

# 日本の核燃料 成型加工 발자취

*History and Present Status of  
Nuclear Fuel Fabrication  
in Japan*



清澤 暢 人  
〈原子燃料工業(株) 企劃部長〉

## 1. 序 論

輕水爐用(PWR과 BWR) 核燃料의 成型加工은 日本의 核燃料週期中 國産化가 가장 進행된 분야이다. 1970년대 中반까지는 初期裝填分은 수입연료로 이루어졌으나, 그 이후는 初期裝填이나 再裝填에 필요한 모든 核燃料가 3개의 國內 核燃料成型加工會社에 의해서 충족되었다. 즉, JNF와 MNF는 初期裝填과 再裝填用 核燃料를 擔當했고, NFI는 再裝填用 核燃料를 擔當하였다.

日本에서 輕水爐用 核燃料의 成型加工技術에 관한 기초연구와 開發作業은 Toshiba社, Hitachi社, Mitsubishi Metal社, Mitsubishi Atomic Power Industries社, Sumitomo Electric Industries社, Furukawa Electric社 등과 같은 기업들에 의해서 1950년대 후반에 시작되었고, 전문적 기술은 JPDR에서의 일련의 照射試驗과 原子爐 再裝填用 核燃料의 成型加工을 통해서 축적되었다. 商業用 輕水爐의 建設이 進行됨에 따라, 輕水爐用 核燃料를 國內에서 生産하기 위해서 JNF가 1967년에, MNF가 1971년에, NFI가 1972년에 각각 설립되었다.

이들 核燃料成型加工會社는 海外의 核燃料成型加工會社에서 부터 商業規模의 成型加工技術을 도입하고 또한 그때까지 축적된 國內의 技術을 합하여 日本內 輕水爐用 核燃料의 엄격한 요구조건을 충족시키는 輕水爐用 核燃料의 成型加工技術을 확립하였다. 國內의 수요가 증가함에 따라 成型加工能力도 증대되었는데, 세계에서 가장 좋은 品質의 輕水爐用 核燃料 量産體制를 확립하기 위해서 生産性, 品質 및 信賴性의 向上에 최대의 노력이 경주되었다. 日本製 國産 核燃料의 漏出率은 海外 여러나라의 것과 비교하여 가장 낮은 기록중의 하나를 나타내고 있다. 앞의 3個社에서 製造된 核燃料의 量은 UO<sub>2</sub>펠릿으로 약6,900톤, 즉 약2,500,000核燃料棒이다.

## 2. 日本의 核燃料成型加工 概要

核燃料의 成型加工은 우리농 농축공장에서 나온 저농축 육불화우라늄( $UF_6$ )을 가공하여 PWR과 BWR 原子爐에 裝填되는 核燃料集合體로 만드는 工程이다. 이 工程은 다음 네단계로 나뉜다.

### 1) 轉換工程

저농축  $UF_6$ 를 분말형태의 이산화우라늄( $UO_2$ )으로 바꾼다.

### 2) 펠릿加工工程

$UO_2$ 분말을 압축, 소결하여 펠릿을 만들고, 이 펠릿을 규격에 맞는 형태와 크기로 찾아낸다.

### 3) 核燃料棒 製造工程

$UO_2$ 펠릿을 지르칼로이 피복관에 채우고, 관의 양쪽 끝을 지르칼로이 엔드 플러그로 밀봉 용접하여 核燃料棒을 만든다.

### 4) 核燃料集合體 製造工程

규정된 수의 核燃料棒과 그리드, 노즐 등을 합하여 완전한 核燃料集合體로 製造한다.

轉換工程은 MNF와 JOC에 의해서 수행되며,  $UO_2$ 분말에서 부터 核燃料集合體 製造工程까지는 JNF, MNF 및 NFI가 담당하고 있다. 核燃料集合體의 主要 部品中 하나인 지르칼로이 피복관은 Kobe Steel, Sumitomo Metal Industries, Mitsubishi Metal에서 제조되고 있다.

