방사선방어학회지
제13권 제2호 1988

■ 解 說 ■

원자력발전소에서의 ALARA

강 창 순

서울대학교 공과대학

원자핵공학과

1. 배 경

미국은 1954년의 원자력법(Atomic Energy Act)에 의거하여 제정한 미연방 정부규정 10 CFR part 20의 20.1(c)절과 10CFR part 50의 50.34a(a), 그리고 50.36a(a)절을 통하여 방사선 방호에서 ALARA(As Low As Reasonably Achievable) 개념을 명시하였다. 1976년까지는 ALAP(As Low As Practicable)이라는 용어를 사용하였지만 1976년 1월 19일자 법령개정(40FR 58847)에서 현재의 용어 ALARA로 바뀌었다. 1977년 1월 국제 방사선 방호 위원회(ICRP)도 ICRP Publication 26을 발간하고 ALARA 개념을 방사선 방호의 주원칙의 하나로 채택하였다.

ALARA 의 철학은, 10 CFR part 20 의 20.1(c)절에서 언급한 바와 같이, 방사선 방호의 기준을 주어진 제한치의 개념에만 한정하지 않고 합리적으로 가능한 한 방사선 피폭을 가장 낮게 유지하도록 최선을 다하는 데 있는 것이다. 물론 여기서 언급한 '합리적으로 가능한'이란 의미는 ALARA 개념 적용에서 기술적, 경제적인 측면 뿐만 아니라 사회적인 사항을 충분히 고려하여야 한다는 뜻이다. 따라서 ALARA의 개념의 적용은 주어진 사회의 경제적인 제반 여건으로부터 영향을 받을 뿐만 아니라 문화적 구조에 따라서도 그 적용방법이 다르게 된다. 그러므로 국가에 따라서 그 적용에 차이가 있고, 같은 국가라 할지라도 지역에 따라서 그 적용의 차이가 있을 수 있다. 따라서 공통된 단일 지침은 의미가 없고, 시간적 그리고 공각적인 차이에 따라 융통성 있게 적용하여야 한다.

본 해설에서는 ALARA 개념을 원자력시설의 설계, 건설, 운전단계에 적용하는 과정에서, 비제한구역의 대중 및 자연환경을 위한 방사선 방호와 제한구역내에서 작업에 종사하는 종사자를 위한 방호의 두가지로 크게 나누어서 고찰하여 보기로 한다.

2. 대중과 자연환경 방호를 위한 ALARA

1971년 6월 미국의 AEC(Atomic Energy Commission)는 10 CFR part 50의 50.34a(a) 와 50.36a(a) 절에서 언급하고 있는 ALAP 의 개념을 구체적으로 명시하기 위하여 10CFR part 50, Appendix I(앞으로 Appendix I라고 칭함)의 초안을 작성하여 발표하였다. Appendix I는 경수로를 대상으로 하였으며, 원자로에서 방출되는 방사성 물질이 대중 및 자연환경에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 ALAP 규정을 만족시키는 방법의 일환으로 구체적인 지침을 수치로 제안하였다. 그러므로 Appendix I에서 제안한 수치를 만족시킨다면 ALAP개념도 충분히 만족시키는 것으로 인정하도록 한 것이다. 이 지침은 원자력발전소의 설계목적과 운전제한 조건의 두 부분으로 나뉘어져 있는데 표1에 1971년 6월 제안한 Appendix I를 간단히 요약하였다. 본 Appendix I의 지침설정 기준은 방사성 물질의 방출로 인하여 비제한구역의 어떠한 개인도 자연방사선 준위의 5% 이상의 방사선 피폭을 초래하지 않게 하고, 그리고 일반대중에게는 평균적으로 자연방사선 준위의 1% 미만의 피폭 준위를 충분히 유지하게끔 보장하는 것이다.

