

Development of Elbow Joint X-ray Examination Aid for Medical Imaging Diagnosis

Hyeong-Gyun Kim*

Department of Radiological Science, Gimcheon University

Received: March 18, 2024. Revised: April 26, 2024. Accepted: April 30, 2024.

ABSTRACT

The elbow joint is made up of three different bones. X-rays or other radiological exams are commonly used to diagnose elbow injuries or disorders caused by physical activity and external forces. Previous research on the elbow joint reported a new examination method that meets the imaging evaluation criteria in the tilt position by Z-axis elevation of the forearm. Therefore, this study aims to design an optimized instrument and develop an aid applicable to other upper extremity exams. After completing the 2D drawing and 3D modeling design, the final design divided into four parts was fabricated with a 3D printer using ABS plastic and assembled. The developed examination aid consists of a four-stage Z-axis elevation tilt angle function (0°, 5°, 10°, and 15°) and can rotate and fixate 360° in 1-degree increments. It was designed to withstand a maximum equivalent stress of 56.107 Pa and a displacement of 1.6548e-5 mm through structural analysis to address loading issues caused by cumulative frequency of use and physical utilization. In addition to X-ray exams of the elbow joint, the developed aid can be used for shoulder function tests by rotating the humerus and also be applied to MRI and CT exams as it is made of non-metallic materials. It will contribute to the accuracy and efficiency of medical imaging diagnosis through clinical applications of various devices and medical imaging exams in the future.

Keywords: Elbow Joint, X-ray Exam, Examination Aid, Z-Axis Elevation, Structural Analysis

I. INTRODUCTION

팔꿈관절(elbow joint)은 3개의 뼈대가 조합되어 관절을 이루고 있으며 일상적 생활 및 스포츠 활동에 의한 사용 빈도가 높은 관절로 타박상, 탈구, 골절 등의 질환이 많이 발생한다^[1,2]. 건강보험심사평가원 보건의료 빅데이터 개방시스템 자료에 의하면 2020년 640,766명에서 2021년 662,850명으로 2만 명 이상의 질환 환자가 증가하였다^[3-5]. 이와 같이 팔꿈관절은 여러 원인에 의해 이상 소견이 발생되면 정확한 진단과 치료를 위해 X-선 영상 검사를 일차적으로 진행하는데 이는 3차원적인 관절 구조를 보기 위한 X-선 투과 검사이다. 이러한 X-선 검사는 피사체의 투과된 형태를 의료영상으로 나타

내는 것으로 3차원적인 피사체 방향 및 자세에 따라 다양한 영상시각화로 진단 할 수 있다. 문헌에 따르면 팔꿈관절 X-선 기본 검사방법은 전후방향(anterioposterior projection), 내외측 사위방향(medial-lateral oblique projection), 측면방향(lateral projection) 검사가 기본적으로 이루어진다^[6,7]. 모두가 신체적 변화가 필요한 검사로 임상에서는 방사선사에 의해 정확한 자세가 요구된다. 검사 과정에서 팔꿈관절 사위방향 검사는 정확한 각도로 내·외측 또는 양쪽을 동일하게 나타내야 하지만 이를 정량적으로 맞춤화 하는 것이 쉽지 않다. 따라서 김^[8] 등은 360도 회전 각도가 유지되도록 보조기구를 제작하여 어깨 검사 등의 방사선 검사에 정량적 맞춤화를 적용한 사례가 보고되었다. 본 연구의 보조기구 개발은 김^[8] 등이 개발한 회전 기능에 전완부

* Corresponding Author: Hyeong-Gyun Kim E-mail: jung7818@hanmail.net Address: 214, Daehak-ro, Gimcheon-si, Gyeongsangbuk-do, Korea (39528)

(forearm)의 Z축 거상(elevator)에 의한 기울기 기능을 추가하여 개발되었는데 이는 이^[5] 등의 선행연구에서 사용된 스티로폼 기구를 좀 더 신뢰성 있는 기구로 제작하기 위한 각도 기능과 김^[8] 등이 개발한 회전 기능을 포함하는 상지 검사 전체에 적용 가능하고 자기공명영상장치(Magnetic Resonance Imaging; MRI)와 전산화단층촬영장치(Computed tomography; CT)에서도 사용 가능하도록 개발하고자 하였다. 하지만 본 연구는 팔꿈관절 측면 사전 영상평가를 통하여 보조기구 개발의 필요성을 확인한 후 팔꿈관절 X-선 영상 검사에 주안점을 두고 보조기구를 개발하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

