

# 西獨의 再處理 遠隔技術

## - FEMO技術의 安全性 -

이 FEMO技術은 지금까지의 再處理技術과 비교하여 약간 새로운 개념을 포함하고 있기 때문에 그 安全性에 대해 인허가 단계에서 충분한 검토를 행한 결과 FEMO기술 고유의 安全性이 인정되어 1985년 11월에 최초의 부분적인 건설허가가 나왔다.

### 1. 序 論

서독에서는 소형 再處理플랜트 WAK (Weideraufarbeitungs Karlsruhe)가 1971년 이래 조업하고 있으며, 또한 대형 재처리플랜트 건설계획이 수립되어 그 규모, 입지, 기술 등에 대해 여러가지 검토가 이루어져 왔다. 그동안 政治上의 변화와 퍼브릭어셴텐스 등의 문제도 있고, 입지 등에 관해 다소의 우여곡절을 거쳤지만 1985년 2월 바이에른州 백커스도르프에 350~500TU (톤·우라늄) 정도의 규모를 갖는 플랜트 WAW (Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf)를 건설하는 것이 결정되었다. 그리고 1985년 3월에는 施設者인 독일핵연료재처리회사 DWK (Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen)와 백커스도르프 재처리시설의 受注母體가 되는 콘소시움 EWW (Errichtungskonsortium Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf)와의 사이에 턴키 조약이 체결되어 1995년 운전개시를 목표로 현재 건설기초공사를 하고 있다.

本 施設의 주요제원을 表 1에 나타내었다. 이 재처리시설의 기술적 특징은 서독이 지금까지 WAK나 칼스루에원자력연구소 KfK (Kernforschungszentrum Karlsruhe)에서 개발한 기술과 DWK가 미국의 기술 등을 참고로 하여 독자적

<表 1> 백커스도르프 再處理施設의 諸元

設計值		
對象輕水爐燃料	PWR	70wt%
	BWR	30wt%
	MOX (內數)	10wt%
平均燃燒度		40,000 MWD/톤·우라늄
個別燃料의 最高燃燒度		50,000 MWD/톤·우라늄
初期濃縮度		最大 4% U-235 當量
使用後燃料의 冷却期間		
貯藏을 위한 受入		1年
再處理를 위한 受入		7年
平均處理量		2톤/日
稼動率		75%
貯藏容量	使用後燃料貯藏庫	1,500톤
	工程內貯藏庫	200톤
	MOX燃料貯藏庫	30톤
設備電力		30MVA
가스使用量		4,200m <sup>3</sup> /時
淨水使用量 (飲料水, 使用水)		460,000m <sup>3</sup> /年
廢水量		260,000m <sup>3</sup> /年
受入		
對象燃料		1,450體/年
MOX燃料用	UO <sub>2</sub> 粉末	98톤/年
同	PuO <sub>2</sub> 粉末	1톤/年

製品	
硫酸우라늄溶液	460톤/年
MOX燃料集合體	210體/年
MOX燃料의 構成	플루토늄 5.7톤/年 우라늄 108톤/年
廢棄物量	
HAW 유리블록	430블록/年
MAW 400l 드럼	2,000드럼/年 ≈ 800 m <sup>3</sup>
LAW 400l 드럼	3,100/年 ≈ 1,240 m <sup>3</sup>
LAW MAW와 같은 시멘트 固化體(400l 드럼)	3,200드럼/年
트리튬 포함 시멘트 固化體 (400l드럼)	5,000드럼/年 ≈ 2,000m <sup>3</sup>

으로 개발한 재처리시설을 위한 원격조작형 모듈 방식 FEMO(Fernhantierungsgerechte Modulbauweise)를 기본기술로 채용하고 있다는 점이다.

이 FEMO기술은 지금까지의 再處理技術과 비교하여 약간 새로운 개념을 포함하고 있기 때문에 그 安全性에 대해 충분한 검토가 필요하였다. 따라서 이 점에 대해서 인허가단계에서 관계기관, 인허가당국 모두 충분한 검토를 행한 결과 FEMO기술의 고유의 안전성이 인정되어 1985년 11월에 최초의 부분적인 건설허가가 나왔다.

