

特別企画 核融合- 그 技術的課題와 開發戰略의 前提 (2)

核融合炉와 核分裂炉의 安全性比較

에너지 시스템의 안전성은 원래 해당되는 시스템과 환경을 연관해서 論해야 한다. 따라서 안전의 확보란 환경에 주는 마이너스 영향을 최대로 적게 하여 事實上 무시할 수 있을 정도로 억제하는데 있다. 에너지 시스템의 안전평가는 해당 시스템이 가지는 잠재적인 災害 potential 평가에서 시작된다.

災害 potential의 첫째는 에너지 시스템으로부터 에너지가 일시에 폭발적으로 방출되어 직접적인 災害를 환경에 주는 것이고, 둘째는 에너지 시스템에 内藏 또는 사용되는 有害物質(방사성물질, 化學的 유해물질)이 환경에 방출되어 災害를 가져오는 것이다.

“核融合은 clean energy源”이라고 말하는 것은 이 잠재적 災害 potential이 핵분열 시스템에 비해 적기 때문이다. 즉 첫번째 경우는 反應持続의 조건을 만족시키는데 있어서 暴走가 發生하기 어렵다는 것이고, 두번째 경우는 반응생성물이 방사성폐기물로 되지 않는 것이다. 그러나 잠재적 災害 potential만으로 안전성의 우열을 논하는 것은 현실적이긴 하나 합리적은 아니다. 에너지 시스템을 개발하여 사회에 정착시키기 위해서는 잠재적 재해의 potential 顯在化를 방지하여 사실상의 안전을 확보하는 것이 필요하다.

“tritium을 연료로 하는 DT 핵융합炉를 경수炉와 동등하게 안전한 시스템으로 하는 것은 큰 문제이다”라는 논의가 있는 것은 사실상의 안

전을 확보하는 방책은 기술적으로는 가능하더라도 경제성까지를 포함시킬 때 경수炉 시스템보다 難點이 많을 것이라는 우려에서 온 것 일 것이다.

핵융합炉와 많이 대비되고 있는 핵분열炉의 잠재적 災害 potential을 顯在化시키지 않기 위한 기술개발은 진보되어 설계상의 배려에 의해 에너지의 폭발적 방출 가능성은 Doppler 效果를 중심으로 한 自己制禦性에 의해 기본적으로 방지될 수 있게 되어 있으며, 안전확보의 중심 과제는 plant內에 内藏된 방사성물질을 plant 내부에 格納하는 것이다. 유해물질을 격납하여 외부로 방출시키지 않음으로서 안전을 확보하는 것은 핵분열로에만 局限된 것은 아니다. 火力發電所나 化學plant에서 과거에 문제가 되었던 大氣污染을 為始한 公害문제도 유해물질의 개발에 의해서 해결되고 있음을 잘 알려져 있다.

핵융합로에서 에너지의 순간 대량방출로 인해 直接環境에 力學的에너지에 의한 재해를 주는 사태가 현실적 문제로 될 가능성은 核融合反應性質上 희박하며, 설계에 의해 사실상排除할 수 있다고 생각된다. 그러나 핵융합로도 현재 개발되고 있는 반응형식으로는 결코 “방사능 free”는 아니며, 안전을 확보하는데 있어서는 종래의 에너지 시스템과 같이 방사능물질格納을 중심으로 한 기술개발이 요구된다.

