

1978年度・研究結果報告書  
TRIGA MARK - III用  
核燃料棒의 放射線透過試驗  
Radiography on Fuels  
for TRIGA MARK-III Reactor

KAERI

韓國原子力研究所

~~006951~~ 6249-2592

# 제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

이 보고서를 1978년도 연구결과보고서로 제출합니다.

과제명 : TRIGA Mark III用 核燃料棒 (FLIP Fuel)  
의 放射線 透過 試驗

1979년 2월 15일

|       |   |   |   |
|-------|---|---|---|
| 연구책임자 | 이 | 연 | 필 |
| 연구원   | 박 | 경 | 진 |
|       | 안 | 희 | 성 |
|       | 유 | 근 | 걸 |

# 目 次

|                      |    |
|----------------------|----|
| 요 약                  | 3  |
| I. 序 論               | 5  |
| II. 結 論              | 6  |
| III. 本 論             | 8  |
| 1. 檢査 遂行 内容          | 8  |
| 가. 170 KV X-線 檢査     | 8  |
| 나. 2 MeV X-線 檢査      | 10 |
| 2. 檢査 結果             | 11 |
| 가. 170 KV X-線에 의한 檢査 | 11 |
| 나. 2 MeV X-線에 의한 檢査  | 13 |
| IV. 用語 解説            | 15 |

빈 면

## 요 약

- , 당 소 TRIGA MARK III 원자로에 장진될 약 100개의 핵연료봉의 방사선 투과 검사를 수행하였다.

170 KV 및 2MeV X-선을 이용한 결과는 다음과 같다.

즉 전체적인 제조 상태가 불균일할 뿐만 아니라 Crack이 있는 Pellet로 된 핵연료봉이 있으며 반점들이 필름상에 나타났다. Pellet 내부에서 부터 나타난 이 반점들은 거의 기공일 가능성이 확실하다.

## ABSTRACT

About 100 fuel rods for TRIGA Mark III reactor to be loaded are tested by radiographic Technique in KAERI with 170 KV and 2 MeV X-ray. Manufacturing conditions of the fuel pellets have been found to be irregular. Many of the pellets of fuel rods are cracked. Many spots are found on radiographic film, which are sure to be voids.

## I . 序 論

TRIGA Mark III 原子炉에 裝填될 General Atomic 会社製 核燃料棒 ( FLIP Fuel ) 을 使用하기 前에 放射線 透過 檢査를 試圖하였다. 이는 使用 中에 破損 事故가 일어 났을때 參考 資料가 될 수 있을 것이다.

98 個의 核燃料棒에 대하여 普通 X-線 裝備와 Van de Graaff 를 使用하여 約 700 枚의 透過 寫眞을 촬영하여 그 結果 를 本 報告書에 収録하였다.

## Ⅱ . 結 論

1. 98 個의 核燃料棒 中 2 個는 長이가 約 390 mm되는 1 個의 Pellet 로 되었고 ( 일련번호 6400 및 6387 ), 나머지 96 個는 長이가 約 130 mm되는 3 個의 Pellet 로 되어 있다.

2. 170 KV X - 線에 의한 檢査에 대한 結論은 아래와 같다.

가. Pellet 의 균열 ( Crack ) 에 의한 像 ( Image ) 이 나타남 ( 일련번호 6400 )

나. 核燃料棒이 3 個의 Pellet 로 構成되어 있고, Pellet 사이에 그림 1 에 표시된 바와같이 3 mm에서 10 mm정도의 일정치 않은 間隔이 있는 것이 48 個이고 이 中에서 17 個는 그 間隔 사이에 Z<sub>r</sub> 棒이 보이고 31 個는 보이지 않는다.

다. Pellet 表面에 점 ( 그림 2 參照 ) 이 보이는 것이 48 個 있음. 이는 總 98 個 核燃料棒 各各에 대해서 그 表面의 円周方向으로 8.7 mm씩을 任意의 方位에 4 點만 촬영해서 나타난 것이므로 이런 현상이 나타난 48 個 以下의 50 個 核燃料棒에서도 本檢査에서 채택되지 않은 다른 部位를 촬영한다면 이러한 현상이 나타날 可能性이 있다.

3. 2 MeV X - 線에 의한 檢査에 대한 結論은 아래와 같다.

가. 일련번호 6400 1 個와 7XXX 대 2 個, 및 8XXX 대 36 個, 總합 39 個에 대해서 檢査를 遂行하였다.