## 2. 西獨의 再處理施設 概念

### 2.1 핫셀設計에 대한 思考方式

현재 공업규모의 再처리 施設에서는 수많은 소형셀을 배열한 핫셀방식의 채용이 일반적 추세로서 미국의 사마나리버工場과 같은 경우는 오히려 예외적 존재라 할 수 있다.

이 소형셀방식의 경우 機械프로세스셀에는 납 유리제품의 창, 크레인, 매니플레터 등이 장비되어 있다. 또 化學프로세스에서는 주로 직접보수방식을 채용하고 있기 때문에 내부의 高線量區域에서 수리가 필요한 경우에는 충분한 除染과 一

時遮蔽 등으로 대응할 필요가 있다.

이에 대해 DWK社가 백커스도르프플랜트에 채용한 FEMO技術은 완전한 원격운전, 보수방식이다. 中·高레벨의 방사성물질을 취급하는 프로세스機器는 형식, 形, 규격 등이 표준화된 약 80基의 모듈中에 들어가고, 이들 모듈은 모두 두 개의 대형 프로세스셀에 정연히 배치된다. 그 原型은 하노바 서쪽의 라디(Lahde)에 있는 FEMO의 모크업에서 시험시설로 구체화되고 있다.

이와 같은 設計概念은 다음과 같은 분야의 최신기술을 도입할 수 있다는 점에서 두드러진다.

- 운전 및 保守를 컴퓨터에 의해 제어하기 위한 마이크로일렉트로닉스

- 기계장치의 운전 및 保守를 위한 TV시스템

- 다목적기능을 갖춘 매니플레터 시스템

이들 기술을 도입함으로써 셀內에서의 직접보수작업 등을 하지 않아도 된다. 직접보수작업이 필요한 경우는 셀內 기기 등을 셀 상방의 특별서비스에리어로 반송한후 처리하는 방법이 채용된다.

또 WAW시설의 FEMO셀 내부에는 특수한 防爆機構를 갖춘 기기나 특별한 소화설비 등을 마련하지 않고, 셀內 분위기로 不活性가스를 사용한 防爆시스템을 채용한다. 기타 再處理施設內에서 취급하는 線量率을 낮추기 위해 재처리하기 전에 연료의 냉각기간을 가능하면 길게 하도록 계획되어 있다.

### 2.2 백커스도르프施設에 FEMO方式 導入

FEMO의 설계에서는 오염되어 있는 內裝機器의 교환이 용이하다는 점에 큰 특징이 있다. 그 결과

- 시설의 利用率 및 信賴性이 높아진다,

- 新프로세스, 개량프로세스의 적용이 가능해진다,

- 새로운 설계나 기기의 도입이 가능해진다 등의 이점이 발생하고, 또한 전체코스트를 내리는 방향으로 기여한다.

이들 내용을 구체적으로 기술하면 다음과 같다.

#### (設計)

○기기설계에서는 수명보다 운전성능을 중시한다. 기계장치, 計量펌프, 측정기기, 遠心機, 필터 등에 대해 고성능, 고감도의 장치를 사용할 수 있다.

○표준화된 기기, 배관, 라크를 사용한다. 이들에 대해서는 耐震, 對飛來物落下 등의 대응이 예비시험의 실시를 포함하여 사전에 검토되고 있다.

#### (건설)

○플랜트 밖에서 미리 라크단위로 기기, 배관 등의 조립, 품질관리가 행해지므로 建設期間을 단축할 수 있다.

#### (스타트업)

○플랜트 밖에서 性能테스트를 실시한 후에 セル内部에 설치하므로 熱運轉을 시작하고 나서도 상당히 단기간으로 프로세스시스템의 변경이 가능하며, 또한 변경후의 스타트업도 용이하다.

○종래방식에서는 耐久性을 重視하였기 때문에 단순하기는 하지만, 성능이 떨어지는 프로세스를 이용하는 경우도 있었다. 그러나 FEMO에서는 프로세스의으로도, 장치적으로도 효율을 증시하여 적절한 시스템을 선택할 수 있다. 예를 들면, 플루토늄 電解法에 의한 산화프로세스의 적용 등도 고려에 넣을 수 있다.

