

특집 1

차세대원자로개발에 대한 국제심포지엄

1993년 10월 18일~20일

인터컨티넨탈호텔 그랜드볼룸

TOPNUX'93의 要約과 結論

Pirre Bacher

TOPNUX'93 Committee 의장

TOPNUX'93 회의는 유럽 원자력학회(ENS: European Nuclear Society)가 주관하여 유럽에서의 차세대경수로에 대한 주요 동향을 검토하고 또한 세계적으로 차세대원자로개발에 대한 전망을 위해 개최되었다.

회의 개요

5개의 분과로 나누어 각각의 주제에 대한 논문을 취합 발표되었으며 원자력에너지 개발을 위한 조건과 미래 전망에 중점을 두고 결론을 도출하기 위해 노력하였다.

각각 주제가 주어진 5개 분과로 나누어 운영된 회의 결과를 정리해 보면 다음과 같다.

전력업체

전력업체들은 앞으로의 전략을 주로 발표하였다. 최우선적으로 기준발전소의 우수한 운전실적과 국민에 대한 정보의 진실성을 강조하였다. 만약 국민적 합의를 얻기 위해서는 이들 두가지 조건은 필수적으로 인식되어야 할 요소이다. 유럽의 전력회사들은, 전력업체들이 추상적인 확률론적인 수치가 아닌 매일매일 성취를 통

한 열정적인 노력으로 안전성을 향상시키는 것만이 국민을 설득하기 위한 최선의 방법으로 확신하고 있다. 물론 유럽전력업체들도 역시 2가지 분야 (첫째, 중대 사고에 대한 개선된 예방과 향상된 완화조치. 둘째, 보다 용이한 운전(operation) 및 보수(maintenance)에 중점을 두고 차세대경수로의 안전성을 제고시키기 위한 방법을 모색하고 있다.

유럽의 전력회사들의 다른 목표는 규제절차의 예측성과 비용의 조정(control)이다. 표준화와 규제기관과의 대화는 핵심적인 것이고 그들의 전략을 달성하기 위한 일반적인 요구사항들이다. 대표적인 것으로 현재 작업이 진행 중인 EUR(European Utility Requirement)이다.

발표 논문에서 유럽의 전력회사들의 전략이 정치적 그리고 구성되는 내용에서 다른 경우에도, 미국이나 일본과 같이 세계 다른 지역의 경우와 기본적으로 차이가 없으며, 앞으로 이러한 유사점들이 크게 전망된다는 점을 확실하게 보여주었다.

규제기관

규제기관들은, 위에서 이미 언급한 2개 분야 즉 중대사고와 단순화된 운전과 보수에 중점을 둔 차세대경수로의 안전성향상을 요구하고 있음을 확신하였다.

전력회사들의 목표와 규제기관의 요구사항들 간에 적어도 질적

으로는 상당한 접근이 있었다. 이것은 좋은 출발점일 수 있다. 안전요구사항에 대한 판넬토의에서 수동안전시스템이 효율성만 입증될 수 있다면 보수부문은 아니지만 운전을 단순화시키는 방법중 하나가 될 수 있음이 강조되었다. 더 일반적으로 규제당국은 그들이 목표들이 어떻게 충족되는지 말하지 않고 그러한 목표들이 어느정도 충분히 충족되는지의 여부 판단만 고려하였다.

산업체

산업체에서는 전력업체들의 요구조건과 안전목표를 만족시키는 성과들이 발표되었으며 미국, 일본, 유럽공급업체들의 주요 프로젝트들이 발표되었다.

원자력연구기

전력업체, 원자력연구기산업체, 그리고 R&D 기관들은 그들의 전략을 개발하였으며 유럽지역의 수요와 성과에 초점을 두었다.

발표에서 경수로에서의 플루토늄 재순환과 고속로와의 연계하여 플루토늄이용의 최적화와 악티노이드원소의 최소화에 대해 보여주었으며, 또한 MOX연료가 공과 재처리하는 산업화되어 있으며 경제성은 조정이 필요하다는 점을 보여주었다. 스웨덴은 15년 전에 결정된 원자력발전의 폐쇄정책과 관련하여 사용후연료의 직접 지하저장의 대안전략들을 발표하였다.

R&D기관

R&D기관들은 차세대와 장기노형의 안전성향상을 위한 연구계획들을 발표하였다. 운전경험이 없는 차세대원자로의 R&D분야에서 특혜받은 분야는 중대사고 분야이다.

발표에서 도출된 주요 결론

비록 TOPNUX'93가 차세대경수로를 개선하기 위한 기술수단에 중점을 두었지만 주요 결론중 하나는 미래 발전소설계와 건설에는 미래원자로의 국민의 합의라는 전제조건이 있다는 것이었다.