나. 일련번호 6400 (그림 3)의 Pellet은 均質 (Homogeneous) 이나 네군데 균열 (Crack)이 있다.

다. 7XXX 및 8XXX 대 38個 核燃料棒의 Pellet은 均質인 것과 非均質인 것의 두 종류가 있으며 非均質인 核燃料棒의 필름像에는 不規則인 형태의 많은 斑点들이 나타났다. 不規則의 形態의 斑点의 가장 긴 方向으로의 길이는 최대 10mm까지 되는 것이 있다 (그림 3).

라. 39個의 核燃料棒 中에서 斑点이 나타나고 있는 Pellet로 구성된 핵연료봉은 일반 핵연료봉 17個, TC棒 4個, CR棒 3個, 도합 24個이며 내부상태가 균일한 핵연료봉은 15個 이었다.

마. 170 KV X-線 檢査 結果, Z<sub>r</sub>棒이 양보였던 핵연료봉에는 실제 Pellet 속에 Z<sub>r</sub>棒이 있었으며, Craziing 현상을 나타내는 핵연료봉은 일반핵연료봉 13個, TC棒 1個, CR棒 1個, 도합 15個이고 Craziing 현상을 나타내지 않는 핵연료봉은 24個 이었다.

바. Z<sub>r</sub>棒과 Z<sub>r</sub>棒 사이의 間隔의 필름像 농도와 斑点의 그것과 같은 점으로 보아 斑点은 기공에 의한 結果일 可能性이 가장 크다.

4. X-線 필름에 나타난 現像들을 分析, 評價하기 위해서는 製品의 製造 過程에 대한 資料를 수집하여야 하겠다. 또한 당소의 研究用 核燃料棒의 使用 不可能, 可能에 대한 判定基準을 設定할 必要가 있다.

### Ⅲ. 本 論

#### 1. 檢査 遂行 内容

##### 가. 170 KV X-線 檢査

###### 1) 檢査 裝置

98 個의 核燃料棒을 檢査하기 위한 檢査 裝置의 概略配置는 그림 4와 같다. 本檢査에 사용된 X-線 發生 裝置는 Balteau-260 이고, 性能은 260 KV-5mA 로써 焦點의 크기는  $2.5\text{mm} \times 2.5\text{mm}$ 이며, X-線의 퍼지는 角度는  $40^\circ$  이다. 核燃料棒 취급 時 安全을 위하여 支持臺를 만들어 核燃料棒을 운반하였으며, 이 支持臺 위에 檢査하고자 하는 核燃料棒의 위치를 表示하여 그 위치에 정확히 필름을 놓을 수 있도록 하였다.

使用된 필름의 종류는 Fuji 100 으로 工業用으로 널리 使用되는 것이다. 이것은 粒狀性이 미세하고 對比度가 좋으며, 感光速度가 中間 정도가 되는 ASTM TYPE II에 해당하는 것이다.

當室의 X-線 發生 裝置의 容量때문에 圓筒形 核燃料棒의 제일 두꺼운 部分인 가운데는 X-線이 透過할 수 없고, 가장자리만을 透過하기 때문에 Pellet의 内部를 檢査하는 것은 거의 不可能하다. 따라서 Pellet의 表面 近方을 檢査하는데 觀点を 모았다. 그림 5에서와 같이 X-線이 通過하는 거리가  $8.7\text{mm}$ 되는 部分을 檢査 對象으로 삼았다. 本 檢査의 透過寫眞의 質을 普遍的인 2-

2T로 하려고 하므로 8.7 mm 두께에 대해서는 #7의 透過度計를 사용하여야 한다. 이렇게 選定된 透過度計를 X-線에 대해 C1-adding 材質과 같은 性質로 된 8.7 mm 두께의 Block을 만들어 그 위에 올려 놓았다.

그 외에 散亂線을 除去하기 위해 核燃料棒 左右 및 底面에 두께 3 mm의 鉛板을 대었으며, 필름과 그에 해당하는 核燃料棒 部位를 일치시키기 위하여 鉛으로 된 확인 번호를 필름 위에 올려 놓았다.

## 2) 檢査 節次

暗室에서 필름을 카세트에 0.13 mm 두께로 된 두장의 鉛增減紙와 함께 裝填한 다음, 카세트 위에 확인 번호 및 透過度計가 올려져 있는 Block을 올려 놓는다. X-線 裝備 制禦板의 時間 調節 스위치를 1분에 맞춘 후 스위치를 누르고, 그와 동시에 5~7초 동안에 mA 및 KV 調節 손잡이를 돌려 각각 3mA 및 170 KV가 되도록 한다. X-線이 1分間 照射된 후 自動的으로 꺼지면 mA 및 KV 調節 손잡이를 零點으로 돌려 놓은 뒤 필름을 바꾼다.