#### (메인터넌스)

○고장기기의 단시간내 교환이 가능하다.

○표준화되고, 사전에 시험이 끝난 스페어部品の 사용이 가능하다.

○계획적인 보수나 정기점검이 용이하다.

#### (폐기물 발생량)

○유효한 프로세스試藥의 사용, 또는 고성능 기기의 사용에 의해 프로세스 폐기물의 低減化가 도모된다. 前者의 예로는  $N_2H_4$ 試藥의 사용(사용후 분해되므로 폐기물량이 적어진다), 後者로는 기기성능의 향상에 의한 廢溶媒量의 감소 등

을 생각할 수 있다.

○설비의 철거나 스크랩화 등의 경우에 새롭게 도입하는 기기나 재료의 양이 적으므로 스크랩의 양을 감소시킬 수 있다.

○직접보수의 경우 예비적 除染이 불필요하므로 除染에 수반되어 새로 발생하는 폐기물의 양을 低減시킬 수 있다.

이상과 같이 FEMO기술은

○高稼働率을 기대할 수 있다,

○프로세스성능을 향상시킬 수 있고,

○메인터넌스 費用을 절감시킬 수 있고,

○運轉코스트를 감소시키며,

○재처리 전체 코스트의 低減化를 가능하게 할 수 있다는 특징을 갖는다.

### 3. FEMO方式의 安全性

FEMO技術을 채용한 결과, 안전성의 면에서 어떤 영향이 발생하는가에 대해 통상의 셀방식(대표로서 DWK에서 검토한 WA350플랜트를 예로 든다)과 FEMO방식(WAW플랜트의 적용)의 비교를 표 2에 나타내었다.

이상과 같은 分析을 토대로 프로세스 자체는 거의 마찬가지로인 兩者에 대해 안전성을 비교한다.

#### 3.1 基本事故事象의 區分

이 검토를 진행함에 있어서 첫째로 사고사상을 그것이 시설, 작업원 또는 환경에 주는 임팩트의 크기에 따라 구분한다.

##### (구분 1)

가장 심한 사고사상이지만, 발생빈도는 극히 낮은 다음과 같은 사항.

○異常強度의 지진

○비행기의 낙하

○전력, 질소, 냉각수 등의 공급이 장시간 두절

이러한 사태가 한번 발생하면 환경에 대한 방사선피폭량은 한 사고당  $0.3man \cdot Sv$  이상, 50

〈表2〉通常의 셀方式(WA-350)과 FEMO方式(WAW)과의 비교

	통상의 셀방식	FEMO방식
<b>a. 高·中 레벨 프로세스의 건물 데이터</b>		
○ 핫셀의 數	40~70	2
○ 1셀의 용적	100~2,000m <sup>3</sup>	25,000m <sup>3</sup>
○ 1셀內의 液量	5~50m <sup>3</sup>	500m <sup>3</sup>
○ 외부와의 접속	다수의 개러리	소수의 개러리
○ 内部間에서의 접속	특수한 방호개러리	모든 셀內
○ 화학 약품과 유틸리티의 공급	표준	표준
○ 기기의 서포트	바닥, 벽, 라크에의 개별 장치	표준 모듈
<b>b. 방호설비의 데이터</b>		
○ 셀內분위기	공기	90% 질소
○ 換氣回數 (셀 용적/時)	6~10	0.02
○ 필터	표준	표준
○ 냉각	없음	셀內
○ 방수	물 스프레이, CO <sub>2</sub> 스프레이	N <sub>2</sub> 분위기
○ 防爆	방폭장치(필요에 따라)	N <sub>2</sub> 분위기
○ 漏洩防止	바닥 라이너, 드리프트레이	셀 라이너
○ 機器의 방사선 손상에 대한 遮蔽	방사선 레벨에 따라 셀 벽을 설치	프로세스 最適化에 따른 기기 배치
○ 人體遮蔽	표준	표준
<b>c. 機器의 제작기준</b>		
○ 재료선정	플랜트 수명에 필적하는 재료 수명 또는 리턴던시로 대응	표준수명
○ 프로세스 성능	가능한한 장수명인 것	프로세스의 最適선정을 기준
○ 메인テナンス	원격/직접	원격
○ 제어	표준	인라인 機器를 이용한 最適化
○ 검사	간접/직접	원격
○ 자동화	표준	인라인 기기를 사용한 最適化

man·Sv 이하의 영향을 미치는 것으로 추정된다.