본 ALAP 규정을 최종으로 결정하는 과정의 일환으로 여러가지 평가 및 검토가 수행되었으며, 그 결과로 AEC는 1974년 2월 Concluding Statement of Position of the Regulatory Staff (Docket-RM-50-2)을

표 1. 10CFR part 50, Appendix I의 설계목표지침 요약(1971년 6월제안).
Numerical Guides for Design Objectives and Limiting Conditions for Operation to Meet the Criterion "As Low As Practicable" for Radioactive Material in Light-Water-Cooled Nuclear Power Reactor Effluents (Section II Guides on Design Objectives)

	Appendix I	Pargraph
Liquid Effluents		
Annual Total Liquid Release Except Tritium per Unit	5Curie	A1
Annual Average Liquid Effluent Concentration at Discharge Except Tritium	2E-8μCi/ml	A2
Annual Average Tritium Concentration at Discharge	5E-6μCi	A3
Annual Exposure to the Whole Body or Any Organ from All Liquid Pathways	5mrem	C1
Gaseous Effluents		
Annual Average Exposure Due to Noble Gas Releases	10mrem	B1
Annual Average Concentrations of Iodines and Solids ($T_{1/2}$ >8days)	(App. B, Table II column of 10 CFR 20)×E-5	B2
Annual Exposure to the Whole Body or Any Organ from Gaseous Effluents	5mrem	C2

발표하였다. 표2는 1974년 2월에 발표한 Concluding Statement를 간단히 요약하고 있다. 표2에서 보는 바와 같이 Concluding Statement에서도 설계목표로 년간 제한치인 5mrem을 기본으로 하고 있다. 다만 선량예탁(dose commitment)라는 용어가 내부피폭의 경우에 처음으로 도입되었으며, 또한 공기 선량(감마 혹은 베타 방사선에 의한 공기의 흡수 선량)이 소개된 것이 특징이라고 볼 수 있다. 그러나 Appendix I에 ALARA 개념을 도입하는 과정에서 경제적인 측면의 비용편익개념 (cost-benefit concept)을 최초로 적용한 것은 1975년 5월 5일 발표한 (40FR19439)-현재도 적용하고 있는-Appendix I이다. 표 3은 현재 적용하고 있는 Appendix I를 요약하였다. 원래 사용된 ALAP이라는 용어는 앞에서 말한 바와 같이 그 다음해인 1976년에 ALARA로 공식적으로 변경되었다. Appendix I에서는 수치적인 제한치에 추가하여 비용편익개념을 도입함으로써 ALARA에 관한 의미를 좀 더 충실히 부여하려고 노력하였다. Appendix I에서는 대중이 받는 방사선 피폭의 감소를 금전적인 비용과 연관시키고 있고, 임의로 1 man-rem감소를 비용 $1,000에 해당하는 것으로 제시하였다. 그러나 ALARA원래의 의미가 가지는 사회 및 경제적인 개념의 결핍으로 인하여 모든 국가에 일괄적으로 같은 값을 적용하는 데에는 문제가 있다.

Appendix I를 발표하면서 이에 부수된 국제지침(Regulatory Guide)도 함께 발표하였으며, 이들 중 특히 수치해석을 위하여 다음의 다섯개의 지침을 제시하였다.

1.109 Calculation of Annual Dose to Man from Routine Release of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluating Compliance with 10 CFR Part 50, Appendix I

1.110 Cost-Benefit Analysis for Radwaste Systems for Light-Water-Cooled Nuclear Power Reactors

1.111 Methods for Estimating Atmospheric Transport and Dispersion of Gaseous Effluents in Routine Release from Light-Water-Cooled Reactors

1.112 Calculation of Release of Radioactive Mate-

표 2. Concluding Statement of Position of the Regulatory Staff (Docket-RM-50-2)
설계목표치 지침요약(1974년 2월 발표)

