

영상처리법과 기존방법에 의한 사용후 핵연료봉 길이신장률 측정비교

The Length Elongation Rate Measurement and Comparison on  
Spent Fuel Rods using Image Processing and Conventional Method

구대서, 서기석, 박성원

한국원자력연구소  
대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

사용후 핵연료의 제원측정 시험의 효율성과 측정정확도를 향상시키기 위하여 영상처리 측정시스템을 개발하였다. 영상처리측정방법과 기존측정방법에 의하여 사용후 핵연료집합체의 핵연료봉 길이신장률을 측정하고 비교하였다. 3주기 연소한 사용후 핵연료집합체 F02 핵연료봉 길이 신장률이 2주기 연소한 사용후 핵연료집합체 J44 핵연료봉 길이 신장률보다 다소 컸으며 기존방법에 의한 측정치의 표준편차가 영상처리방법에 의한 것보다 다소 크게 나타났다. 영상처리방법에 의한 핵연료봉 길이 측정소요시간은 기존방법에 의한 것의 1/3 이었고 수중 사용후 핵연료 비파괴시험의 효율을 가 일층 향상시켰다.

Abstract

We developed image processing measurement system in order to improve efficiency and measurement accuracy of dimensional measurement of spent fuel rods. We also measured length elongation rate of spent fuel assemblies using image processing method and conventional method, and compared two results. The length elongation rates of F02 fuel rods irradiated for 3 cycles were somewhat bigger than those of J44 fuel rods irradiated for 2 cycles, and the standard deviations of conventional method were slightly bigger than those of image processing method. The length measurement time of fuel rods using image processing method was one third of that using conventional method. Image processing method has fairly improved the efficiency of pool NDT of spent fuel assemblies.

## 1. 서론

원자로의 핵연료는 중성자 선속, 원자로 선출력, 원자로 온도 및 압력등 원자로 운전 조건에 의해 swelling 및 densification 을 거치면서 핵연료봉 제원변형이 발생한다[1-4]. 사용후 핵연료의 변형과 건전성을 검사하기 위하여 이제까지 수중에서 내방사선 카메라를 수동으로 움직여 핵연료 집합체의 외관을 관찰하여 핵연료봉 표면결함을 검사하고 수중 카메라의 핵연료봉 영상의 엔코드 값을 읽어 핵연료 집합체의 제원을 측정하였다. 이 방법에 의하여 검사를 수행하면 시간과 인력이 많이 소요되는 단점이 있기 때문에 이를 개선하기 위하여 영상처리에 의한 방법을 적용하여 오고 있다[5-7].

본 연구는 사용후 핵연료의 제원측정 시험의 효율성과 측정정확도를 향상시키기 위하여 영상측정 하드웨어를 구성하여 영상처리 측정 알고리즘을 개발하였다. 이 영상처리측정 시스템을 현장에 구축하고 3주기 연소한 고리 원자력 1호기 및 2주기 연소한 고리 원자력 2호기의 사용후 핵연료집합체의 제원을 측정하고 그 결과를 기존 방법에 의한 결과와 비교 하였다.

## 2. 시험장치 및 측정방법

### 2.1. 영상측정 시스템

영상처리시스템은 MEI (motion engineering incorporation)회사의 위치 제어보드에 의한 위치 제어부, Matrox 영상보드, R93 25 mm 렌즈 카메라, FGAX 2250 halogen light 및 카메라 컨트롤 유닛에 의한 카메라 영상 처리부로 구성된다. 위치제어는 카메라를 X, Y, Z축으로 1,500 mm/min, 120 mm/min 및 4,980 mm/min 속도로 제어하고 수중에서 사용후 핵연료집합체 제원을 측정할 수 있도록 하였다.