(구분 2)

시설 및 작업원에 임팩트를 주는 사고 사상으로 이것이 발생하면 施設運轉이 장기에 걸쳐 정지되고, 환경으로의 임팩트가 발생하는 것도 생각할 수 있다.

이 구분에는 다음과 같은 사고가 속한다.

○ 시설내의 방사성물질 취급구역에서의 화재

○ 槽類나 蒸發드럼 등의 폭발

이와 같은 사고가 발생하면 기기의 파손 등에 의해 2차 재해가 발생하고 공기, 용매, 산 등의 흐름을 제어하는 것이 불가능해 질 수 있다.

(구분 3)

시설의 일부가 파손되어 방사성물질이 短時間 漏洩되지만, 환경으로의 임팩트는 허용범위내 정도의 사고사상이다.

(구분 4)

가장 경미한 사상이며, 기기의 誤動作 등에 의해 발생하는 트리블이라고 할 수 있을 정도의 것으로서 그 修復對策에 대해서는 사전에 검토가 완료되어 있다. 예를 들면, 다음과 같은 경우이다.

○ 파이프, 젯트, 에어리프트의 閉塞

○ 밸브의 漏洩

○ 펌프나 攪拌部の 損耗

○ 계량 장치의 파손

### 3.2 事故의 發生確率

파손의 가능성에 대한 상세한 검토 및 종래방식과 FEMO방식의 장치적인 비교를 함으로써 필요한 예방대책과 중대한 결과에 이를 가능성에 관해 전체적인 평가를 해 둘 필요가 있다.

表 3에 대응능력과 예상되는 결과에 대해 일반적인 사항을 기술하였다.

구분 1에는 지진, 비행기낙하, 電力供給系統이나 換排氣系統 및 가스나 냉각수계통의 장기고장 등이 예이다.