이^[5] 등이 연구 발표한 스티로폼 삼각형 빗변 기울기에 대한 스케치 구상 후 설계 프로그램(NX12, Siemens, Germany)을 사용하여 디자인을 수치화한 후 3D 인쇄가 가능한 STL(Stereolithography) 파일을 생성하였다. 그 후 3D 프린터(RS6000, Shanghai Union, china)을 이용한 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene) 물질로 부분 구역된 모델링 파트를 각각 출력하여 조립 단계를 거쳐 제품을 완성하였다. Fig. 1은 전체 연구의 실험 모식도를 나타내고 있다.

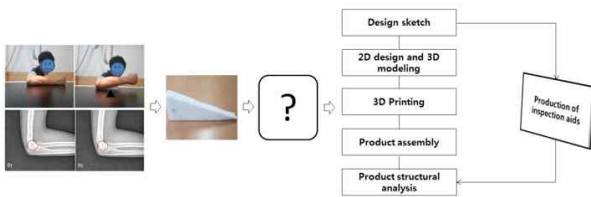


Fig. 1. Schematic diagram of the styrofoam aid for elbow joint X-ray exams and the overall research process.

보조기구를 개발하기 전 사전 선행조사는 Table 1과 같이 3곳의 종합병원을 대상으로 하였다. 171건의 팔꿈관절 측면영상(lateral projection)을 의료영상저장전송시스템(Picture Archiving and Communication System; PACS)에서 무작위 추출 후 문헌에 제시된 영상평가 기준을 참고하여 보조기구 개발의 필요성을 확인하였다^[7]. 사전 선행 문항과 조사 결과는 Table 1과 같다.

* 관절간격(joint space)은 충분히 분리되고 있는가?

** 양측 도르래(trochlea, 활차) 상이 동심원상으로 투영되고 있는가?

*** 노뼈머리(radial head)는 부분적으로 갈고리돌기(coronoid process)와 겹쳐 있는가?

Table 1. Analysis of 171 elbow joint lateral examinations pre-surveyed at 3 hospitals [unit; case(%)]

evaluation	separation*	concentric circles**	overlap***
good	45(26.3)	59(34.5)	76(44.4)
middle	84(49.1)	74(43.3)	72(42.1)
bad	42(24.6)	38(22.2)	23(13.5)

III. RESULT

1. 설계 디자인 개발

검사 목적 부위인 팔꿈관절에 스티로폼과 같이 X-선 투과와 각도(elevator) 기능이 포함된 스케치, 2D 설계, 3D 모델링을 Fig. 2와 같이 진행하였다. 보조기구 디자인은 스티로폼 기울기 각도의 단계 조절과 손의 회전 기능이 유지 선택되도록 기능을 고도화 후 Fig. 3과 같이 3D 프린팅 출력 후 제품을 완성하였다.

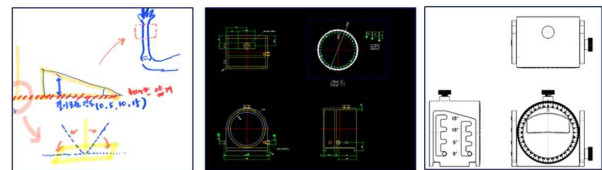


Fig. 2. Sketch and 2D drawing design configuration.



Fig. 3. The developed aid fabricated by 3D modeling design using a 3D printer.

2. 개발 보조기구의 기능 및 품질

보조기구는 크게 두 가지 기능에 중점을 두고 개발하였다. 첫째, Fig. 4와 같이 Z축 거상(elevator) 기울기 기능이다. 이는 전완부(forearm) 경사도가 필요한 부분에 적용할 수 있도록 4단계의 각도(0, 5, 10, 15도)가 보조기구 옆면에서 설정 선택되도록 홈을 만들었다. 한쪽은 각도 조절(Fig. 4. 오른쪽 위 화살표시부), 반대쪽은 나사(Fig. 4. 오른쪽 아래 화살표시부) 장치로 선택된 각도를 고정하도록 하였다. Fig. 5는 정확한 기울기 각도가 유지되는지 품질관리 결과를 나타내고 있다.

