

원전 다수구 배출을 고려한 방사선감시기 배출치 설정식 도출 The Typical Alarm Set Point Formula of RMS considered Several Discharge Streams in NPPs

성기방 남용재 김성한 노명섭
KHNP NETEC, 대전 유성구 사서함 149 kbsung@khnp.co.kr

1. 서론

가동원전에는 10년 주기로 안전성평가(PSR)를 시행 중에 있어서 주기적으로 안전을 확인하고 안전 증진사항을 도출하여 개선하므로써 안전성 향상을 더욱 도모하고 있다. 국내원전 PSR의 방사선분야 안전성 개선사항은 ICRP60 권고 및 고시를 반영한 RMS의 방사성물질 배출제한값 변경을 검토하는 것이다. 이를 위해 원전 방사선감시기에 대한 FSAR 설계개념 및 SRP 심사지침등을 검토후 배출치 설정식을 도출해 봄으로서 방사선 배출감시측면의 안전성을 확인하고자 하였고, 배출감시기의 운영방식이 1주일 측정값 대신 분 측정단위로 운영하고 있어서 보수적임을 제시하였다.

2. 본론

2.1 방사선감시기 기능

원전 1차 계통수에는 핵분열생성물과 방사화 부식 생성물이 포함되어 있어서 방사능의 농도가 자연 준위보다 높다. 이로인해 계통수 누설시 원전 운전원은 방사선감시기의 측정값 변화로부터 누설증상을 인지할 수 있으며, 누설을 감시하는 방사선감시기는 설정기준 이상에서 경보를 제공하여 원전의 안전운전을 증대시킨다. 그 외 방사선구역의 공기에 포함된 방사성물질의 변동을 감시하여 작업자 피폭을 예방하고, 발전소 외부로 배출되는 유출물의 방사능농도를 철저히 감시하여 방사성물질의 환경 배출을 최소화(ALARA) 한다.

2.2 방사선감시기 구분

방사선감시기의 명칭은 측정시료, 대상 및 감시목적에 따라 구분되며, 설정치 도출 배경의 이해를 돕고자 다음에 기술하였다.

가. 시료 명칭

공기중 방사성물질은 불활성기체(Noble Gas), 옥소(Iodine) 및 미립자(Particle)의 혼합상태이므로, 활성탄 필터 등을 이용하여 분리한 후 측정하는데, 시료명칭에 따라 각각 옥소, 미립자 및 기체감시기로 구분한다.

나. 측정 대상

계통의 공정, 유출가능부위 및 지역 방사선준위 등의 측정대상에 따라 감시기를 구분한다. 공정 감시기는 계통수내 방사능을 연속 측정하여 계통이상 또는 기기성능을 감시하며 대표적으로 SG 취출 감시기와 액체폐기물 배출감시기 등이 있다. 유출 감시기는 압력계통내 유체가 밀봉 이상으로 방사성 계통수가 유출되어 인접 계통 혹은 공간의 방사능 농도를 증가시킬 때 감시기가 방사능 증가를 포착하여 지시함으로써 운전원이 신속히 인식할 수 있게 한다. 격납건물내 미립자, 옥소 및 공기(P,I,G)감시기,

방사선구역내 입자, 옥소 및 대기(P,I,G)감시기 등이 계통누설로 인한 유출물 유무를 감시한다. 지역 방사선감시기는 공간방사선준위를 측정하여 계통이상 및 작업자 방호에 필요한 정보를 제공한다.

다. 감시 목적

설치 목적에 따라 계통감시기, 작업자방호 감시기 및 배출 감시기로 구분한다. 계통감시기는 냉각재압력경계 누설을 감지할 수 있는 누설감시기 및 기기의 성능감시기들이다. 격납건물 입자와 대기 감시기는 격납건물내 냉각재 누설여부를, SG 취출시료 방사능 감시기는 SG 세관 누설여부를, SG 취출감시기는 탈염기 성능을 감시한다.

작업자방호감시기는 건물 공기를 정화하는 HEPA 필터 전단에 설치된 입자(P) 및 옥소(I)감시기와 지역방사선 감시기이며, 작업자의 체외 및 체내피폭 가능성을 줄이기 위해 설치되었다.

배출감시기는 계통누설시 증가한 방사성 불활성기체가 외부로 배출될 때 이들 농도를 감시하는 배기감시기와 처리된 액체폐기물 배출시 방사성 물질을 감시하는 배수감시기 등이 이에 해당된다.