구분 2 및 3에는 셀內화재, 臨界사고, 폭발 및

<表 3> 事故事象의 對應

사상구분	항 목	통상의 셀방식 (WA-350)	FEMO 방식 (WAW)
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>·耐震上의 配慮</li> <li>·건물구조의 크랙</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·셀 구조가 복잡하기 때문에 耐震計算이 극히 곤란</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·입체적인 건물</li> <li>·단순구조이기에 건물이나 라이너에 관한 정확한 계산이 가능</li> <li>·기기 파손을 억제할 수 있다</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>·장치, 기계의 파손</li> <li>·기기 파손에 의한 화재</li> <li>·비행기 낙하에 의한 피해의 제어</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·장치의 서포트로의 응답력을 제어하기가 어렵다</li> <li>·셀內 火災의 가능성 있음</li> <li>·비행기의 가솔린에 의한 화재가 셀內에 영향을 미칠 가능성이 있다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·화재는 발생하지 않는다</li> <li>·FEMO 셀內로 화재의 영향은 없다</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>·장기 파손</li> <li>·給電</li> <li>·셀內 분위기</li> <li>·냉각수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·비상시에 이르기 전에 시간적 여유 있다</li> <li>·리던던시 있음</li> <li>·폭발이 일어날 분위기에 이르기까지 시간</li> <li>·리던던시</li> <li>·자연순환냉각 시스템</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·左同</li> <li>·左同</li> <li>·질소농도가 높으므로 장기 안전성을 유지할 수 있다</li> <li>·左同</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>·프로세스 셀內의 화재</li> <li>·臨界暴走</li> <li>·폭발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·발생할 수 있지만 산소량은 한정</li> <li>·셀內 압력 상승</li> <li>·일어날 수 있다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·질소분위기 때문에 일어날 수 없다</li> <li>·FEMO 셀內의 압력 상승은 발생하지 않는다</li> <li>·중성자 檢知機能의 유지가 용이하다</li> <li>·左同</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>·피해는 소설內에 한정</li> <li>·방사능 방출을 수반하는 압력상승 있을 수 있다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·특별 대책을 강구하지 않을 경우에 피해가 확대될 우려 있다</li> <li>·압력상승 없다</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>·중량물 낙하</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·保守를 위해 플랜트의 셋다운이 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·리프트의 높이가 낮고 흔들림도 없기 때문에 2차 재해가 발생되기 어렵다</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>·閉塞</li> <li>·밸브, 파이프, 프란지의 漏洩</li> <li>·가스켓, 攪拌部, 펌프의 損耗</li> <li>·計測機器 損傷</li> <li>·腐蝕(蒸發드럼, 열교환기 등)</li> <li>·방사선 손상(모터, 케)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·종종 있다</li> <li>·플랜트의 셋다운이 있을 수 있다</li> <li>·셀內에 밸브가 없고 배관은 100% 용접이므로 원칙적으로 漏洩은 없다</li> <li>·배리어가 있으므로 환경으로의 임팩트는 없다</li> <li>·종종 있다</li> <li>·특별한 배려가 있으면 플랜트의 셋다운은 필요없다</li> <li>·거의 문제 없다</li> <li>·만약 발생했을 경우에는 장기간의 플랜트 정지가 필요</li> <li>·遮蔽가 되어 있어 교환빈도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·左同</li> <li>·단기의 운전 정지가 있을 수 있을 정도</li> <li>·접속밸브 부분 등에서 漏洩이 있을 수 있다. 漏洩時는 운전을 정지하고 원경 保守를 한다</li> <li>·左同</li> <li>·左同</li> <li>·원경보수로 대응하고, 플랜트의 셋다운은 필요없다</li> <li>·左同</li> <li>·원격으로 모둘마다 교환할 수 있기 때문에 플랜트 정지는 短期로 대응가능</li> <li>·교환빈도는 통상 방식보다</li> </ul>

이불, 스윗 치 등)	는 적으나 교환 시는 플랜트의 정지가 필요	높지만 원격교 환이 용이하기 때문에 플랜트 의 정지는 거의 불필요
· 照明의 고 장	· 종종 있다	· 左同
· 기계 설비 의 損耗	· 프로세스로 의 영향은 없다	· 단시간의 프 로세스 정지는 있을 수 있다
	· 종종 있다	· 左同
	· 修復을 위해 서는 플랜트의 정지가 수반된 다. 長期의 메 인터넌스 기간 을 요할 수 있 다	· 短時間 운전 정지를 하고 원 격으로 기기를 교환한다

중량물의 낙하 등이 포함된다.

구분 4에는 閉塞, 漏洩, 消耗, 損傷 등 상당히 빈도가 높지만, 사고사상으로는 경미한 것이 포함되어 있다.

이들 사고사상중 증대하지만 극히 發生確率이 낮은 것에 대해서는 손해의 크기나 빈도를 고려하여 평가해야 한다. 비교한 결과 FEMO방식은 이들 사고사상에 대해 안전기술상 유리하다고 생각된다. 그 주된 배경으로 FEMO셀에서는

○ 내부 분위기로 질소가스(90~92%)를 사용하고 있는 것,

○ 換氣回數가 매우 적은 것,

○ 외부로부터의 임팩트에 대해 開口部가 적은 것

등에 의해 화재의 위험성을 경감하는 조치가 취해지고 있는 것을 들 수 있다.

발생빈도가 높은 사고사상에 대해서는 안전성의 면에서 兩方式의 사이에 기본적 차이는 없다. 플랜트나 프로세스의 성능에 관해서는 효율성, 가동율, 保守, 기타의 면에서 FEMO방식이 유리하다고 생각된다.

### 3.3 FEMO設計의 利點

FEMO방식은 안전성의 면에서도 장점을 갖는데 상세하게 기술하면 다음과 같다. 이 방식에서는

○ 예방수단을 강구함으로써 사고발생확률을 줄일 수 있다,

○ 사고가 발생했을 경우라도 시설, 작업원, 환경으로의 임팩트를 경감시킬 수 있다 등의 대책이 시행되고 있기 때문에 전체적으로 被曝線量이 낮게 억제되고 있다

지금까지 서술한 사고사상에 대해 시설, 작업원, 환경으로의 임팩트 등이 어느 정도의 것인지 평가해 본다.