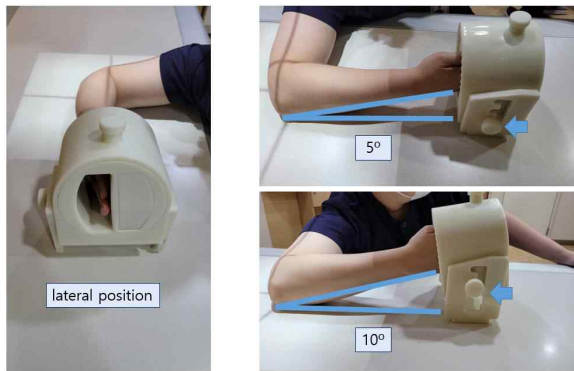


Fig. 4. Z-axis elevator tilt and fixation device using the developed aid.

둘째, 손이 삽입된 부분의 회전 기능으로 1도 간격으로 회전되어 선택되도록 하였다. 정량적인 회전 값이 인지되도록 전면부에 360도 스케일 마킹을 하였으며 상부에 나사로 고정 기능을 추가하였다. 실제 회전 기능 사용 시 Fig. 4와 같이 실험자가 손가락을 편 상태에서 직접 회전이 되도록 하였다.

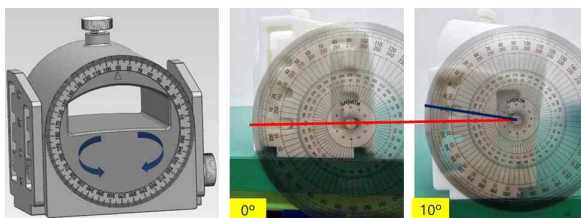


Fig. 5. Quality inspection of Z-axis elevator tilt using the angle scale and protractor on the front of the aid.

3. 보조기구 구조해석

보조기구 검사 적용 빈도와 사용 시 변형, 파손

에 대한 안전을 위해 손(hand) 삽입 상태의 모델링 구조해석을 하였다. 하중 조건이 고려된 등가응력(equivalent stress) 값은 최대 56.107 Pa, 변위(displacement) 값은 최대 1.6548e-5 mm로 나타났다. Fig. 6은 구속조건과 구조해석 결과를 나타내고 있다. 이와 같이 기울기 각도를 선택하는 부분과 아래 방향으로 미치는 하중은 품질관리 및 구조해석을 통하여 전체적으로 피드백 검증하였다.

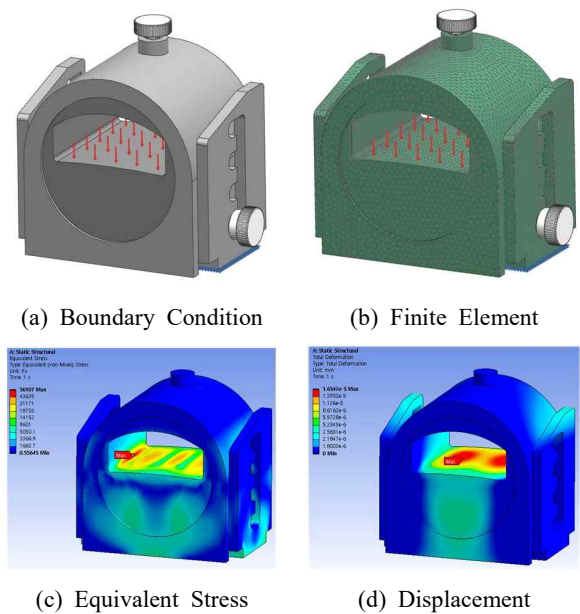


Fig. 6. Structural analysis conditions and results of the developed aid.