#### (1) Japan Nuclear Fuel Co., Ltd. (JNF)

JNF는 1967년에 美國의 GE社에서 40%, Hitachi에서 30%, Toshiba에서 30%를 출자하여 설립되었다. 初期에는 GE社에서 부터 도입된 技術로 BWR用 核燃料集合體를 製作하였으나, 그후 自體에서 開發한 技術을 GE社의 技術에 점차적으로 결합시켰다. 工場은 Kanagawa 縣 Yokosuka市에 위치하고 있는데, 초기의 製造能力은 140톤U/年이었으나 계속 施設規模를 확장하여 현재는 640톤U/年이다. 1985년에 이 會社는 누계로 BWR用 核燃料集合體 20,000個를 製作하였다.

#### (2) Mitsubishi Nuclear Fuel Co., Ltd.(MNF)

MNF는 1971년에 Mitsubishi Metal에서 51%, Mitsubishi Heavy Industries에서 15%, 美國의 WH社에서 34%를 출자하여 설립되었다. WH社의 技術을 도입한 이 會社는  $UF_6$ 에서 부터 PWR用 核燃料集合體까지를 전반적으로 취급한다. 工場은 Ibaraki 縣 Takai-mura에 자리잡고 있다. 이 會社는 轉換能力 1톤 $UO_2$ /日, 核燃料 成型加工能力 280톤U/年로 시작하였는데, 점점 규모가 증가되어서 轉換工程의 경우 450톤U/年, 核燃料 成型加工工程은 420톤U/年의 容量이 되었다. 1985년에 이 會社의 누적공급량은 PWR用 核燃料集合體 5,000個가 될 것이다.

#### (3) Nuclear Fuel Industries, Ltd. (NFI)

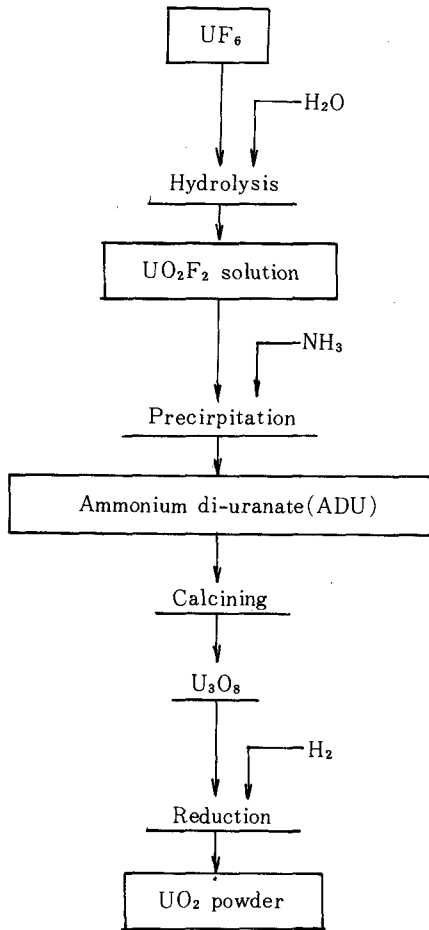
NFI는 1972년에 Furukawa電力과 Sumitomo Electric Industries가 각각 반씩 투자하여 설립되었으며, PWR과 BWR用 核燃料集合體 모두를 製作하고 있다. 이 會社는 PWR用 核燃料의 製造를 위해서는 美國 B&W社에서 부터 技術을 도입하였고, BWR用 核燃料의 경우는 西獨의 KWU社에서 技術을 도입하였다. 또한 이 會社는 研究用 原子爐의 核燃料도 製造한다.

주로 PWR用 核燃料를 생산하는 Osaka 縣 Kumatori-cho에 있는 Kumatori工場의 製作能力은 265톤U/年이고, BWR用 核燃料를 생산하는 Ibaraki 縣 Tokai-mura에 있는 Tokai工場의 容量은 100톤U/年이다. Takai工場은 1986년에 200톤U/年으로 容量을 증가시키기 위해서 신청서를 제출하였다. 이 會社의 누적생산량은 1985년에 PWR과 BWR用을 합하여 1,000個의 核燃料集合體에 이를 것이다.