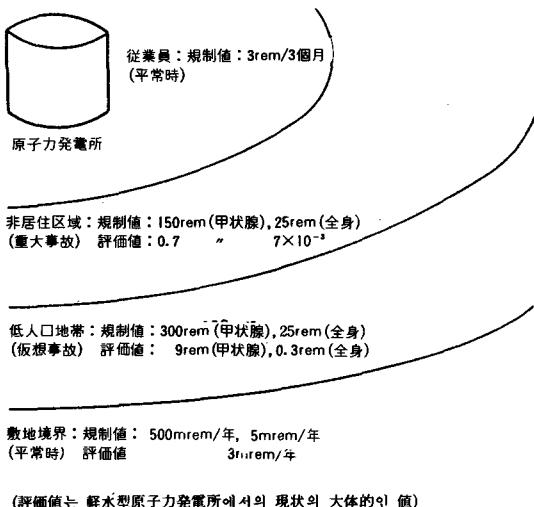
1. 放射性物質의 漏洩

특별기획

핵분열炉와 핵융합炉에서 plant내에 격납할 대상은 방사성물질이다. 방사성물질이 환경으로 누설되는 것을 絶無하는 것이 목표이긴 하나 현실적은 아니며, 또한 방출확율을 제로로 할 수도 없다. 따라서 누설량 또는 방출량을 제한하므로서 사실상의 안전을 확보하려한다. 방사성물질의 환경방출 제한은 에너지 시스템의 종류에 따라 원래 변하는 것이 아니다. 그러므로 현재 경수로를 중심으로 한 핵분열炉에 대한 制限直 또는 reference dose가 그대로 핵융합로의 경우에 참고가 된다. 또, 정상상태와 異常 또는 事故狀態로 분류하여 제한하는 사고방식이 취해진다.

그림 1은 핵분열炉에 대한 방사성물질의 방출규제와 원자력발전소에서의 現実情을 표시한 것이다. 통상 운전시의 규제치는 법율에서 정하고 있는 규제치 500 mrem/年의 1/100로 A LARA(As Low As Reasonable Achievable) 사고방식을 도입한 値로 되어 있으며, 부지내에 복수의 원자로가 있을 경우는 전부를 加算하여 부지경계에서 연간 5 mrem이하로 되어 있다.

〈그림 1〉 放射能의 規制値와 軽水型原子力発電所에서의 現狀



원자로가 複數로 있더라도 事故는 同時多發하는 일이 없으므로 사고시의 방사성물질 방출 규제는 1基에 대해서 행해진다. 원자로의 사고

는 여러가지가 想定되며 때문에 안전평가의 대상으로서는 重大사고(major accident)와 가상사고(hypothetical accident)가 보통이며 방출되는 방사성물질량에 제한이 가해지고 있다.

2. 核分裂反応과 核融合反応

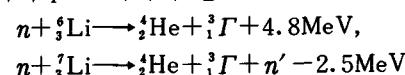
핵분열성물질로는 U^{233} , U^{235} , Pu^{239} 등이 있다. 이중 천연에 존재하는 것은 U^{235} 이며 그 이외는 thorium이나 U^{238} 이 핵분열炉 속에서 중성자를 흡수하므로서 転換 또는 増殖된다. 핵분열반응은 연료의 상태와 관계없이 일반적으로 다음과 같이 표시된다.

$n + A = aFP + \nu n + 200\text{ MeV}$ 단, a 는 2~3, ν 도 2~3이다. 여기서 FP는 핵분열생성물이며 방사성인 것이 많다. 또, 중성자를 흡수해서 질량수가 큰 원소로 전환되는 경우도 있으며 actinoid는 대부분의 경우 방사성이다.

fertile material의 핵분열성물질로의 전환은 $n + B \rightarrow A$ 로 나타낸다.

한편, 핵융합반응의 형식은 $D + T \rightarrow n + (14.1) + {}_2^1He (3.5)$, $D + D \rightarrow n (2.5) + {}_2^3He (0.8) \rightarrow H (3.0) + {}_1^3T (1.0)$, $D + {}_2^3He \rightarrow H (14.7) + {}_2^4He (3.6)$ 단, ()내는 반응생성물의 운동에너지(MeV)이다.

여기서 tritium은 천연에는 존재하지 않는 방사성물질이며 別途方法으로 생산해야 한다. 물론 앞에서의 DD 반응에 의해서도 만들어지나, DT 핵융합로 개발에서는 핵분열炉에서의 전환, 증식의 경우와 같이 lithium과 중성자 반응에 의해서 plant내에서 만들려고 한다.



helium은 방사성이고 또 중성자는 핵분열로의 경우와 같이 물질을 방사化한다. 따라서 핵분열, 핵융합 모두 방사능과 직면하게 된다.

3. 反応持続條件

에너지 시스템의 최저조건은 에너지収支가를

러스가 되게 하는 것이다.