2.3 방사선감시기 경보 설정

감시기의 경보설정치는 감시 목적에 맞게 각각의 허용한도 및 누설시 예상농도로부터 설정[1,2]된다. 계통감시기 경보설정은 소량의 누설이라도 조기 발견이 안전성을 향상시키는 것이므로 이에 부합되게 경보가 설정된다. 작업자방호감시기는 건물내 대기 방사능을 HEPA 필터로 정화하기전 측정하여 계통 이상 유무와 함께 작업자 보호를 위한 입자 및 옥소 방사능의 유도공기중 농도(DAC)로부터 경보가 설정된다. 배기 및 배수감시기는 공기조화계통을 통해 소외로 배출되는 불활성 기체의 환경배기 기준 및 배출수 기준으로부터 설정된다.

2.4 경보설정값 크기 비교

방사선방호 측면에서 일반인의 방사능허용농도는 작업자허용농도(DAC)의 1/120 수준으로 작업자에 비해 엄격하다. 이는 법적 허용선량 20 배, 체류시간 3 배 및 성인과 유아 방사선 민감도 2 배 차이를 고려하기 때문이다.

그러나 방사선감시기의 경보설정값은 배출감시기가 가장 높고 계통감시기의 설정치가 가장 낮은데, 그 이유는 1 차계통내 방사성물질이 2 차계통으로 누설되면 2 차계통의 방사능 농도는 누설 전보다 크게 증가하기 때문이다. 따라서 누설을 감지할 수 있는 수준은 2 차측의 방사능 변화를 감지할 수 있는 정도의 수준이며, 격납건물내 입자 감시기 또는 복수 배기 감시기 등이 대표적인 누설감시기이다. 작업자가 수시출입하는 방사선구역에서의 1 차계통 누설 방사성물질은 작업구역 공간으로 확산되며, 그

이상 농도는 작업자의 유도공기중농도(DAC)보다 낮은 수준인데 이는 작은 누설량이 건물 내 큰 공간으로 확산 및 희석되기 때문이다.

발전소 경계구역의 방사능 배출기준은 작업자의 유도공기중농도보다 1/120 배 이하, 희석비율은 대기확산 인자 수준인 $10^5 \sim 10^6$ 정도 차이난다.

즉 선원에서 멀어질수록 공간으로 희석되며 그 희석비율이 지역별 농도제한비율보다 크기 때문에 경보설정치 크기는 다음의 순서와 같다.

계통누설 기준 < 작업자방호 기준 < 배출제한 기준

그러므로 가장 보수적인 계통누설 기준을 근거로 경보기준을 설정하여 운영하게 되면 그보다 높은 작업자방호와 배출 감시기준은 충족되므로 상위준위의 감시목적은 확보된다.

2.5 배출감시기의 경보값 보수성 검토

원전의 방사선감시기는 대부분 계통누설과 작업자 방호기능을 수행한다. 그외 감시기는 원전에서 배출되는 방사능물질의 배출제한을 준수하도록 감시한다. 그런데 최근 ICRP60 의 선량한도 감소에 따라 원전의 방사선감시기 경보설정치 보수성 검토가

$$SP_j = \frac{1}{604800} \int_{t=1}^{0 \text{ wk}} \frac{1}{F_j \times (\chi/Q)_{ECL}} \times \frac{\sum Q_j}{\sum (Q_{j,i} / EC_i)} \quad \text{---(1)}$$

수행된바 있으며, 고시 등의 배출제한농도 변경에 따라 운영중인 원전의 경보설정치가 일부 비보수적이라는 의견이 있다. 그러나 고시의 배출기준인 1 주일 평균배출농도를 기준으로 경보치를 설정하면 다음(1)식을 얻는다.

여기서, SP = 경보설정치 (uCi/cc)

F = 배출구 유량

χ/Q = 배출구에서 경계구역까지의 확산인자

Q = 선원량

EC = 배출기준농도(고시 2002-23 의 별표 3 의

5 란)

i = 핵종 i, j = stream j

인자 604,800 은 1 주일 단위를 1 초단위로 환산한 값이다. 그러나 현실적으로 경보 설정치를 1 주일 평균한 후 운영하게 되면 가정사고시 급격히 증가하는

$$SP_j = \frac{1}{60} \int_{t=-60}^{0 \text{ sec}} \frac{1}{F_j \times (\chi/Q)_{ECL}} \times \frac{\sum Q_i}{\sum (Q_i / EC_i)} \quad \text{---(2)}$$

방사능 농도에 대해 신속히 대처할 수 없다. 따라서 실제 방사선감시기의 설계는 방사능 측정값을 신뢰할 수준인 1 분정도 수집한 신호를 평균하여 감시기 지시값인 (2)식으로 나타낸다.

