Signal Processing for Boiling Noise Detection, Stage 2 : Analysis of Data from BOR-60", Risley Nuclear Power Development Lab., 1985