IV. DISCUSSION

1885년 X-선이 발견된 후 인류는 다양하게 방사선을 사용하고 있다. 그중 방사선 의료영상 진단 기술들은 인체에 대한 해보다 득이 많다는 정당성으로 의료피폭의 단점에도 불구하고 많이 이용된다^{9,10}. 이는 인체의 침습적, 거시적 변화 없이 내부 구조를 형태학적으로 시각화할 수 있는 특징 때문이다. 이러한 기술적 장점을 더욱 향상하기 위해서는 인체의 의료피폭을 최소화하는 방법들이 필요한다. 그중에서도 진단 영상의 디텍터(detector) 감도를 높이고, 스캔 타임(scan time)을 최소화하는 S/W 기술도 필요하겠지만 보조기구를 적용하여 부정확한 자세에서 발생되는 영상진단의 오류와 재촬영 위험을 낮추는 방법들도 중요한 부분이라 판단된다.

다^[11-13]. 따라서 본 연구자는 팔꿈치관절을 포함한 상지 검사에 적용되는 보조기구를 개발하여 임상에 응용하고자 하였다.

본 연구는 Table 1과 같이 팔꿈치관절 측면영상 (lateral image) 사전 임상 조사에서 영상평가 기준에 매우 미흡한 결과가 나타나 새로운 검사 기술의 필요성이 요구되었다. 또한 이^[5] 등이 발표한 X-선 검사에서 상지의 전완부(forearm) Z축 거상은 팔꿈치관절 측면 검사의 진단적 영상평가 성적이 높음을 알 수 있었다. 이와 같이 사전 연구를 바탕으로 상지에 적용되는 보조기구를 개발하게 되었는데 이^[5] 등의 실험에서 스티로폼 물질은 임시적 실험 도구로 판단되어 기능을 더 높일 수 있고 연속적 사용할 수 있는 보조기구의 필요성으로 제작 개발하게 되었다.

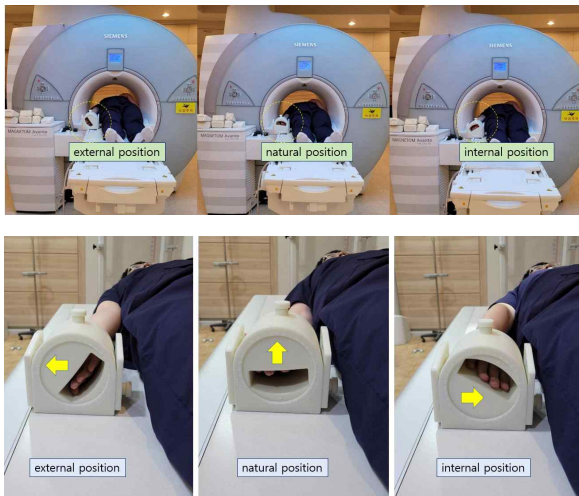


Fig. 7. MRI and simple X-ray exam using the developed aid's rotation function.

본 연구에서 개발된 보조기구는 팔꿈치관절 Z축 거상 기능을 일차적 목표로 다양한 장치(modality)에 적용할 수 있도록 비금속(non metal) 재질인 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene) 물질을 사용하였는데 이는 자장의 영향을 받는 MRI 검사에도 적용하기 위한 것이며 Fig. 7에서 실제 응용된 상태를 보여주고 있다. 또한 보조기구에 사용된 ABS 물질은 하중에 대한 안전한 물성치 값으로 평가되어 모델링 구조해석을 통하여 3D 프린팅 재질로 최종 사용하였다.

또한 본 연구는 김^[8] 등이 MRI 어깨 검사에 적용하기 위해 개발된 상지 회전 보조기구를 바탕으로 다양한 검사와 장치에 응용되도록 하였다. 김^[8] 등이 개발한 보조기구와 가장 큰 차이점은 Z축 거상 4단계(0도, 5도, 10도, 15도) 기울기 기능과 손잡이 회전 부분이다. 본 연구에 적용한 손잡이 부분은 손을 펴는 구조로 설계되어 인체 내 관절 구조물인 건(tenden), 인대(ligament), 근육(musule) 등의 긴장도가 낮아지도록 하였으며 Fig. 4와 같이 손가락이 펴진 상태로 적용되도록 하였다. 이는 손가락을 모두 편 상태에서 회전 동력에 의한 힘이 인체 내 구조물에 잘 전달되지 않도록 하고자 하는 목적이었다.

본 연구의 Z축 거상 기울기 기능은 이^[5] 등의 연구실험을 정량적으로 실험 분석하기 위해 기울기를 4가지 각도로 단계별 적용되도록 디자인하였는데 이는 향후 추가적 임상실험을 예상하여 디자인 제작하였다.