1 주일 평균치에 비해 1 분 평균치는 매우 보수적이다. 1 주일 평균치로 감시기를 운영중인 배출구에 경보 설정값의 100 배로 1 시간 동안 방사능 물질이 유출된다고 하여도 1 주일 평균치의 경보기가 울리기 위한 유출량인 168 (24h×7D)값에는 미치지 못하기 때문에 경보가 울리지 않는다.

2.6 다수배출구 및 다수호기 인자 영향성 검토

원전에서 단일배출구보다 다수배출구(m)로 운영하면 방사성물질이 외부환경으로 배출구 수만큼 더 많이 배출된다고 생각한다. 그러나 배출구(m)를 모아서 대표 배출구 1 개로 통합 배출시의 원전을 가정하여 경보 설정치를 계산하면 다음(3)식과 같다.

$$SP_{com} = \frac{1}{60} \int_{t=-60}^{0 \text{ sec}} \frac{1}{\sum F_{j,i} \times (\chi/Q)_{ECL} \times m} \times \frac{\sum Q_{j,i}}{\sum (Q_{j,i} / EC_i)} \quad \text{---(3)}$$

계통 및 구역에서 단일배출구인 경우 배출해야 할 공기가 모두 단일배출구로 모이므로 배출구에서의 피크 방사능농도는 다수배출구인 경우보다 희석된다. 단일 배출구를 가정하여 경보설정치를 계산하면 다수배출구의 여러 경보설정치의 평균값이 될 것이다. 그러나 배출수가 희석되어 방사성물질이 누설되는 계통의 이상증상을 찾아야 하는 운전측면에서는 매우 불리하고, 이는 방사성물질의 환경유출을 저감해야 하는 ALARA 측면과도 부합되지

$$SP_j = \frac{1}{60} \int_{t=-60}^{0 \text{ sec}} \frac{1}{F_j \times (\chi/Q)_{ECL}} \times \frac{\sum Q_i}{\sum (Q_i / EC_i)} - \frac{1}{604800} \int_{t=-1}^{0 \text{ wk}} \frac{\sum q_i}{\sum F_j \times (\chi/Q)_{ECL}} \times \frac{\sum Q_i}{\sum (Q_i / EC_i)}$$

않는다. 다수방출구를 고려하여 경보설정치를 계산하면 다음식을 얻을 수 있다.

위 식에서 뒤의 항은 어느 배출구의 경보치를 계산할 때 대상인 특정 배출구를 제외한 나머지 배출구에서 배출되는 배출량이다. 현장에서 어느 특정 계통(증발기 등) 이상으로 인해 방사성물질이 환경으로 배출될 때 다른 계통과는 연계되어 있지 않으므로 정상 계통에서 배출되는 배출량인 다음식은

$$SP_j = \frac{1}{60} \int_{t=-60}^{0 \text{ sec}} \frac{1}{F_j \times (\chi/Q)_{ECL}} \times \frac{\sum Q_i}{\sum (Q_i / EC_i)} - n_m m \sum R_{j,i}$$

주간 배출량의 평균값이 될 것이다. 다수배출구와 다수호기를 고려한 배출관리식은 다음과 같다.

위 식에서 다수 호기(n_{th}) 및 다수배출구의 기여분(m_j)은 매우 적으며 그 양은 경보 기준값보다 수백 배 적다. 따라서 무시할수 있다.

3. 결론

○ 원전의 경보설정치는 계통감시기준, 작업자방호 및 배출감시기로부터 유도되며, 배출관리기준이 가장 높다.

○ 현행 1 분측정에 의한 감시관리는 1 주일간 관리보다 매우 보수적이다.

○ 다수배출구와 다수호기를 고려한 배출관리식은 단일배출기준식보다 약간 작으나 단일배출기준식으로 관리해도 충분히 보수적이다.

참고문헌

- [1] 영광 1,2 FSAR 5 장, 11 장, 12 장, KHNP
- [2] 경수로형 원자력발전소 안전심사지침서, KINS-G-001