지금까지 사고사상의 발생이 일어나기 쉬운데 대해 서술하였는데, 다음에는 임팩트의 크기에 대해 비교하고 그 경감화 가능성을 건설, 운전, 예방, 방호 등의 관점에서 검토해 본다. 이 검토는 중업원, 기기나 설비, 환경으로의 임팩트 크기를 定性的으로 평가한 것이다.

表 4 에는 지금까지 서술해 온 각 사고사상에 대한 상세한 평가를 나타냈다. 이 표에는 다음 사항이 포함되어 있다

○ 사고에 의해 발생하는 손해의 크기

○ 생각할 수 있는 2차 재해

○ 손해를 안전하게 조치하는 방법

○ 시설이나 생산의 피해 정도

○ 放射線의 영향

○ 일반적인 안전성

a項에는 지진의 결과를 나타낸다. FEMO에서는 셀의 形이 단순한 입방체구조이므로 建物構造나 셀라이닝 등에 관한 약점이 없다. 따라서 地 表나 환경으로의 방사선 漏洩을 회피할 수 있다. 통상의 셀방식에서는 지진의 경우 검사나 수리가 극히 곤란하여 不完全하다.

FEMO에서는 표준화되고, 사전에 체크된 모듈을 사용한 설계가 채용되고 있으므로 지진에 의한 기기, 槽, 배관, 建物구조의 피해를 피할 수 있다. 창문이나 문에서의 漏洩은 FEMO셀에서

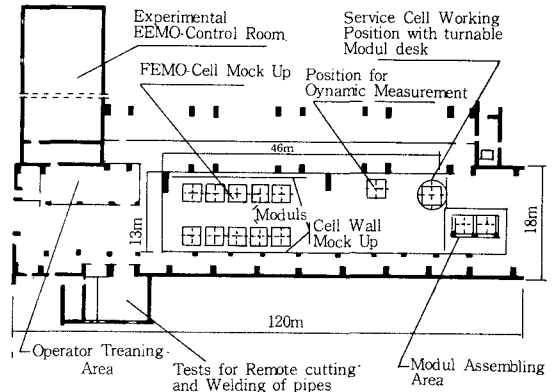
는 생각할 수 없다.

〈表 4〉 安全性的 考察

원인	피 해		통상의 셀 방식 (WA-350)	FEMO셀 방식 (WAW)
	1차	2차		
(a) 地震	건물의 크랙	· 槽 및 그 서포트의 弱體化 · 라이닝의 손상 · 밀폐된 계로 부터의 漏洩 · 修復	가능성 있음 있을 수 있다 있을 수 있다 있을 수 있다 곤란, 불완전	가능성 낮다 가능성 없음 가능성 없음 가능성 없음 필요 없음
	기계 또는 라크의 손상	· 프로세스의 정지 · 플랜트의 오염 · 직접 검사와 除染 · 교환의 필요성 · 중업원 被曝	가능성 있다 가능성 있다 가능성 있다 가능성 있다 증가 방향	가능성은 낮다 거의 불필요
(b) 셀내 화재, 장치의 폭발	기기 파손에 의한 화재	· 플랜트의 셋 다운 · 기기의 스크랩화 · 방사능의 방출 · 교환의 필요성 · 中業원 피폭	가능성 있다 있다 가능성 있다 있다 증가 방향 가능성 있음	가능성 없음
	착화 또			