핵분열炉에서 반응의 지속조건을 지배하는 것은 반응에 기여하는 중성자의 粒子 balance이다. 핵분열의 연쇄반응 지속조건은 炉内 물질의組成, 系의 크기 및 中性子의 에너지에 따라서 정해지는데, 중성자의 에너지는 외부에서 주어지는 것이 아니고 핵분열시에 중성자에 주어지는 에너지 ($\sim 2\text{MeV}$)보다 적어도 좋으며 逆으로 중성자의 에너지를 저하시키기 위해 减速材를 삽입할 때도 있다.

한편, 핵융합반응은 荷電粒子끼리의 충돌에 의해 행해지기 때문에 연료입자에 Coulomb 力을 이길 만한 충분한 에너지가 주어질 필요가 있다. 이 에너지는 반응의 결과로 방출되는 에너지를 한번 熱에너지의 형태로 외부로 끼어낸 후 에너지 변환시켜서 加해주는가 혹은 직접 이용하여 핵융합반응을 지속시키게 된다. 前者の 형태로 행해지기 위한 필요조건을 로오손条件, 後者를 自己着火条件이라고 한다. 로오손 조건이나 자기착화조건 모두 온도의 함수이며 10keV 정도의 온도가 필요하며 plasma 상태에서만 반응이 가능하다. 이점이 핵융합炉가 핵분열炉와 크게 다른 점으로서 여러 가지 제약조건이 주어진다.

〈表 1〉 核分裂炉, 核融合炉에서의 反応에 関한 諸量

	反応	粒子密度 $N_1 \text{cm}^{-3}$	標密的度 $N_2 \text{cm}^{-3}$	粒子에너지	$\langle \sigma v \rangle$	反応率 $\text{cm}^{-3} \text{sec}^{-1}$	巨視斷積 $\sum \text{cm}^{-1}$	粒子束 $\text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$
核融合炉	$D + T = He + n + 17.6\text{MeV}$	5×10^{13}	5×10^{13}	20KeV	4×10^{-16}	10^{12}	2×10^{-10}	5×10^{21}
熱中性子炉	$n + ^{235}\text{U} = \nu_n + \text{F.P.} + 195\text{MeV}$	5×10^6	6×10^{20}	0.05eV	10^{-16}	1.5×10^{13}	3×10^{-1}	5×10^{13}
高速増殖炉	$n + ^{239}\text{Pu} = \nu_n + \text{F.P.} + 200\text{MeV}$	2×10^6	5×10^{21}	100KeV	10^{-15}	2×10^{13}	2×10^{-3}	10^{16}

〈表 3〉 核分裂炉, 核融合炉에서의 主된 放射性物質

	核分裂炉 (輕水炉)	核融合炉
拡散性 이강한 放射性 物質	가스 F.P. Xe等의 不活性가스 ~ 10^8 I 等	tritium (燃料) plant內 blanket ~ 10^8 ~ 10^7
기타의 放射性 物質	F.P. 플루토늄 (燃料) 等	誘導放射能 (構造材) 10 ⁴ ~ 10 ⁹ Fe, Cr, Mn, Ni, Co 等

(单位 Ci)

다.

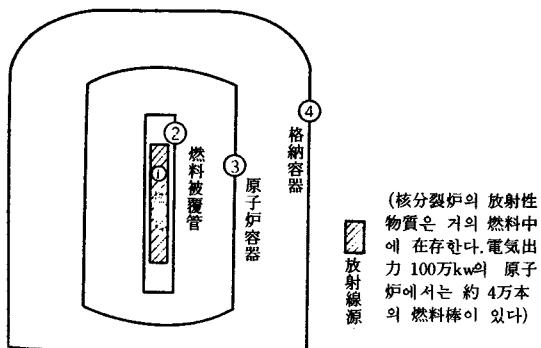
表 1은 핵분열炉, 핵융합炉에서의 반응에 관한 여러 量을 비교한 것이고, 表 2는 핵분열炉 및 DT 핵융합로에서의 중성자 상태를 비교한 것이다. 핵분열로에서는 중성자가 연쇄반응에는 寄与하나 에너지担体로서의 役割이 없는데 비해 핵융합로의 경우는 에너지의 主된 担体이다. 즉, 핵융합로는 중성자의 풍부한 시스템이라고 할 수 있다.