### 2.2. 측정방법

9403 시험/해체폴의 집합체 회전판에 설치된 사용후 핵연료 집합체면과 나란하게 설치된 표준자( $\varnothing$  5mm 관통원)와 카메라에서 영상 캘리브레이션을 수행하였다. 본 실험은 수평영상 캘리브레이션  $CX = 0.116\text{mm/pixel}$ , 수직 영상 캘리브레이션  $CY = 0.093\text{mm/pixel}$  인 조건에서 핵연료봉의 측정위치에 ROI(region of interest)를 설정하고 핵연료봉 1개씩 제원을 측정하였다. 핵연료봉 하단부에 기준선을 설정하고 그 기준선에서 첫 번째 핵연료봉 하단까지 영상거리를 측정하고 같은 방법으로 두 번째 핵연료봉을 측정하고 계속하여 마지막 핵연료봉을 측정한다. 상단부에서도 하단부의

측정 절차를 적용하여 핵연료봉의 길이를 측정하고 상·하단부 기준선간의 거리를 합산하여 핵연료 집합체 핵연료봉 길이를 산출한다. 핵연료 집합체를 90° 씩 회전하여 4개면 핵연료봉 길이를 측정한다. 이와 같은 절차로 고리원자력 2호기 J44집합체와 고리원자력 1호기 F02집합체의 길이를 측정하고 설계치를 기준으로 길이 신장률을 비교 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 영상처리방법 및 기존방법에 의하여 3주기 연소한 사용후 핵연료집합체 F02 제1면의 핵연료봉 길이신장률을 측정한 것을 나타낸 것이다. 설계치 기준하여 영상처리방법에 의한 것은 0.47%, 기존방법에 의한 것은 0.49% 핵연료봉 길이가 신장하였다. Fig. 2는 영상처리방법 및 기존방법에 의하여 3주기 연소한 사용후 핵연료 집합체 F02 제2면의 핵연료봉 길이신장률을 측정한 것을 나타낸 것이다. 영상처리방법에 의한 것은 0.42%, 기존방법에 의한 것은 0.44% 핵연료봉 길이의 신장을 나타내었으며 기존방법에 의한 측정치의 표준편차가 영상처리방법에 의한 것보다 다소 크게 나타났다.

Fig. 3은 영상처리방법 및 기존방법에 의하여 3주기 연소한 사용후 핵연료집합체 F02 제3면의 핵연료봉 길이신장률을 측정한 것을 나타낸 것이다. 설계치 기준하여 영상처리방법에 의한 것은 0.42%, 기존방법에 의한 것은 0.41% 핵연료봉 길이의 신장을 나타내었으며 두 방법에 의한 측정치의 표준편차가 거의 같았다. Fig. 4는 영상처리방법 및 기존방법에 의하여 3주기 연소한 사용후 핵연료집합체 F02 제4면의 핵연료봉 길이신장률을 측정한 것을 나타낸 것이다. 영상처리방법에 의한 것은 0.40%, 기존방법에 의한 것은 0.46% 핵연료봉 길이의 신장을 나타내었으며 두 방법에 의한 측정치의 표준편차는 같았다.

Fig. 5는 영상처리방법 및 기존방법에 의하여 2주기 연소한 사용후 핵연료집합체 J44 제1면의 핵연료봉 길이신장률을 측정한 것을 나타낸 것이다. 설계치 기준하여 영상처리방법에 의한 것은 0.38%, 기존방법에 의한 것은 0.41% 핵연료봉 길이의 신장을 나타내었으며 기존방법에 의한 측정치의 표준편차가 영상처리방법에 의한 것보다 다소 크게 나타났다. Fig. 6은 영상처리방법 및 기존방법에 의하여 2주기 연소한 사용후 핵연료집합체 J44 제2면의 핵연료봉 길이신장률을 측정한 것을 나타낸 것이다. 영상처리방법에 의한 것은 0.38%, 기존방법에 의한 것은 0.40% 핵연료봉 길이의 신장을 나타내었으며 두 방법에 의한 측정치의 표준편차가 거의 같았다.

Fig. 7은 영상처리방법 및 기존방법에 의하여 2주기 연소한 사용후 핵연료집합체 J44 제3면의 핵연료봉 길이신장률을 측정한 것을 나타낸 것이다. 설계치 기준하여

영상처리방법에 의한 것은 0.35%, 기존방법에 의한 것은 0.42% 핵연료봉 길이의 신장을 나타내었으며 두 방법에 의한 측정치의 표준편차는 같았다. Fig. 8은 영상처리방법 및 기존방법에 의하여 2주기 연소한 사용후 핵연료집합체 J44 제4면의 핵연료봉 길이신장률을 측정하는 것을 나타낸 것이다. 영상처리방법에 의한 것은 0.36%, 기존방법에 의한 것은 0.40% 핵연료봉 길이의 신장을 나타내었으며 두 방법에 의한 측정치의 표준편차는 같았다.