는 반응에 의한 폭발	· 플랜트의 셋 다운 · 기기의 스크랩화 · 폐기물의 발생 · 방사능의 방출 · 수리·교환 · 中業원 피폭	있다 있다 있다 가능성 있다 상당히 곤란 상당히 있다	있다 있다 있다 가능성 낮다 비교적 용이 없다
중량물 낙하	· 라이너의 손상 · 건물의 손상 · 漏洩 · 화재 · 수리 · 中業원 피폭	있을 수 있다. 단, 운전중은 생각할 수 없다 가능성 있다 가능성 있다 가능성 있다 직접 방식 증가 방향	가능성 있다 가능성 낮다 가능성 낮다 가능성 있다 가능성 없다 원격 방식 없다
臨界 및 중량물 낙하	臨界	설계상에는 생각하기 어렵지만 가정으로서 검토 가능성 있다 있다 있다 가능성 있다	左同 가능성 있다 있다 가능성 낮다 가능성 낮다
부식	· 플랜트 셋	있을 수 있다 長期	있을 수 있다 短期

(d) 기기의 부식, 마모, 閉塞, 漏洩, 방사선 손상	다운 크래치 · 폐기물 발생량 · 장치의 교환 · 작업의 피폭량 · 방사능 방출	· 장치의 수 있다 · 폐기물 발생량 50~200 m <sup>3</sup> · 장치의 교체 직접 · 작업의 피폭량 0.3~1 man.Sv · 방사능 방출 가능성 있다	있다 10~20m <sup>3</sup> 원격 환기량이 적으므로 무시할 수 있을 정도
	마모, 폐쇄, 漏洩, 방사선 손상	· 프로세스 정지 · 장치 교환 · 작업원 피폭량	있을 수 있다. 長期 특수기기가 필요 가능성 있다 있을 수 있으나, 短期 원격



〈그림 1〉 라디의 FEMO셀 목업試驗施設배치도

에서는 셀라이닝이나 建物の 파손, 槽類나 배관의 漏洩, 화재 등 중대한 결과를 초래할 우려가 있으며, 또 修復도 곤란한 경우가 많다. 이에 대해 FEMO방식에서는 예방조치가 강구되어 있는 외에, 만약 수복이 필요하면 원격수리가 가능하다.

臨界事故의 방지라는 면에서는 兩方式 모두 큰 차이가 없다.

漏洩이 발생했을 경우에도 오프가스系統으로부터의 방사능 방출이 최소한으로 억제되며, 그 장치의 수복에 플랜트를 장기간 정지하지 않고 실시할 수 있는 것이 FEMO방식의 특징이다.

프로세스內 발열성 용액의 냉각은 외부 및 내부로부터의 모든 사고에 대해 배려되어 있으므로 냉각수나 전력의 공급이 정지되어도 위험한 상태로는 되지 않는다.

FEMO셀內의 부식에 의한 장치의 파손이 발생하더라도 d項에서 알 수 있듯이, 사전에 준비되어 있는 모듈을 사용하여 수리하므로 메인터너스要員이 被曝당하는 일이 없고, 또 장기간의 운전정지도 피할 수 있다. WAK에서의 경험을 고려하면 통상의 셀을 사용한 플랜트에서는 이와 같은 고장수리시의 被曝을 무시할 수 없다.

d項에 나타나 있는 부식, 방사선손상, 마모, 폐쇄, 漏洩 등에 의한 기기의 손상에 대해서는 FEMO방식의 경우 통상운전중에 대처할 수 있

b項에는 화재나 폭발시의 결과가 나타나 있다. 화재의 위험성을 피하기 위해 셀內가 불연성 분위기로 유지되어 있으므로 그것을 유지하기 위해 긴급용 보급질소의 저장설비, 耐震구조로 되어 있는 給電설비 및 換排氣설비 등이 설치되어 있다.

이에 대해 통상의 셀방식에서는 가연성액체나 發火源을 취급할 경우 화재의 가능성을 배제하기 어렵다.

더우기 b項에 표시되어 있는 폭발에 대해서는 FEMO의 경우 하나의 셀容積이 큰만큼 레드오일반응 등에 의한 塔槽類의 폭발 위험성에 대응하기 위해서 특별한 배려가 필요하다.

그러나 셀이 大型이기 때문에 반대로 셀內압력의 급격한 상승을 피할 수 있으므로 환경으로의 방사능 방출을 최소한으로 억제할 수 있다.