최근 3D 프린팅 기술에 의한 맞춤형 보조기구들은 연구자가 원하는 제품을 디자인하여 나타낼 수 있는 편리성으로 많이 활용되고 있다^[14-17]. 본 연구로 제작된 보조기구 역시, 3D 프린팅 방법으로 4개의 부품을 각각 출력 후 조립하는 방법으로 완성하였다.

본 연구에 의한 보조기구 제품은 상지(upper limb) 방사선 검사의 해부학적 자세 적용에 다양하게 적용될 수 있도록 제작되었다. 특히 어깨 및 팔꿈치관절의 정량적 회전과 검사 시간 동안 일정 자세를 유지하는데 매우 큰 장점이 있다. 또한 보조기구 제작 시 모델링 구조해석을 통하여 사용자들의 성능 및 안전에 신뢰할 수 있는 품질관리가 되도록 개발하였다. 하지만 본 연구로 개발된 보조기구는 팔꿈치관절(elbow joint) X-선 임상검사에 실제 적용되지 않아 검사의 효율성(efficiency)과 유효성(effectiveness)을 검증하는 실험은 향후 지속적으로 연구해야 하는 제한점을 가지고 있다.

V. CONCLUSION

스티로폼을 사용한 단순 각도 기능에서 Z축 거상이 유효적으로 적용되는 본 연구의 보조기구는 구조해석을 통하여 성능 및 안전을 검증하고 회전

및 기울기를 적용하여 해부학적 영상진단 검사의 가치를 높이도록 개발되었다. 특히, X-선 팔꿈관절 (elbow joint) 검사 시 4가지 각도 선택에 따른 형태학적 변화 관찰, 회전 방향에 따른 전후 (anterioposterior) 및 사위(oblique) 검사의 재현성 확보 등, 전완부(forearm) 기울기 선택에 따른 환자 및 방사선사의 기능적 활용성을 높이도록 개발되었다.

Acknowledgement

This work was supported by the Gimcheon University Research Grant of 2023(gc23015).

Reference

- [1] Mayo clinic, "Tennis elbow", cited 2022 Dec 13, Available from URL: <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/tennis-elbow/symptoms-causes/syc-20351987>.
- [2] Rick Tosti, John Jennings, J. Milo Sowards, "Lateral Epicondylitis of the Elbow", *The American Journal of Medicine*, Vol. 126, No. 4, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.amjmed.2012.09.018>
- [3] HIRA Bigdata Open Portal, "tennis elbow", Available from URL: <http://opendata.hira.or.kr/op/opc/olapMfrnIntrsInlsInfo.do>
- [4] C. Y. Kim, "Anatomical Approach Study about injury of tennis elbow", *Ulsan Science University Journal of Research*, Vol. 34, No. 1, pp. 519-541, 2000.
- [5] H. S. Shin, G. B. Lee, "Evaluation of Epicondyle Overlap and Joint Separation according to Angular Variations in Elbow Lateral General Radiography", *The Korean Society of Radiological Imaging Technology Spring Conference Paper Collection*, 2023.
- [6] Korean Medical Imaging Technology Research Association, Chapter 1: Upper limb, *Textbook of radiographic positioning and clinical diagnosis*, 6th ed., Chung-ku publisher, pp. 123-145, 2019.
- [7] Korean Association of Anatomy and Physiology Professors, *Human Anatomy*, HYUNMOON Publishing Co., pp. 98-101, 2015.
- [8] H. G. Kim, J. H. Yoon, S. D. Choi, "Study on 3D Printer Production of Auxiliary Device for Upper Limb for Medical Imaging Test", *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 38, No. 4, pp. 389-394, 2015. <http://dx.doi.org/10.17946/JRST.2015.38.4.08>
- [9] P. K. Cho, "Quality Control of Diagnostic X-ray Equipment in Medical Field", *Journal of the Korean Society of Radiology* Vol. 15, No. 2, pp. 159-164, 2021. <https://doi.org/10.7742/jksr.2021.15.2.159>
- [10] M. W. Charles, "ICRP Publication 103: Recommendations of the ICRP", *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 129, No. 4, pp. 500-507, 2008. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncn187>
- [11] D. B. Lee, J. G. Kim, J. M. Lee, "A Study on the Comparison of the Radiation Exposure Dose to the Image Quality of Phantom Chest Radiography Using a Radiographic Assist Device", *New Physics: Sae Mulli*, Vol. 68, No. 7, pp. 801-811, 2018. <http://www.riss.kr/link?id=A105943313>
- [12] H. W. Park, M. S. Lee, Y. G. Kim, S. H. Bae, "Evaluation of the Usefulness of Ancillary Devices for Patients with Acute Lumbar Pain During Magnetic Resonance Imaging", *Journal of radiological science and technology*, Vol. 41, No. 3, pp. 193-199, 2018. <https://doi.org/10.17946/JRST.2018.41.3.193>
- [13] G. J. Won, Y. G. Kim, "The Development of Assistant Device for the Standing X-ray Views and Its Usability for the Patient Safety", *Korea Safety Management and Science*, Vol. 17, No. 4, pp. 223-229, 2015. <http://dx.doi.org/10.17946/JRST.2015.38.4.08>
- [14] H. G. Kim, "Development of an Auxiliary Device for X-ray Examinations Using 3D Printing and Evaluation of Its Usefulness", *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, Vol. 18, No. 5, pp. 1450-1454, 2021. <https://doi.org/10.1166/jctn.2021.9573>
- [15] W. J. Choi, D. H. Kim, "Making Human Phantom for X-ray Practice with 3D Printing", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 11, No. 5, pp. 371-377, 2017. <https://doi.org/10.7742/jksr.2017.11.5.371>
- [16] M. S. Yoon, D. K. Han, R. W. Sin, S. S. Han, Y.