4. 放射性物質의 量과 性質

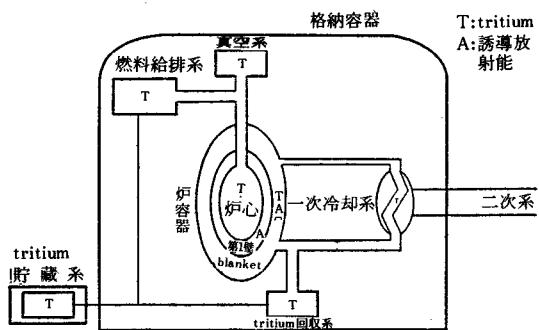
방사성 물질은 그 종류 및 형태에 따라 格納하기 쉬운 정도가 다르다. 핵분열炉 및 핵융합로에서의 방사성물질을 表 3에 표시하였다. 이를 방사성 물질이 어떤 환경 하에서 어느 곳에 얼마만큼 존재하는가가 plant의 안전확보를 하는데 있어서 중요하다. 물론 이들은 炉出力, 炉形식에 따라서 다르며 또한 연료싸이클에 대해서 크게 영향 받는다. 즉, plant가 新燃料를 생산하는가, 연료생산과 에너지생산(電力)의 역할을 분담하여 행하는가에 따라 그 양식이 달라진다. 핵분열炉, 핵융합로에서의 主된 방사성물질의 존재는 그림 2와 같다.

특별기획

〈그림 2〉 (a) 核分裂炉의 放射線源과 多重格納



〈그림 2〉 (b) DT核融合炉의 放射線源



5. 氣体状放射性物質

氣体状의 방사성물질은 扩散性임으로 누설대상으로서의 配慮가 필요하다. 핵분열로의 경우 氣体状인 것은 핵분열생성물 중 Xe, Kr, I이며 이들은 물질중에서 透過性이 없어 格納系가 건전하면 그 누설은 문제가 되지 않는다.

그러나 핵융합연료인 tritium은 물질중을 투파하는 성질이 있다. 핵분열炉에서도 tritium이 三重核分裂이나 중성자흡수(重水炉의 경우)에 의해서 생성되나 그 양은 적으며 연간 100~200 Ci로 평가되고 있기 때문에 특별한 누설방지대책은 실시되고 있지 않다.

그러나 핵융합炉에서의 tritium은 핵분열炉에 비해 극히 많으며 현재까지의 각 概念설계에서의 그 内藏量은 表 4와 같다. 이로 인해 그 누설에 대해서는 충분한 배려가 필요하다. 현재까지의 각종 개념설계를 참고로 해서 格納方法의概略을 기술하겠다.

그 첫째는 内藏되는 tritium의 대부분을 低溫으로 하여 투파성을 낮게 할 것과 여러 곳의 저장系로 물리적분리(physical separation)를 가능케 하여 평상시는 물론 事故時에도 누설량을 감소시키는 것이다. 두 번째는 高温部, 즉 炉心部와 增殖 blanket部에 존재하는 tritium에 대해서는 表 5와 같이 투파성이 낮은 물질로 格納系를 구성하여 누설을 억제하는 외에 핵분열炉의 경우와 같이 格納系를 多重으로 함으로서

〈表 4〉 核融合炉플랜트内 tritium量 ($1g=10^4Ci$)

設計例	出力(GWe)	blanket 内의濃度 (ppm)	blanket 内의量 (kg)	plant內의 의量 (kg)
ORNL	0.5	1	0.4	6
PPPL	2	0.01	0.4	5.6
UWMAK-I	1.5	5	4	10~15
II	1.7			8.6
III	2			3.6
ANL/LASL (ベイタ licensors)	4	1	1	6
STARFIRE	1.3			11.6

〈表 5〉 核融合炉의 tritium對策例

tritium 対策	目 的	設 計 例	備 考
一次系, 二次系間, 혹은 格納系等의 低透過性 物質에 의한 内藏	leak量의 低減	ORNL LLL(mirror) PPPL ANL/LASL (日 licensors) STARFIRE	W W Cu Cu
固体增殖材	inventory의 低減	UWMAK-II STARFIRE	LiAlO ₂
二重管에 의한 冷却系配管	leak의 可能性 低減	STARFIRE	
雰囲氣中의 tritium回收 혹은 放出除去system	雰囲氣中의 tritium量의 低減, leak量의 低減	STARFIRE UWMAK-II, II	
一次系의 tritium clean- up system	二次系로의 透過量의 低減	STARFIRE	
Limiter/Vacuum system	燃焼率의 向上에 의한 必要 tritium量의 低減	STARFIRE	

누설을 억제한다. 세 번째는 plant를 순환하는 tritium 양을 감소시키는 것이다. 핵융합로는 氣體炉心(plasma)이므로 tritium이 炉心部를 순환한다. 이 순환량은 炉出力에 관계되는 외에도 연소率(burn up fraction)에도 관계되므로 STAR FIRE의 설계에서는 연소율을 40%로 올리고 순환율을 감소시켜 안전성을 향상시키려 한다.