	Appendix I	Paragraph
Liquid Effluents		
Annual Dose or Dose Commitment to the Whole Body or to Any Organ from All Liquid Pathways	5mrem	A1
Annual Total Liquid Release Except H-3 & Dissolved Gases per Unit	5 Ci	A2
Gaseous Effluents		
Annual Air Dose Due to Gamma Radiation	10mrad	B1
Annual Air Dose Due to Beta Radiation	20mrad	B2
Annual Dose to the Total Body from All Gasseous Effluents	5mrem	B3
Annual Dose to the Skin from All Gaseous Effluents	15mrem	B3
Iodine & Patriculates		
Annual Dose or Dose Commitment to Any Organ from All Iodine and Particulate Pathways	15mrem	C1
Annual Total Gaseous I-131 Release per Unit	1Ci	C2

표 3. 10CFR part 50, Appendix I (1988년 현재)
Numerical Guides for Design Objectives and Limiting Conditions for Operation to Meet the Criterion "As Low As Reasonably Achievable" for Radioactive Material in Light-Water-Cooled Nuclear Power Reactor Effluents

	Appendix I	Paragraph
Liquid Effluents		
Annual Dose or Dose Commitment from All Liquid Pathways/Unit		A
Total Body	3mrem	
Any Organ	10mrem	
Gaseous Effluents		
Annual Air Dose/Unit		B1
Gamma Radiation	10mrad	
Beta Radiation	20mrad	
Annual External Dose/Unit		
Total Body	5mrem	B2(a)
Skin	15mrem	B2(b
Annual Dose or Dose Commitment to Any Organ from Iodine and Particulates/Unit	15mrem	C
Cost-Benefit Study		D
Total Body Man-Rem	$1,000/man-rem	
Thyroid Man-Rem	$1,000/man-thyroid-rem	

rials in Gaseous and Liquid Effluents for Light-Water-Cooled Reactors

1.113 Estimating Aquatic Dispersion of Effluents from Accidental and Routine Reactor Releases for the Purpose of Implementing Appendix I

3. 작업종사자 방호를 위한 ALARA

ORE(Occupational Radiation Exposure : 작업상 피폭) 감소를 위한 ALARA 개념의 적용을 위하여 10 CFR part20의 20.1(c)절을 근거로 Regulatory Guide 8.8과 8.10을 제정하였다.

8.8 Information Relevant to Ensuring that Occupational Radiation Exposures at Nuclear Power Stations will be As Low As Reasonably Achievable

8.10 Operating Philosophy for Maintaining Occupational Radiation Exposures As Low As Reasonably Achievable

Regulatory Guide 8.8 과 8.10에서 제시한 ORE 감소를 위하여 ALARA 개념을 적용하는 구체적인 분야로는,

—방사선 방호를 위한 설계지침의 작성
—기존 운전자료의 수집 분석
—집단선량(man-rem)예측을 위한 체제 강구
—차폐설계
—장비 및 부품선정
—방사선 안전 설계 검토
—안전성 분석
—방사선구역내 건설 및 보수의 계획

등을 들 수 있다.

작업종사자들이 ALARA 개념에 따라 피폭을 줄일 수 있는 상기의 제반분야에서 원자력 시설의 설계, 건설 및 운전과정에서 적절히 적용하도록 요구하고 있다.

4. 맺는말

ALARA개념은 방사선 방호 목적의 기본이다. 원자력 분야에 종사하는 사람은 대중과 자연환경을 인간이 만든 방사선으로 부터 방호하여야 할 의무가 있다. 이러한 의무는 ALARA 개념을 이해하지 않고는 수행할 수가 없다. 원자력 시설과 관련된 제반행위인 설계, 건설, 운전과정의 모든 분야에서 ALARA 개념이 적용되지 않는다면 안전하고 편리한 핵에너지의 평화적인 이용은 달성할 수 없는 것이다. ALARA 개념은 그 적용에 있어서 기술적 사항 뿐만 아니라 사회적 그리고 경제적인 제반 여건이 모두 적절히 고려되어야 하며, 적합한 방사선 방호에 대한 판단력의 창출 또한 ALARA 개념에 깊게 의존하여야 한다. ALARA는 대중이나 자연환경을 위한 방사선 방호이건 작업종사자를 위한 방사선 방호이건 간에 비용편익 개념에 기반을 둔 방사선 방호목적의 가장 중요한 근원을 이루는 것이다.