照射된 필름은 暗室에서 現像을 한다. 現像 條件은 20℃에서 5分間, 停止 條件은 흐르는 물에서 1分間, 定着 條件은 10~15分으로 하였다. 定着이 完了된 필름은 물로 씻은 뒤 공기 중에서 건조시켜서 透過度計像을 識別한 뒤 判讀을 한다.

1個의 核燃料棒에 대하여 6枚의 필름이 所要되었다. 즉 그림

6에서와 같이 85 mm X 305 mm 크기의 필름으로 750 mm의 核燃料棒 全体를 檢査하기 위해서는 3枚의 필름을 60 mm씩 겹쳐야 하며, 2 3枚의 檢査가 끝난 뒤, 核燃料棒을 軸方向에 대해 90° 회전시켜서 다시 3枚의 檢査를 하였다.

Pellet 表面 部位에 異狀이 있는 核燃料棒(Ⅱ. 결론, 2항다) 中에서 任意의 3個에 대한 再檢査는 그림 7에서와 같이 다시 하였다. 즉 테프에 3 mm 間隔으로 10 눈금을 表示한 뒤 Pellet 表面 部位에 異狀이 있던 곳에 붙인다. 位置 表示計로 한 눈금을 지시하게 하여 필름에 X-線을 照射한 뒤 核燃料棒을 회전시켜 다음 눈금을 指示하게 하여 反復 照射를 시켰다.

#### 나. 2 MeV X-線 檢査

5 MeV 容量의 반데그라프를 利用하여 39個 核燃料棒의 Pellet 内部를 檢査하였다. 이때 露出 條件은 2 MeV, 35 초, 50  $\mu$ A, SFD 1500 mm 등 이었다. 檢査 裝置의 概略 配置는 'Ⅲ. 本論, 1, 가, '와 類似하며 使用된 필름의 종류는 Kodak AA로써 이것도 ASTM Type Ⅱ에 해당된다. 現像은 自動 現像機로 하였다. 透過度計의 選定은 다음과 같이 하였다. 40 mm, 50 mm, 및 60 mm의 두께를 갖는 鋼으로 된 세 종류의 Block 위에 各各 다른 2-2T에 해당하는 KS形 透過度計를 올려 놓고 照射하였다. 필름을 現像한 結果, Pellet像 中心부와 일치되는 농도를 갖게

되는 것은 40 mm 두께의 Block 이었다. 따라서 Pellet 中心部와 等価의 두께를 갖는 것은 40 mm 두께의 鋼임을 알게 되었다.

## 2. 結 果

本檢査 課題의 対象이 된 核燃料棒은 原子炉心 内에서의 機能으로 보아 一般核燃料棒, Thermocouple 附著 核燃料棒 (TC 棒), 및 Control Rod 核燃料棒 (CR 棒)의 세 가지로 나눌 수 있다. 170 KV X-線으로는 核燃料棒의 表面 部位를 檢査하는데 重點을 두었으며, 2 MeV X-線으로는 核燃料棒의 中心部를 檢査하는데 重點을 두었다. 이들에 대한 結果들 中에서 현저히 나타나는 현상들은 표 1, 2 및 그림 1, 2, 3에 있으며 구체적인 사실들은 다음과 같다.

### 가. 170 KV X-線에 의한 檢査

1) 일련번호 6××× 대의 核燃料棒의 Pellet는 1個로 되어 있으며 7××× 및 8××× 대의 核燃料棒에는 3個의 Pellet가 Cladding 内에 들어있다.

2) 일련번호 6400의 核燃料棒의 Pellet에 4個의 균열 (Crack)이 있다.

3) 84×× 대의 核燃料棒의 특징은 대체적으로 Pellet와 Pellet 사이에 間隔이 있으며, 이 間隔 사이에 Z<sub>r</sub> 棒이 存在하고 있다.

4) 86 X X 대의 核燃料棒의 특징은 大体的으로 Pellet 와 Pellet 사이에 間隔이 있으며 그 間隔사이에 Z<sub>r</sub> 棒이 存在하지 않고 있다.

5) 87 X X 대의 核燃料棒의 특징은 84 X X 및 86 X X 대의 것과는 다르게, Pellet 와 Pellet 사이에 間隔이 있는 것이 드물다.