따라서 영상처리방법 의한 3주기 연소한 사용후 핵연료집합체 F02 제1면~제4면의 핵연료봉 길이 신장률은 0.40~0.47% 이고, 기존방법에 의한 것은 0.41~0.49% 였다. 영상처리방법 의한 2주기 연소한 사용후 핵연료집합체 J44 제1면~제4면의 핵연료봉 길이 신장률은 0.35~0.38% 이고, 기존방법에 의한 것은 0.40~0.42% 였다. 기존방법에 의한 측정치의 표준편차가 영상처리방법에 의한 것보다 다소 크게 나타났다. 영상처리방법에 의한 핵연료봉 길이 측정소요시간은 기존방법에 의한 것의 1/3 이었고 수중 사용후 핵연료집합체 비파괴시험의 효율을 가 일층 향상시켰다.

#### 4. 결론

1. 영상처리방법 및 기존방법에 의하여 3주기 연소한 사용후 핵연료집합체 F02 및 2주기 연소한 핵연료 집합체 J44의 핵연료봉 길이 신장률 측정하고 비교하였다.
2. 영상처리방법 의한 사용후 핵연료집합체 F02 제1면~제4면의 핵연료봉 길이 신장률은 0.40~0.47% 이고, 기존방법에 의한 것은 0.41~0.49% 였고 영상처리방법 의한 사용후 핵연료집합체 J44 제1면~제4면의 핵연료봉 길이 신장률은 0.35~0.38% 이고, 기존방법에 의한 것은 0.40~0.42% 였다. 기존방법에 의한 측정치의 표준편차가 영상처리방법에 의한 것보다 다소 크게 나타났다.
3. 영상처리방법에 의한 핵연료봉 길이 측정소요시간은 기존방법에 의한 것의 1/3 이었고 수중 사용후 핵연료집합체 비파괴시험의 효율을 가 일층 향상시켰다.

#### 감사의 글

본 연구가 과학기술부의 원자력사업의 일환으로 수행되었음

#### 참고문헌

- [1] M. C. J. Carson, "Densification in Mixed Oxide Fuel during Fast Reactor

- Irradiation,” Nucl. Tech. V. 42, p. 335(1974).
- [2] M. Uchida, et al., “ Densification of Uranium Dioxide Fuel Pellets(I),” JAERI-M6904, pp. 1-7(1977).
- [3] W. Chubb, et al., “ The Influence of Fuel Microstructure on In-Pile Densification,” Nucl. Tech. V. 26, pp. 496-493(1975).
- [4] W. K. Pratt, “ Digital Image Processing,” pp. 305-318, pp. 345-349, John Wiley & Sons, Inc., California(1978).
- [5] H. C. Andrews and B. R. Hunt, “ Digital Image Restoration,” pp. 113-118, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey(1977).
- [6] A. Rosenfeld and M. Thurston,“ Edge and Curve Detection for Visual Scene Analysis,” IEEE Transactions, Vol. C-20, No. 5, 562-563(1971).
- [7] D. J. Bryant and D. W. Bouldin,“ Evaluation of Edge Operators using Relative and Absolute Grading,” pp. 138-140, IEEE, Tennessee(1979).

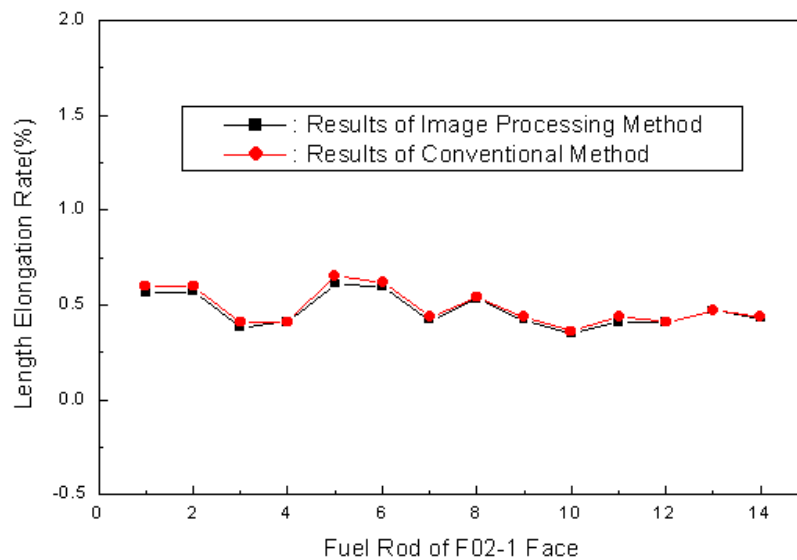


Fig. 1. Length Elongation Rate of Fuel Rod of F02-1Face.