다른 말로 하면 「본질적으로 안전한 원자로」와 이것을 설계하고 운전하는 것이 가능하고 또한 사람들이 위험요소가 없다고 알고 있다 해도 원자력에 대한 국민의 반대는 여전이 있을 수 있다는 것이다. 다른 결론은 경제성 목표와 핵연료주기에 대한 것이었다.

국민합의를 위한 전제조건

원자력발전의 미래는 전적으로 국민합의에 달려있다. 향후 국민합의는 기존의 상당히 안전한 설계의 기술적인 개선보다는 다음 3가지 전제조건에 달려있다는 강력한 지적이 제시되었다.

첫째, 원자력발전은 에너지수요와 환경보호를 위해 현실적으로

필요하다는 인식이다.

이러한 인식은 세계 인구증가(다음 50년 동안 2배가 된다)와 개발도상국가들의 생활수준 향상으로 인한 에너지수요, 그리고 대기에 이산화탄소의 방출제한 필요에 대한 전망과정에서 유도되어야 한다. 이러한 인식은 정치적으로 강력한 리더쉽이 있어야 하며 근시안적인 것에서 탈피 장기적인 정책설정이 있을 때만 가능한 것이다.

둘째, 장수명핵종관리에 대한 기술적인 해결이 만족되어야 하는 합의이다.

이것은 관리기간을 얼마나 해야되는지(How long is long ?, 백년, 천년, 만년, 백만년 등)의 윤리적 문제가 제기된다. 스웨덴이 발표한 직접저장에서는 다음 빙하기에 접어드는 만년정도가 제안되었다. 이러한 견해가 받아들여진다면 기존의 해결방안을 실증하는 데에도 큰 문제가 없을 것이다. 그러나 저장의 안전성은, 만약 주거활동이 받아들일 수 있는 알려진 것 보다 적다는 것을 보여주는 것이 가능하지 않을 때, 아마 증명하기가 불가능할 것이다.

셋째, 운전원과 규제당국자에 대한 신뢰성은 이미 언급된 운전에서의 좋은 실적, 정보의 투명성, 규제기관과 원전원간의 선명한 관계 등을 통해서만 얻을 수 있을 것이다. 발전소 외부로 방사능 누출시키는 사고가 더 이상

안전성 향상을 위한 노력

안전성을 향상 해야하는 지속적인 필요성과 현실적인 가능성이 있다. 여기에는 특히 격납용기와 격납용기 바이패스에 중점을 두고 중대사고에 대한 더 좋은 예방과 완화조치들이다. 이러한 것은 격납용기의 조기손상을 유발 할 수 있는 고압노심용융과 수소폭발을 설계에 의해 예방할 수 있게 하며 저압노심용융 시에도 격납용기의 건전성을 장시간 확보할 수 있게 해준다.

제어계통(Control Loop)

인간의 건전성을 통한 인간인에서의 진보 이것은 인간오류를 제외한 모든 인자가 감소되었을 때 인간인자가 주요 요소가 되기 때문에 아주 필요하다. 그러나 인간은 제어계통에서 배제되고 全自動化가 사고해석에서의 오류나, 보수에서의 오류, 계기고장등의 위험성을 제거할 수 있다는 폭넓은 합의가 있었다.

없어야 되며 국민들이 실수라고 생각할 수 있는 고장도 있어서도 안될 것이다.

올해 초 레닌그라드발전소에서 의 압력관 손상사고 후 러시아인들이 제공해 준 진실하고 신속한 정보는 좋은 예이다.

운전과 보수

단순화 확률론적 안전평가에서 전반적인 위험성에 주요 기여요소로 정치상태(Shut-Down State)를 확인하였기 때문이다. 이와 같은 단순화 목표는 위에서 언급한 인간인자에서 벗어날 수 있고 설계자에게는 다른 보조계통을 요구하는 다기능시스템을 피할 수 있게 하며 밸브의 숫자를 증가시키는 잉여시스템과 사이의 교차선을 피할 수 있게 하고 또한 지원계통을 최소화 시켜준다.

이러한 개선은 노심손상확률을 작게하고 발전소 외 영향을 줄이게 되고 발전소 인접지역을 제외한 단기적인 疏開나 장기적인 영원한 再定着이 필요없게 된다. 확률의 관해서는 INSAG-3에서 언급한 것 보다 대단히 작은 수치들도 의미가 없으며, 원자력계 전체가 국민을 혼돈시키는 안전 논쟁을 피해야 한다는 폭넓은 합의가 있었다.

서방세계의 안전수준

현 서방세계의 발전소들의 안전수준은 만족할 만하다. 그러나 세계에 존재하는 모든 발전소에 해당하는 것은 아니다. 비록 이것

이 원칙적으로 TOPNUX '93의 주제는 아니지만 충분한 안전수준을 갖지않는 발전소들은 비록 단기적으로 운전과 보수 양면에서 개선으로 수년간 더 운전할 수 있다라도, 가능한 한 빨리 운전정지 시키든지 또는 안전수준을 제고해야 될 것이라고 강하게 지적되었다.