6) " Pellet 表面에 점이 나타나는 現象(Ⅱ. 結論, 2, 다)" 은 全体 核燃料棒에 골고루 나타나며 특히 3 번 Pellet (그림 1 에서 최좌단 Pellet )에 많이 나타나고 있다.

7) 그 외에도 Pellet 와 Cladding 사이에 異物質이 存在하는 核燃料棒이 2 個(일련번호 7576,8449 )있으며, Pellet 끝 部分이 떨어져 나간 것이 4 個(일련번호 8422,8458,8767,8776 ),, Z<sub>r</sub> 棒이 Pellet 에서 흑연봉 쪽으로 脫출한 것이 1 個(일련번호 8451 ) 있다.

8) TC 棒 中에서는 TC 를 유도하는 管과 核燃料棒과의 熔接 部에 異物質이 介在되어 있는 것이 3 個(일련번호 8490,8677, 8678 ), Pellet 와 Cladding 과의 間隔이 一般核燃料棒에서의 것보다 큰 것이 1 個(일련번호 8491 ), Pellet 받침의 크기 가 一般核燃料의 것보다 작은 것이 1 個(일련번호 8489 ) 있다.

9) CR 棒의 특징은 흑연봉과 흑연봉 사이에 間隔이 있고 Pellet 받침과 Pellet 사이에 全部 間隔이 나타나고 있으며, Pellet 와 Cladding 사이의 間隔이 一般核燃料棒의 경우에 비

해 큰 것이 7個 있으며, 흑연봉이 모두 偏心되어 있다. CR 棒  
中에서 흑연봉 속에 異物質이 들어 있는 것이 1個 (일련번호  
8679), 흑연봉이 깨진 것이 1個 (일련번호 8783) 있다.

10) 異狀한 점이 발견되지 않은 核燃料棒은 모두 18 個로, 檢  
査한 98 個 中에서 18.4%를 차지하고, 一般核燃料棒 83 個 中  
21.7%를 차지하고 있다. 이들 핵연료봉은 87×× 대에 많이  
분포되어 있으며 이 87×× 대의 核燃料棒에서는 大体的으로 異  
狀한 점이 적게 發見되었다.

11) Pellet 表面 部位에 異狀이 있는 것을 'Ⅲ. 本論, 1,  
가, 2)'에서 언급한 方法에 의하여 再檢査를 하였을 때 異狀한  
斑点이 円周方向으로 계속 나타난 것 中에서 가장 긴 경우 21mm  
에 걸쳐서 연속적으로 나타난 것이 있다.

#### 나. 2 MeV X-線에 의한 檢査

1) 39 個의 核燃料棒 中에서 内部 상태가 均一치 못하여 斑  
点들이 나타난 Pellet로 구성된 核燃料棒은 一般核燃料棒 17 個,  
TC 棒 4 個, CR 棒 3 個, 도합 24 個이며, 내부 상태가 均一하게  
되어 있는 Pellet로 구성된 核燃料棒은 15 個이었다.

2) Crazing이 나타나고 있는 Pellet로 구성된 核燃料棒은  
일련번호 6400 을 포함하여 13 個의 一般核燃料棒, TC 棒 1 個,  
CR 棒 1 個, 도합 15 個이고 Crazing이 나타나지 않는 Pellet  
로 구성된 核燃料棒은 24 個이었다.

3) "가" 항의 結果에 의하면  $Z_r$  棒이 나타나지 않고 있으나, 實際 Pellet 속에 存在하고 있음을 確認하였다. 또한  $Z_r$  棒이 1個가 아니라 여러 조각으로 되어 있었다.

4) Pellet 속에 들어 있는  $Z_r$  棒에 의한 필름像의 농도는 1.8 이고 斑点에 의한 필름像의 농도는 2.7 이었다. 또한 Pellet 속에서  $Z_r$  棒과  $Z_r$  棒 사이의 間隔이 생긴 곳에 대한 필름像의 농도가 그 간격 크기와 거의 같은 斑点에 의한 농도와 유사하였다. 따라서 斑点으로 나타나는 像은 밀도가 낮은 어떤 物質의 편석에 의한 結果라기 보다는 기공에 의한 結果일 可能性이 가장 크다.

以上과 같은 結果를 綜合하여 볼 때 核燃料棒이 전반적으로 均一하게 製造되지 않았을 可能性이 있다. 또한 斑点들의 正체를 밝히는 것이 먼저 이루어지기 위해서는 核燃料棒의 製造 과정에 대한 구체적인 정보가 제공되어야 한다. 本 檢査 結果에 대한 判定 与否를 結定할 根拠가 없으므로 더 이상 言及이 可能치 못하다.