이와 같은 사고방식은 핵융합로를 에너지 시스템으로 구성하는데 있어서 plasma에 대해 요구되는 조건이며 STAR FIRE의 개념설계에 있어 하나의 主点이 이와 같은 기술적문제로 부터 plasma조건에 대해 과제를 제기하고 있는것이 주목된다.

6. 誘導放射能

핵분열로의 경우 유도방사능으로는 연료와 구조材가 중성자를 흡수해서 방사화한다. 이 중 플루토늄과 우라늄-233은 연료물질이다. 또 고체의 핵분열생성물도 여기에 포함하여 생각한다. 핵융합로의 경우는 구조材의 중성자흡수에 의한 것이 主体가 된다. 이를 유도방사능은 대부분의 경우, 고체에서는 非拋散性으로 冷却材中에 놓거나 plant에 내장되어 보수점검시 종업원의 작업에 문제가 되며 또한 사용후의 처리, 처분에 문제가 된다.

量的으로는 前者가 $10^8 \sim 10^9 \text{ Ci}$, 後者は $10^8 \sim 10^{10} \text{ Ci}$ 정도라고 생각한다. 핵분열로의 경우 이 방사성물질은 연료와 직접 관계하고 있기 때문에 必然性이 있어 감소시키는 것이 곤란하나, 핵융합炉의 경우는 구조材로 무엇을 사용할 것인가는 설계에 의존되므로 선택의 여지가 있다. SS316을 사용한 UWMAK-1의例에서는 $6 \times 10^9 \text{ Ci}$, niobium를 사용한例에서는 200 Ci/kW 에서 약 $5 \times 10^9 \text{ Ci}$ 이나 aluminium, vanadium을 사용한 경우는 감소된다. 또 ceramic(S,C등)을 사용하여 유도방사능을 저감시키는 설계도 있다.

7. 通常運転時의 安全性

前述한 바와 같이 핵분열로의 경우 통상운전

시 주변피폭량은 그 부지내의 모든 原子炉로부터의 합계가 그림 1에서와 같이 부지경계에서 연간 5 mrem 이하(규제치의 1/100 이하)를 만족시키고 있다. 핵융합炉의 경우 통상운전시에는 tritium, 중성자, 감마선, 구조材의 유도 방사等의 방사선源이 문제가 된다. 이 중 tritium은 기체이고 특히 고온에서 높은 透過性을 가지고 있기 때문에 누설의 가능성성이 크다. 概念설계에서의 평가는 구체적으로 데이터에 따라 했다기보다는 간접적으로 관련data(예를 들면 高温가스炉)를 사용했거나, 규제치를 만족시키기 위해 달성되어야 할 방출량을 逆算하였다고 해석된다. 여러가지前提가 있기는 하나 $1 \sim 10 \text{ Ci/day}$ (tritium 1g은 10^4 Ci)値를 예상하고 있다.

이것은 부지경계에서의 年間值가 $1 \sim 10 \text{ mrem}$ 이 되므로 핵분열炉와 동등, 또는 그 이상의 피폭량이 됨을 그림 1과 비교하면 잘 알 수 있다.

한편 직접적인 중성자, 감마선의 영향에 대한 평가例는 많지 않으나 중성자에너지가 높은 것은 핵분열炉의 sky-shine線量과 비교해서 평가를 할 필요가 있다. 그리고 통상시의 안전에 대한 또 하나의 측면은 작업종사자의 피폭이다.

이에 관해서는 plant內 雾囲氣의 방사化(Ar-41 등)와 구조材 등의 유도방사능이 加해진다. 유도방사능은 고체구조材中에 있으므로 환경으로의 누설 가능성은 대단히 낮아 냉각재中에 溶出되었을 경우 정도라고 생각되나 plant內의 유도방사능으로 부터의 방사선은 재료선택, 운전 관리등과 관련된 문제라고 생각된다.