국제협력의 필요성

어떤 분야에서는 R&D가 여전히 필요하며, 복잡하고 비용이 많이 들며 그리고 국제협력을 요구한다. 이것은 예를 들어 Corium/Concrete반응, Corium 냉각 등의 현상이 충분히 이해되지 않는 중대사고의 경우이다. 이것은 기존발전소의 중대사고관리에 대한 해결되지 않는 문제로 남아있게 되며 미래발전소의 격납용기의 과대설계를 유발하게 된다. 이러한 예로 격납용기 내의 요오드(Iodine)와 세슘의 거동에 대한 이해 부족으로 발전소의 소외영향평가에서 과대 평가를 할 수 있다.

국제협력은 실험이나 기준의 개발처럼 비용이 많이 들거나 또한 심층검토가 결과에 대한 신뢰성 향상에 실제적으로 유일한 방법일때 둘 다 필요하다. 또 다른 분야, 반드시 원자력분야만은 아니지만 현대화된 제어계통에 사용되는 복잡한 소프트웨어의 질적 평가에서도 국제협력은 필요

하다.

안전목표의 국제적 합의

더 중요한 것은 안전목표와 요건 그리고 절차상의 정량화에 대한 국제적인 합의의 필요성이다. 이것은 다음과 같은 구체적인 프로젝트를 통해서만 얻어질 수 있다.

첫째, 미국에서 URD(Utility Requirements Document)와 ALWR에 대한 US NRC의 인준.

둘째, EUR(European Utility Requirement)와 EPR(European Pressurized Reactor)에 대한 안전성 평가는 다음장에서 거론할 예정이다.

차세대경수로의 경쟁력

차세대경수로는 적어도 세계 일부 지역에서 만이라도 천연가스나 석탄과 경쟁력을 확보해야 된다. 그렇지 않으면 어느 전력업체 또는 독립전력사업자(IPP:Independent power Producer)가 원자력발전소에 투자를 하겠는가? 비록 천연가스가 오늘날 원자력에너지의 주요 경쟁자로 보이지만 장기적으로 보면 경제성면에서 큰 불확실성이 전망된다. 그러므로 석탄이 실제적으로 장기적인 경쟁자이다.

환경문제의 고려는 구체적으로 탄소세를 유도할 수 있거나 해야 될 것이다. 그러나 이러한 제도입

차세대경수로의 과제

차세대경수로는 악티노이드원소양을 증가시키지 않고 플루토늄과 넵툼의 재고량 감소에 기여해야 한다. 이것은 경수로에서의 플루토늄의 재순환이 경제성면에서 가능하다 하더라도 아마 좋은 방법은 아니다. 고속로(Fast Reactor)는 장수명핵종의 대규모 소멸처리와 장기적으로 핵분열물질의 수요를 충족시키기 위해서 필요하다.

이 국민여론과 그리고 앞으로 10년 안에 근시안적인 정치가들에 의해 받아들여지는 기회가 적을 것으로 최근의 움직임에서 보여주고 있다.

미래에 대한 전망

첫째, EPR과 EUR은 차세대원자로에 대한 주요 목표를 유럽에서의 합의점에 이르는 길을 보여 주었다. 1993년 7월 프랑스와 독일규제당국은 이러한 합의를 얻을 수 있는 첫번째 조치로 공동 권고안을 발표하였다.

둘째, 이와 유사한 접근이 미국에서 조만간 ALWR의 인준과 US-URD(Utility Requirements

Document)를 인준하도록 할 것이다.

셋째, 다음 수년 동안 최대의 도전 중의 하나는 위와 같은 유럽과 미국에서의 얻어진 경험의 공유가 될 것이며 대서양은 물론이고 아시아와 옛 소련까지 공통 결론에 도달하는 것일 것이다. 이것은 기술적인 해결에 긴밀하게 연계되는 구체적인 요건으로 될 때는 어려울지도 모른다. 그러나 선원항(Source Term) 계산이나 소프트웨어의 질적인 요건과 같은 방법론에서는 가능할 것이다.

넷째, TOPNUX'93에서 차세대원자로에 대한 주요 목표들에 대한 절충을 위해 처음으로 다음과 같은 합의가 이루어졌다.

- ① 산업체는 안전을 담보(caricature)로 하는 판매분쟁은 자중지란을 일으킬 수 있다는 것을 인식하고 서로 감시한다.
- ② 전력업체들은 공통요건을 줄 수 있는 표준화에 눈을 돌린다.

유럽에선 EUR, 미국에서는 URD 등의 비교와 최소한 이러한 요건들 간의 차이점의 충분한 이해가 필요하며 있어야 한다.