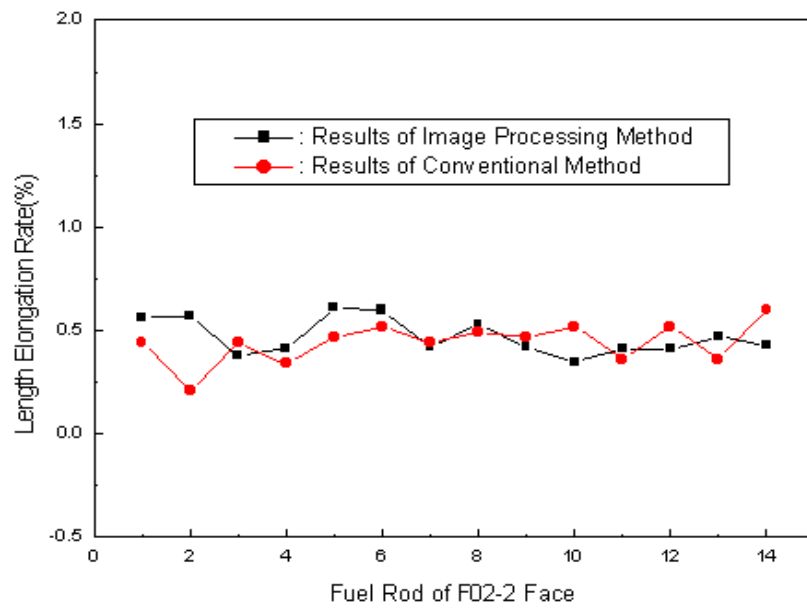


Fig. 2. Length Elongation Rate of Fuel Rod of F02-2Face.

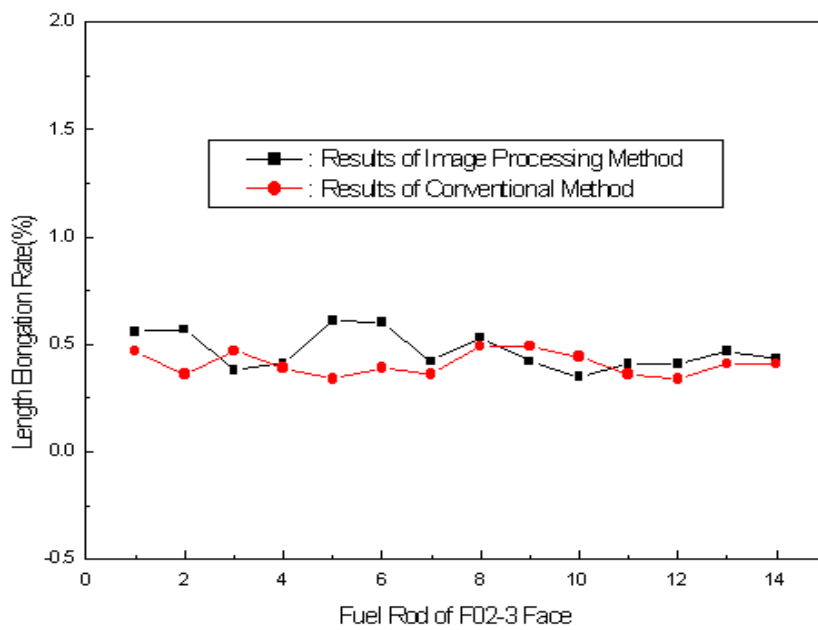


Fig. 3. Length Elongation Rate of Fuel Rod of F02-3Face.