8. 事故時의 安全性

핵분열炉와 핵융합로는 炉内에서 반응을 계속시키는 방법이 기본적으로 다르다.

핵분열炉는 炉内에서의 중성자 balance 반응계속조건이 정해지므로 핵분열의 연쇄반응이 시간적으로 일정한 상황을 臨界라고 한다. 이 조건이 만족되면 炉内에는 무엇이 있어도 상관없다. 또 중성자는 電荷를 갖고 있지 않으므로

핵분열반응을 일으킴에 있어서 Coulomb 力을 생각할 필요가 없다. 그래서 現存하는 핵분열炉는 炉内에 1~4년간 반응을 계속할 수 있을 만큼의 연료를 장진하고 있다. 한편 핵융합로는 에너지 balance, 즉 반응계속온도(着火温度)를 유지함으로서 반응이 계속되는 점은 화학반응과 같으나 반응이 荷電粒子의 충돌에 의해서 일어나기 때문에 충분히 높은 온도(1~2억도)가 필요하며, 炉心에는 반응에 직접 기여하는 물질(필요한 연료)이외의 물질을 넣을 수가 없다. 따라서 炉内에 滯在하는 연료는 단위시간 소비량의 수배~수십배 정도이다.

따라서 반응에 기여하는 연료량은 핵분열로 쪽이 많으나 핵분열로에서는 U^{238} 의 중성자흡수에 의한 Doppler효과를 中心으로 한 自己制禦性 때문에 異常核反応에 의한 핵에너지 방출은 억제된다. 그래서 설계기준사고(design basis accident-DBA)로 이상핵반응에 起因하는 사고는 취급하고 있지 않다.

DBA를 넘는 HCDA(hypothetical core disruptive accident)에서도 mechanistic한 解析

〈表 6〉 核融合炉에서의 想定事故事象의 例

1. tritium回路破損	6. plasma의 異常
2. 放射性物質의 放出	a) 過出力
a) 構造物의 放射能	b) 密閉의 不安定
b) 冷却材의 放射能	c) 逃走電子
c) 空氣中の 被放射化物	d) 出力振動
3. 火災와 爆発	e) 局所反応
a) tritium火災	7. 冷却材異常
b) 蒸氣爆發	a) 冷却材流量喪失
c) lithium火災	b) 崩壊熱除去不充分
4. 電氣系의 故障	c) 冷却材喪失
5. 磁場system의 故障	8. 有毒物質의 放出
a) 超電導喪失	9. 二次系의 故障
b) 電磁力	10. 制禦系의 故障
c) helium 回路破損	11. 外部要因
	地震, 航空機衝突等

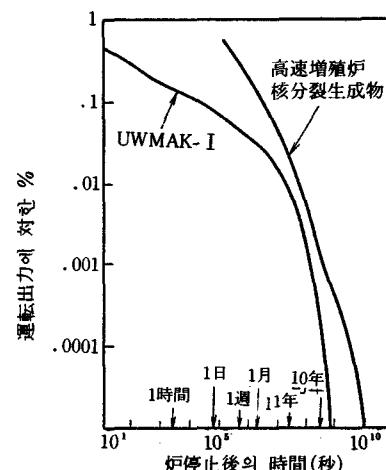
에 따르면 핵에너지의 이상방출은 그 炉의 1초간의 전기출력 이하가 되기 때문에 이것이 직접 力学的에너지로 환경에 영향을 주는 일은 없다고 한다. 한편, 핵융합로의 자기제어성에 대해서는 아직 충분히 해명되고 있지는 않으나,前述한 바와 같이 炉内연료가 적고 반응정지가 용이하기 때문에 핵에너지방출이 크게 되지는

않는다고 생각된다. 어느 경우도 핵반응 異常에 의해서 力学的에너지가 환경으로 多量 방출되는 일은 없다고 할 수 있다. 따라서 DBA는 방사성물질 방출과 관련된 사고가 중심이 된다. 이러한 사고는 炉内에서의 열발생과 열제거 balance가 균형을 잃을 때 일어난다고 생각하는것이 보통이다.