#### (4) Japan Nuclear Fuel Conversion Co., Ltd. (JCO)

JCO는 1979년에 Sumitomo Metal Mining의 子會社로 설립되었는데, SMM이 1972년이후 축적한 自體의 전문기술을 轉換作業에 사용하고 있다. 工場은 Ibaraki 縣 Tokai-mura에 있으며,

〈그림 1〉 Outline of Conversion Process



UO<sub>2</sub>분말 495톤U/年の容量을 갖고 있다. 製品은 PWR 및 BWR用 核燃料集合體로 成型加工 되기 위해서 JNF와 NFI로 보내진다. 이 會社는 1985년에 누적하여 2,000톤UO<sub>2</sub>분말을 생산하였다.

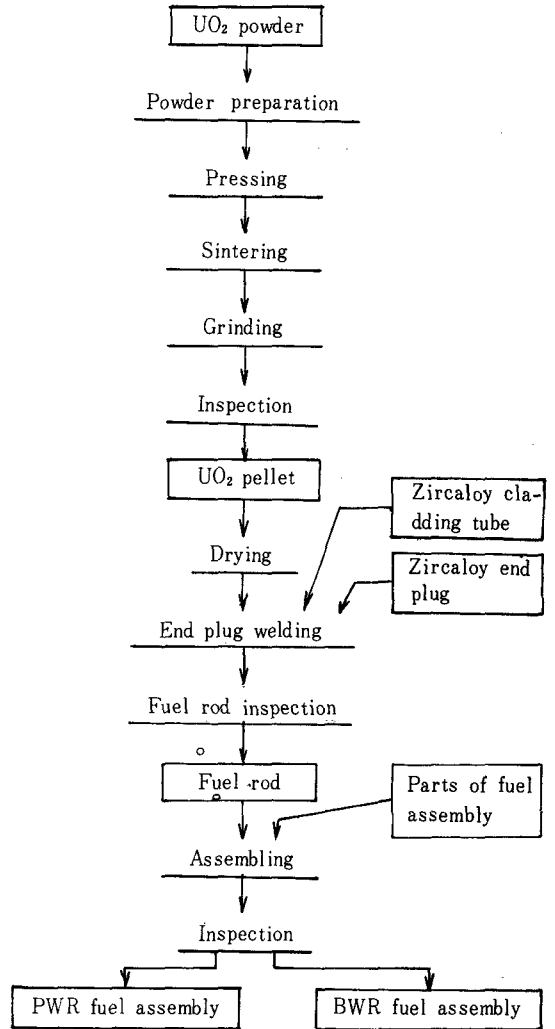
### 3. 日本의 核燃料 成型加工 現況

#### (1) 成型加工工程

日本에서 使用되는 轉換方法은 습식ADU방법이다. 습식ADU방법의 概要를 그림1에 나타내었다. 또한 UO<sub>2</sub>분말에서 부터 核燃料集合體까지의 工程은 그림2에 나타내었다.

그러나 세부공정은 製品의 용도(PWR이나,

〈그림 2〉 Out line of Fuel Assembly Fabrication



BWR이나)에 따라 各 會社마다 다르며, 또 같은 형태의 核燃料集合體이더라도 製造會社가 선택한 成型加工의 단계나 製品의 設計에 따라 달라진다.

製品의 보다 나은 品質을 위해서, 日本의 核燃料 成型加工 會社들은 진보된 마이크로전자파와 기계기술의 도입을 통해 제조단가의 절감, 방사선의 안전성 증가, 제조공정 및 검사과정의 개선을 추구하고 있다. 개선노력중에서 특히 컴퓨터에 의한 공정조건제어, 우라늄원광과 제품저장에 대한 컴퓨터화된 제어계통, 완전

자동화된 펠릿 및 核燃料 검사장치, 인력의 절약과 로보트의 사용에 의한 재료취급에 있어서의 가속화와 안정성 향상 등이 이루어지고 있다.