添附하여 170 KV X-線에 의한 檢査는 本論에 言及한 方法에 의하여 수행하였으므로 檢査 部位가 核燃料棒 表面 部位의 네곳으로 극히 制限되어 있다 따라서 檢査 部位를 넘히는 다른 方法에 의하여 핵연료봉을 檢査할 때 그 結果들이 變更될 수 있다.

#### IV. 用 語 解 說

1. Pellet: TRIGA Mark III에 사용되는 U+ZrH로 된 부분 및 그 中心에 들어 있는 Zr 棒을 합한 것.
2. Cladding: TRIGA Mark III에 사용되는 핵연료봉인 Pellet 의 外部를 싸고있는 TP 304 스테인레스鋼
3. 흑연봉 : Pellet 의 양끝에 위치하는 흑연 Pellet
4. 핵연료봉: Cladding, Pellet, 및 흑연봉을 完全 組立하여 熔接이 끝난 것
5. Zr 棒 : Pellet 中心부에 들어있는 Zr 로 된 棒
6. Block : 透過度計를 설치하기가 불편할 때 투과도계를 올려놓을 수 있도록 검사봉과 같은 材質 및 같은 두께로 만든 조각
7. 카세트 : 필름 및 鉛增減紙를 넣는 것으로 빛이 들어가지 못하게 하는 器具
8. 鉛增減紙: 필름의 質을 좋게하기 위해 필름의 앞뒤에 넣어 산란선을 제거하기 위한 것으로 얇은 鉛板이 붙어 있음.
9. TC 棒 : 核燃料棒 中에서 Thermocouple 이 들어 있는 핵연료봉
10. CR 棒 : 核燃料棒 中에서 Control Rod 를 말함.

11. 一般核燃料棒 : TC棒 및 CR棒을 除外한 核燃料棒.
12. Pellet 받침 : 모든 核燃料棒에서 Pellet 와 흑연봉 사이에 넣는 金屬.
13. Craziing : Pellet 表面 및 内部에 생기는 미세한 균열.

표 1. 여러가지 현상이 나타나는 경우

(단위 : 개)

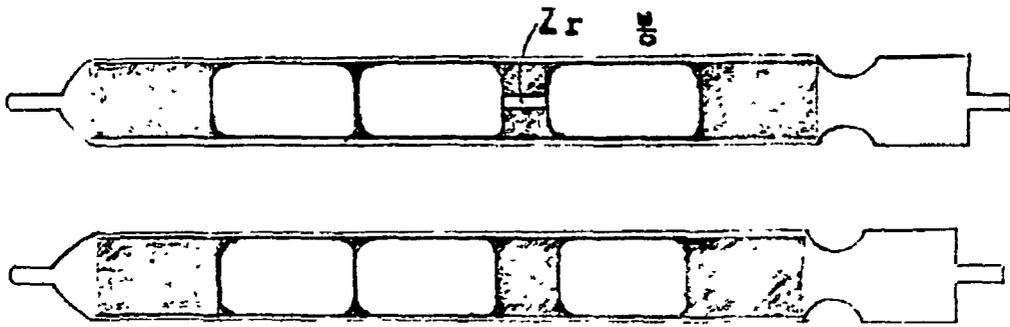
| 핵연료봉의<br>종 류   | 각핵연료봉<br>의 수 량 | 필름에 현상이 나타남       |                 |               |
|----------------|----------------|-------------------|-----------------|---------------|
|                |                | 간 격 있 는<br>핵연료봉수량 | Zr 봉<br>않 나 타 남 | Zr 봉<br>나 타 남 |
| 일 반<br>핵 연 료 봉 | 83             | 39                | 25              | 14            |
| TC 봉           | 7              | 1                 |                 | 1             |
| CR 봉           | 8              | 8                 | 6               | 2             |
| 총 수 량          | 98             | 48                | 31              | 17            |

표 2. 표면부위에 이상이 있는 Pellet의 위치

(단위 : 개)

| 핵연료봉<br>의 종류 | 각핵연료봉<br>의 수량 | Pellet 의 위치 |   |    |     |     |     |       | 총수량 |
|--------------|---------------|-------------|---|----|-----|-----|-----|-------|-----|
|              |               | 1 *         | 2 | 3  | 1&2 | 2&3 | 1&3 | 1&2&3 |     |
| 일 반<br>핵연료봉  | 83            | 6           | 7 | 12 | 1   | 7   | 9   | 1     | 43  |
| TC 봉         | 7             | 1           |   | 3  |     |     |     |       | 4   |
| CR 봉         | 8             |             |   |    | 1   |     |     |       | 1   |
| 총 수량         | 98            | 7           | 7 | 15 | 2   | 7   | 9   | 1     | 48  |

\* 1, 2, 3은 핵연료봉 장전시 세개의 Pellet 중, 위에서 부터의 순서를 나타낸다.