경수炉에서는 냉각재상실사고와 蒸氣管破斷事故 두 가지를 격납용기내 방출의 대표와 地上방출의 대표로 취급하고 있다. 이들은 1차 및 2차 냉각재 配管破斷에 따르는 炉의 냉각능력低下를 가져오며, 炉内에서 炉정지후에 생기는 방사성물질의 봉피열 제거가 불충분하면 방사성물질의 격납이 파괴되어 방사성물질 방출에 이르게 된다.

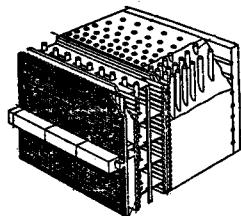
핵융합로의 경우는 tritium增殖 blanket와 中성자에 의해 방사화된 제1壁을 포함한 구조材의 봉피열 제거가 문제이며, 이것이 불충분한 경우 tritium을 주로 한 방사성물질 방출로 이어지게 된다. 그림 3은 핵분열炉와 핵융합로에서의 봉피열 예를 표시한 것이다. 핵융합로의 봉피열은 구조材의 방사화에 의한 것이므로 핵분열炉에 비해 비교적 적으며 재료선택에 따라 더욱 적어지고, 伝導, 輻射에 의한 自然熱除去

〈그림 3〉 核分裂炉와 核融合炉의 崩壊熱 比較
(約1.5年運転後)



가능성도 있다. 또 핵융합로에서는 炉型에 따라 超電導 magnet 등에서의 電磁 energy 방출, 또는 lithium 등의 액체금속 火災 등에 기인하여 방사성물질이 방출될 가능성도 있다.

그 이외의 사고발생因子로 炉心의 local fault 등 表6에서와 같은 事象이 핵융합炉에 대해서 논의되고 있다.

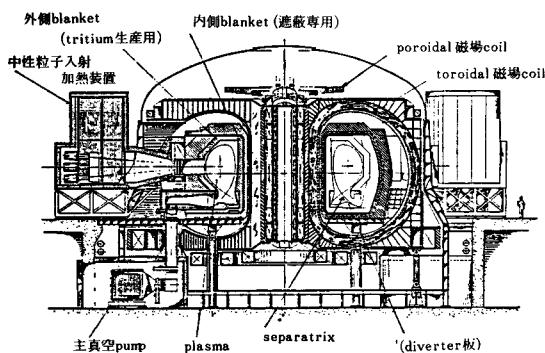


特別企劃 核融合- 그 技術的課題와 開發戰略의 前提 (3)

核融合炉材料의 使用条件

재료의 연구개발은 핵융합로의 개발에 있어 중요한 과제이다. 현재 각국에서 건설되고 있는 대형 TOKAMAK 실험장치 (JT-60, TFTR, JET, T-15)와 実驗炉級장치인 “次期裝置” 또한 그 후단계인 “動力炉”에서의 재료개발에 대한 요구는 달라질 것으로 생각된다.

〈그림 1〉 INTOR 垂直断面図



최근 차기장치 설계의 進展에 의해 实驗炉에서의 재료사용조건이 상당히 명확해졌다. 차기장치로 현재 설계가 진행되고 있는 것은 국제 협력 TOKAMAK炉(INTOR), 미국의 国内次期장치 (FED)와 일본의 国内차기장치 (FER)이다. 이중에서 경토가 가장 進行된 것은 INTOR이다. 여기서는 재료의 연구개발을 가장 필요

〈表 1〉 INTOR의 主要 parameter

核融合出力	620MW
燃焼時間 第1/第2段階	100s/200s
負荷率 第1/第2段階	70%/80%
稼動率	25% (最大目標50%)
plasma主半径	5.2m
plasma副半径 橫/縱	1.2m/1.9m
平均ion溫度	10keV
平均ion密度	$1.4 \times 10^{19} m^{-3}$
에너지密閉時間	1.4s
plasma電流	6.4MA
軸上磁場	5.5T
加熱入力	75MW
入射粒子에너지	175keV
中性子壁負荷	$1.3 MW/m^2$
toroidal 磁場coil 超電導材	Nb ₃ Sn
toroidal 磁場coil 数	12
tritium inventory	~4kg
tritium消費量 (25%稼動率)	~7kg/yr