## (2) 品質保証

原子爐内에서 오랜 기간동안 核燃料集合體의 安全性과 신뢰할 수 있는 성능을 보장하기 위해서는 원광에서 부터 완성된 핵연료 집합체에 까지 이르는 각 단계마다 STATE-OF-THE-ART品質管理가 요구된다.

이와 같은 목적을 만족시키기 위해서 각 成型加工會社들은 JEA에 의해 발간된 “원자력발전소의 품질보증 지침(JEAG 4101)”에 맞춘 자체의 품질보증체계를 확립하고 있다.

원광에서 부터 최종제품에 까지 이르는 각 단계마다 행해지는 核燃料에 대한 엄격한 조사가 특별히 고려되어야 한다. 또한, 이러한 내부조사에 덧붙여 자격있는 기관에서의 조사도 수행되어야 한다. 核燃料製造會社는 사전에 상세한 조사방법과 사양을 명시한 核燃料集合體 및 核燃料部品 檢査에 대한 신청서를 通商産業省에 제출하여야 한다. 그러면 이 신청서를 근거로 엄격한 검사가 通産省의 검사관에 의해서 이루어지며, 이 검사를 통과하여야만 비로소 피복관, 펠릿, 핵연료집합체가 다음 공정에 사용될 수 있다.

또한 電力會社와 核燃料設計메이커들도 중간 마무리 단계나 마지막단계 제품의 품질검사에 참여한다. 품질보증활동은 그들에 의해 수시로 감사를 받는다.

## (3) 核燃料 成型加工 工場의 安全規制

核燃料 成型加工工場의 施設이 건설·운영됨에 따라, 일본에서는 안전에 대한 엄격한 규제 통제가 행해지고 있다.

핵연료의 성형가공사업에 종사하기 위한 핵연료 제조업자는 수상에게서 부터 허가를 각 공장마다 받아야 한다. 허가요청은 특히 제조시설의 위치, 구조물과 시설 등이 核燃料物質의

사고방지에 장애가 되지 않는가에 중점을 두어 검사된다. 허가를 함에 있어서는 原子力委員會와 原子力安全委員會의 의견이 반영된다.

허가를 받은 후 핵연료제조업자는 건설개시 전에 시설의 건설방법과 설계에 대한 인가를 받는다. 또한 시설의 건설중에 검사관에 의해 몇 차례 검사가 수행되고, 이 검사를 성공적으로 통과하면 핵연료제조업자는 핵연료의 제조사업을 시작할 수 있다.

이와 같은 과정은 시설을 교체할 경우에도 똑같이 적용된다. 핵연료제조사업의 신청(또는 교체시험)에서 부터 사업의 시작까지는 거의 2년이 필요하다. 핵연료제조업자는 사업을 시작하기 전에 안전한 공장가동을 확증할 수 있는 안전규정을 정하여 허가를 받아야 하며, 工場의 가동은 규정에 맞추어 안전하게 수행되어야 한다.

## (4) 核燃料物質의 物理的 防禦와 安全保障

일본의 核燃料成型加工會社가 보유하고 있는 저농축우라늄은 평화적 이용을 위해서만 설계된다. 따라서 핵비확산의 견지에서 보면 다음과 같은 안전보장과 물리적 방어가 확립되다.

### 1) 安全保障

핵연료물질은 공장에서 가공하기 전에 핵연료제조업자는 핵연료물질의 측정과 제어방식에 대한 규정을 설정하여야 한다. 工場에서 관리되는 저농축우라늄은 이 규정에 따라 통제된다.

또한 핵비확산조약과 일본·IAEA간 안전보장협정에 따라 각 공장은 일본정부의 자국검사와 IAEA에 의한 국제적 사찰을 받는다.

IAEA에 의한 국제적 사찰은 정규사찰시 한 달에 한번 그리고 재고조사시에는 1년에 1회내지 2회 시행된다.

### 2) 核燃料物質의 物理的 防禦

부정유출 즉, 도난, 수송방해, 공장에 대한 태업 등에서 핵연료물질의 안전보관을 위해 공장시설에 대한 적절한 대책과 정부의 호송하에 핵물질의 운반이 이루어지고 있다.