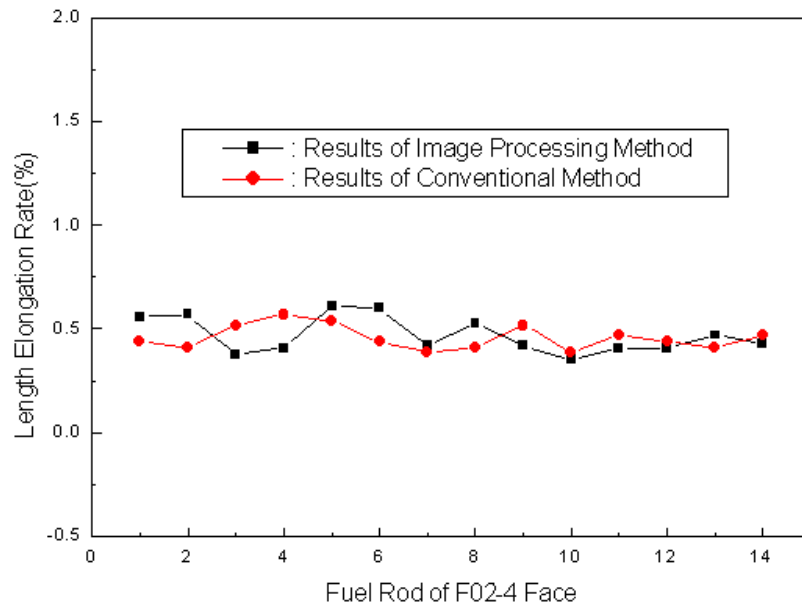


Fig. 4. Length Elongation Rate of Fuel Rod of F02-4Face.

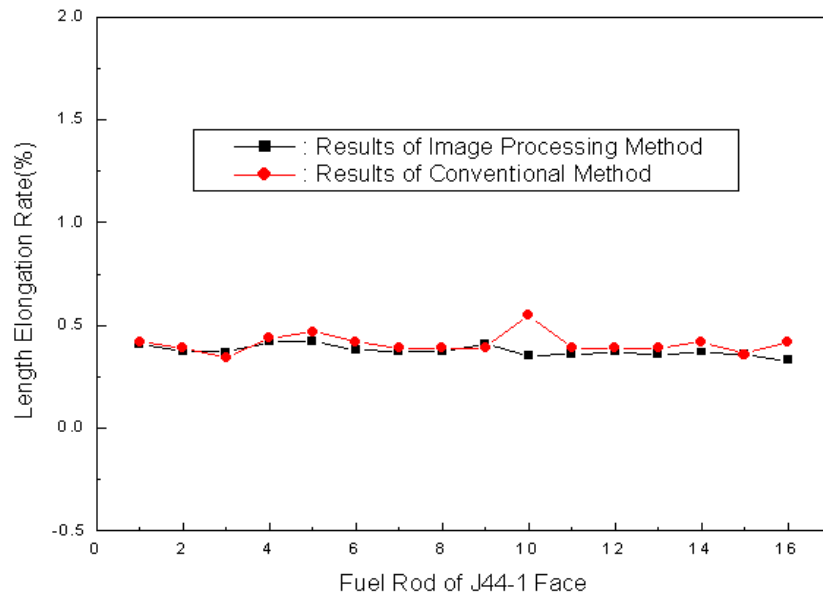


Fig. 5. Length Elongation Rate of Fuel Rod of J44-1Face.