J. Yang, Y. J. In, S. J. Lee, "The study of making an assistance device in Hand Lateral examination using 3D printer", Journal of the Spring Conference of the Korean Society of Radiological Imaging Technology, pp. 119-123, 2018.

- [17] J. H. Sim, S. K. Bang, N. Y. Cho, H. H. Gim, "The utility assessment of self-made device in hand fan lateral examination", Journal of the Spring Conference of the Korean Society of Radiological Imaging Technology, pp. 51-57, 2019.

의료영상 진단을 위한 팔꿈관절 X-선 검사 보조기구 개발

김형균*

김천대학교 방사선학과

요 약

팔꿈관절은 3개의 뼈대가 조합하여 관절을 이루고 있으며 신체적 활동 및 외력에 의한 이상 시 X-선 등, 방사선 검사로 영상진단을 한다. 팔꿈 관절 선행연구에 의하면 전완부(forearm)의 Z축 거상에 의한 기울기 자세에서 영상평가 기준에 부합하는 새로운 검사법이 발표되어 이에 최적화된 기구를 설계하고 다른 상지 검사에서도 활용 가능한 보조기구를 개발하고자 하였다. 2D 도면 및 3D 모델링 설계로 디자인 후 4부분의 파트로 구분 된 디자인을 ABS 소재의 3D 프린팅 방법으로 출력 후 조립 단계를 거쳐 제품을 완성하였다. 개발된 보조기구는 Z축 거상 기울기 4단계 각도(0, 5, 10, 15도) 기능과 1도 단위로 360도 회전되어 고정하는 기능으로 구성하였다. 개발된 보조기구는 사용 빈도의 누적 및 신체적 활용에 의한 하중 문제에 대해 구조해석을 통하여 최대 등가응력(equivalent stress) 56.107 Pa, 변위(displacement) 1.6548e-5 mm 의 안전한 물성치 범위로 개발되었다. 또한 개발된 보조기구는 팔꿈관절의 X-선 검사뿐만 아니라 위팔뼈 회전에 의한 어깨 기능검사에서도 활용할 수 있으며 비금속 소재로 MRI, CT 검사에서도 적용이 가능하도록 개발되었다. 개발된 보조기구는 향후 다양한 장치 및 의료영상 검사의 임상 적용을 통하여 검사의 정확성 및 효율화에 기여하리라 판단한다.

중심단어: 팔꿈관절, X-선 검사, 보조기구, Z축 거상, 구조해석

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	김형균	김천대학교 방사선학과	교수