( 그림 1. Zr 봉이 나타나는 것과 안나타나는것.

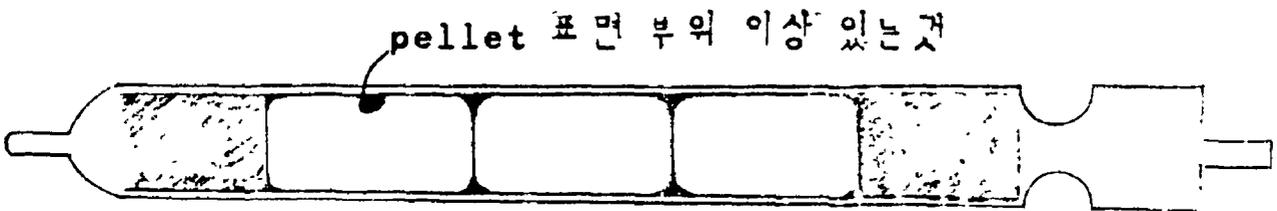


그림 2. Pellet 표면 부위에 이상이 있는 것.



그림 3. 핵연료봉에 대한 2MeV X - 선 투과사진



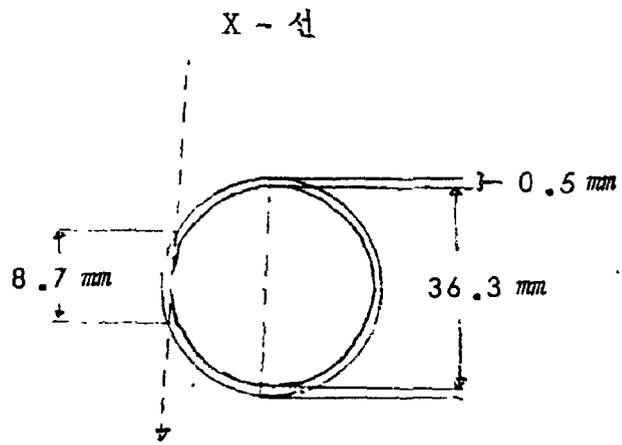


그림 5. 핵연료봉 단면도

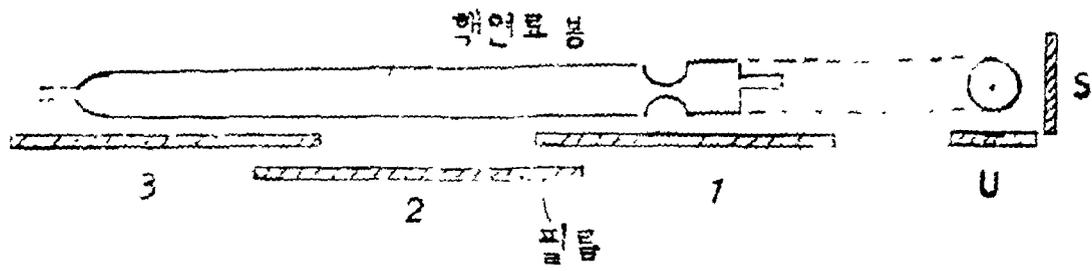


그림 6. 핵연료봉과 그 각 부분에 대한 필름의 위치

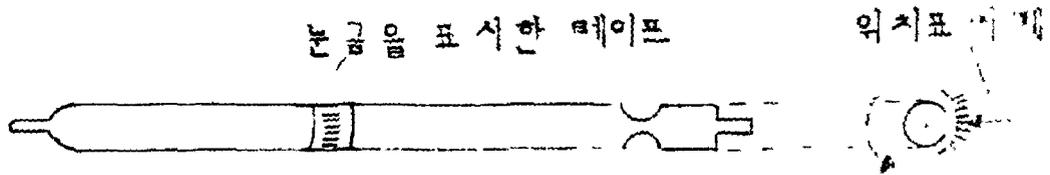


그림 7. Pellet 표면 부위 이상있는 것의 재검사 방법