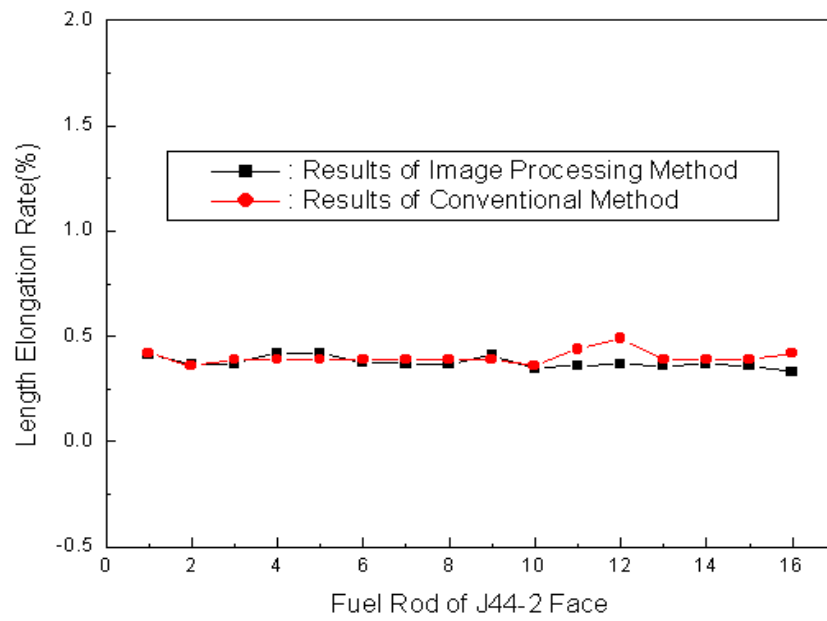


Fig. 6. Length Elongation Rate of Fuel Rod of J44-2Face.

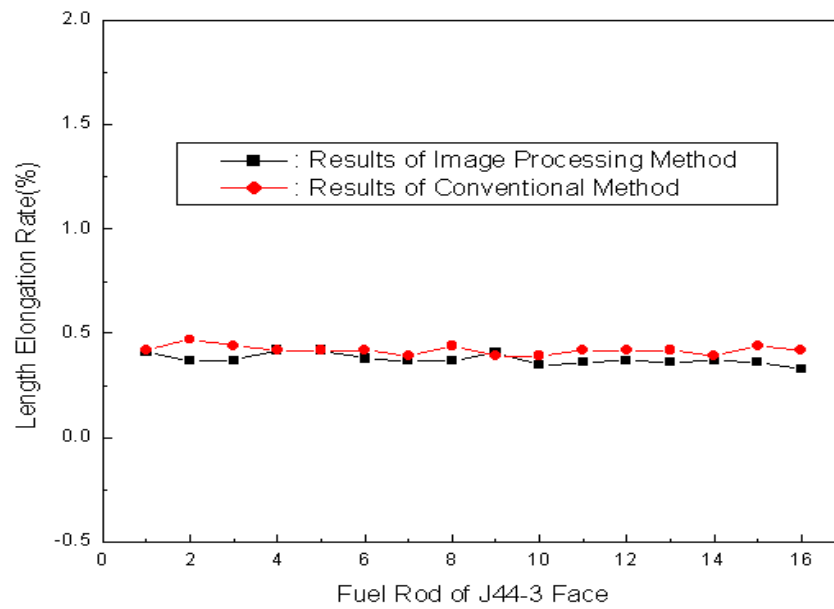


Fig. 7. Length Elongation Rate of Fuel Rod of J44-3Face.



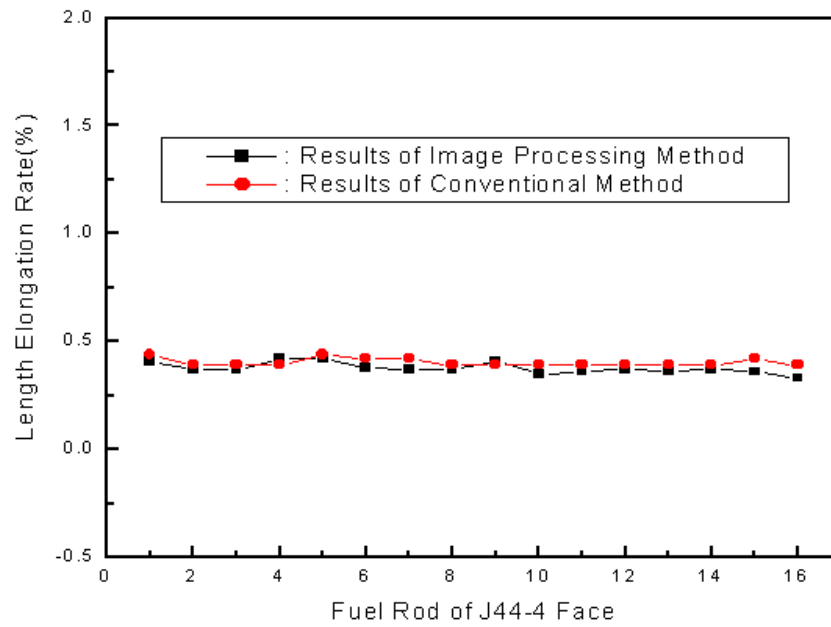


Fig. 8. Length Elongation Rate of Fuel Rod of J44-4Face.