③ 규제당국은 공통요건으로 국가적 대응력을 높이기 위한 길을 찾는다.

다섯째, 1995년까지 미국과 유럽국가들간 어떠한 차이점도 충분히 확인되며 충분히 이해되고 몇가지를 제외한 모든 것이 제거 될 것을 기대할 수 있다. 그러나

이것을 달성하기 위해서는 유럽의 규제기관과 미국의 원자력규제위원회는 중대사고나 소외사상(Consequence)등과 같은 중요한 문제에 대해 공동작업을 해야 할 것이다.

아시아와 러시아 규제기관들도 결국은 국제원자력기구의 권고안의 기본이 되는 이러한 주요합의를 위한 작업에 중요한 역할을 할 수 있어야 된다.

여섯째, 미래를 위한 주요 목표는 국민적 합의를 강화하는 것이다. 공동목표와 방법론을 세계적으로 보면 확실히 충분하지 않지만 그래도 필요조건이다.

일곱째, 세만틱스(말장난:Semantics)는 국민적 합의를 진흥시키는 데 있어서 근본적인 또 하나의 문제이다.

TOPNUX '93에서 세만틱스에서 수렴하는 가능성을 보여주었다. 아무도 본질적(Inherently)으로 안전한 원자로나 수동(Passive)안전로에 대해서 말하지 말자. 지발중성자는 하느님 덕택으로 본질적인 안전특성들이며 수동적이거나 자연적인(Natural) 안전장치 그리고 어떤 설계에서도 이와같은 수동적(Passive)인 것과 조작형(Active) 안전장치를 항상 조합되어 있다.

다시 세만틱스로 원자로에 적용된 개량형(Evolutionary), 혁신적(Revolutionary)이라는 말은 심각한 오해를 유발하였다. 예를 들면 개량형(Evolutionary)원자로라

는 말은 기존형 원자로가 모든 나쁜 것들을 가지고 있는 것으로, 반면에 혁신적인 원자로는 영광스러운 원자력 천국의 약속인 양 되고 있다. 옛날에 RICKOVER提督은 후자를 아카데미하다고 하였고 또한 포기하였다. 오늘날 부분적으로 또는 TOPNUX '93으로 인해 사용되는 언어들은 개량형설계로, 원형로의 실증에 요구되는 새로운 개념이나 기술을 도입하는 원형로나 혁신적인 설계를 요구하지 않는, 기존의 경험으로부터 개선할 수 있는 설계를 의미한다.

여덟째, 미래원자로에 대한 언어상의 규정(Qualification)문제나 안전목표상의 수렴(Convergence)은 모두다 기술적인 해결의 평가에서 재창조된 신뢰성을 주어야 한다.

신뢰성 확보와 국민합의

세계적으로 차세대원자로로는 오늘날 운전되고 있는 발전소들보다 훨씬 높은 안전수준으로 설계되고 표준화된 경수로가 대부분일 것이라는 의견들이 지배적으로 되고 있다. 과거 25년간 축적되었던 운전경험들 설계자에게 운전과 보수를 쉽게 할 것이다. 따라서 소재와 요소기술의 지속적인 향상에 따라 인간오류를 감소시키고, 컴퓨터시스템으로 부터 충분한 이익을 가져올 것이다. TMI사고의 분석과 주요 원자력

선진국에서 수행되는 연구개발에서 나온 중대사고에 대한 현상의 심층지식은 설계자들에게, 노심용융을 유발하는 중대사고가 所外 대형사고로 될 수 있는 위험성을 줄이거나 사고 초기부터 완화 시스템을 포함하도록 할 것이다.

차세대경수로로는 여러국가에서 전력송전망 규모나 부지요건을 만족시키기 위해 대형(1,000, 1,400MWe)과 중형(600MWe) 표준원자로를 포함하게 될 것이다.

오늘날 대형과 소형, 수동형 또는 조작형 안전장치, 자동화 對 인간의 역할 등에 대하여 대립하는 자살적인 원자력계의 내부 반목(feud)은 중지되는 것이 좋을 것이다. TOPNUX'93 회의에서 의심할 바 없이, 우리 시민들이 우리의 미래 원자력발전소에 대한 설명을 이해하고 받아들이도록 하는 것이 유일한 조건이며 필요한 것임을 주요합의로써 유도하는 데에 기여하였다. 미래 원자로에 대한 주요 목표에 대한 조정(Reconciliation)은 원자력계에 핵심적인 단어가 될 것이다.

우리는 원자로설계의 개선, 그 자체로는 국민합의를 얻을 수 없다는 것을 결코 잊어서는 안될 것이다. 가장 분명한 과제는 원자력에너지에 대한 필요성 인식과 방사성폐기물은 안전하게 관리될 수 있다는 확실한 이해, 그리고 발전소 운전자와 규제당국에 대한 신뢰성이다.