통상의 셀에서는 폭발에 이어 화재가 발생하는 리스크를 피하기 어렵다.

c項에 표시된 중량물의 낙하는 통상의 셀방식



〈表 5〉 信賴性, 處理量 및 放射線線量率

	통상의 셀방식	FEMO방식
이용을 손상됐을 때의 셋다운의 기간	235日/年(정상) 최대 235日/年	235日/年(정상). 數日 또는 週의 오더=톤 당의 방사선피폭을 대폭 低減化
생산을 위한 피폭량: 保守를 위한 피폭량	1:1	1:0.2

으므로 직접보수를 위한 운전정지나 작업원의 피폭 등을 생각할 필요가 없고, 또 특별한 방화처치 등을 고려하지 않아도 된다.

FEMO방식의 利點은 다음과 같은 사항에 대해 FEMO셀內에서의 검사를 정기적으로 실시하는 시스템이 구축되어 있다는 것이다.

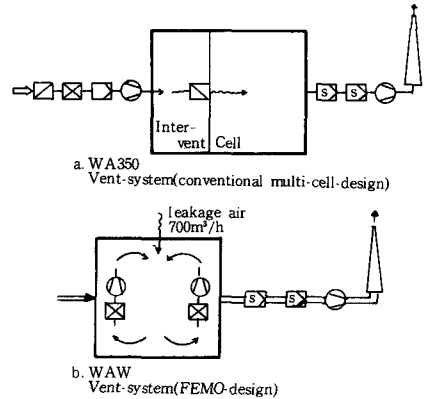
- 중량물 낙하, 케이블파손, 모듈이나 라크의 건전성
- 槽類, 배관, 밸브 등의 漏洩에 대한 密封性
- 臨界에 관한 形狀維持나 제한치로의 적합
- 臨界, 폐쇄, 레드오일의 폭발 등에 대응한 운전의 제어와 표준운전

#### 4. 結 論

지금까지 서술한 것을 종합하면, FEMO방식은 연간생산량을 높이는데 본질적으로 높은 신뢰성을 확보할 수 있는 가능성이 있고, 우라늄 1톤 당의 처리량에 대한 집단피폭선량치를 낮추는 데에도 기여하는 것으로 생각된다. 전체의 투자액도 그다지 높지 않고, 프로세스기기도 실제입증이 끝난 것을 사용하고 있다. 또 計裝機器, TV, 매니플레이터 등에는 최신기술이 적용되고 있다.

더욱 FEMO방식은 높은 안전성을 유지할 수 있을 뿐 아니라, 플랜트가 장기간 정지하지 않고 새로운 개량기기를 프로세스에 적용하는 것이 가능한 점에서도 두드러진다.

게다가 장래에는 프로세스 자체의 개량에도 대



〈그림 2〉 WA-350과 WAW의 환기시스템 비교

처할 수 있다. 예를 들면, 제품인 우라늄이나 플루트늄의 純度를 다소 낮춘다면 精製 프로세스를 간략화할 수 있다. 단, 이 경우 연료의 再成型加工工程을 省略화할 필요가 있으므로 어느 쪽이 경제적인가를 검토할 필요가 있다.

또한 일반적으로 프로세스를 간략화한다는 것은 기기의 수를 줄일 수 있을 뿐 아니라 배기가스량의 감소, 라이닝코스트의 감소에도 기여한다. 그 밖에 FEMO방식에서 特記할 점으로는 ○수명이 짧아도 효율이 높은 기기를 사용할 것,

○방사선 耐久性에서는 뒤떨어져도 효율이 높은 재료를 사용할 것 등이 있다.

또 발생확율은 극히 적지만, 만일 발생하면 큰 사고가 될 가능성이 있는 지진이나 화재가 일어나더라도 FEMO의 경우는 높은 안전기준치를 채용하고 있으므로 환경으로의 중대한 影響를 막을 수 있다.

이와 같이 FEMO방식에서는 끊임없는 개량을 반복하는 것이 가능하며, 그에 따라

- 플랜트 정지 리스크의 경감화
- 방사성물질의 환경으로의 방출량 저감화
- 작업원 피폭의 저감화
- 재처리 코스트의 저감화

등의 목표에 접근할 수 있으며, 그 결과,

- 高安全性 ○高生産性 ○高効率
- 등의 달성이 가능해 진다.