

화살의 이동궤적을 위한 하드웨어 구성 및 패러독스 측정

정영상⁺, 유정원⁺, 이한수⁺, 김성신^{*}

(논문접수일 2012. 05. 04, 수정일 2012. 06. 01, 심사완료일 2012. 06. 04)

Hardware Configuration and Paradox Measurement for the Determination of Arrow Trajectory

Yeongsang Jeong⁺, Jungwon Yu⁺, Hansoo Lee⁺, Sungshin Kim^{*}

Abstract

The point of impact, the shot group, and the flight traces depend on the combination of unique features which decide moving traces of the arrow (paradox of the archer, length of the arrow shaft, weight, angle of the feather, and spline of the arrow shaft). The more dense the impact points in the shot group and the earlier elimination of paradox of the archer, the higher assessment is given for the product. However, there is no way to objectively assess the efficiency and quality of the arrow, and there is no numeric data to be used as the basis for comparison with other products. Although capturing the images of flying arrow using a high-speed motion picture camera is possible, we are limited to observation from specific view angle only. Hence, the criteria for efficiency and quality assessment are mostly based on subjective opinions of experts or hunters, or review on consumers' remarks. In this paper, we propose a hardware composition that are based on three detection frames consisting of line lasers and photo diode arrays without the high-speed motion picture camera. Predicated on measured coordinates data, a novel method for the archer's paradox measurement, a key parameter that determine the arrow's trajectory, and corresponding numerical analysis model is proposed.

Key Words : Arrow(화살), Arrow Trajectory(화살의 이동궤적), Line Laser(라인 레이저), Photo Diode Array(포토다이오드어레이), Archer's Paradox(궁사의 패러독스), Frame(프레임)

1. 서론

과거에 활과 화살은 사냥을 하기 위한 도구 또는 전쟁에서 유리한 전투를 하기 위한 도구로 사용되었고, 현재의 활쏘기는 인간의 여가 생활을 위한 사냥, 레저 분야와 올림픽 종목 중 하나인 양궁으로 활용되고 있다. 활과 화살의 성능이 중요 시 되는 양궁은 유럽에서 영국을 중심으로 발전하였고, 1972년 제

20회 민헨 올림픽 이후 경기 방식을 대폭 개정해 오늘에 이르고 있다. 활쏘기의 대중화와 양궁 시장의 성장으로 인해서, 과학적 분석이 필요성이 높아졌다. 제조공정이 복잡하고, 과학적으로 분석되어야 하는 화살에 대한 연구가 이루어지고 있지만, 이를 객관적으로 분석할 수 있는 수치적인 데이터가 부족하다^{(1,2)}}.

⁺ 부산대학교 전자전기공학과

^{*} 교신저자, 부산대학교 전자전기공학부 (sskim@pusan.ac.kr)

주소: 609-735 부산시 금정구 장전2동 부산대학교 특성화공학과 전자전기공학과

보편적으로 화살의 성능 또는 품질을 평가하는 방법으로는 활과 화살을 오랫동안 사용해 온 사냥꾼이나 레저 스포츠 용품을 만드는 기술자, 그리고 전문가의 사용 후기에 의존하며, 일반적으로 초고속 카메라 이미지를 가지고 판단하고 있다. 본 논문에서는 화살의 성능과 품질을 판단을 위한 수치를 얻기 위해 3개의 좌표를 이용하여 공사의 패러독스 크기를 수치화하는 방법을 제안한다. 패러독스의 크기를 수치화 하고, 카메라에서 발생하는 지정된 각도 내의 사물 이미지만 볼 수 있는 문제점을 해결하기 위해 라인레이저와 포토다이오드어레이 센서를 이용한 하드웨어 구성을 제안한다.

2. 공사의 패러독스 크기 측정 방법

2.1 화살 슈팅 실험 환경 및 문제점

Fig. 1은 화살의 구조를 나타낸 그림이며, 포인트(point), 인서트(insert), 화살대(shaft), 크레스트 라인(crest line), 깃(vanes, fletching), 노크(nock)로 구성되어 있다. 크기는 화살촉(arrow head), 화살대, 화살깃으로 나누어진다. 화살촉은 화살대 선단에 달린 금속이나 석재를 말하며, 실질적으로 목표물을 관통하는 역할을 한다. 화살대는 복합적인 재료로 만들어지며, 일반적으로 알루미늄 코어의 외측에 탄소섬유를 랩핑하여 제작된다. 화살깃은 깃털로 만들어져 왔으며, 현대에 와서는 플라스틱으로 만들어지고 있다. 화살의 흔들림을 방지하고 공사의 패러독스 현상을 초기에 제거하여, 비행 안정성을 확보한다.

화살의 구성하고 있는 각각의 요소의 재료가 발전하고, 이를 제작하는 제조공정의 발전으로 인해, 화살의 성능인 과녁 적중률과 비행거리가 증가하였다. 화살의 성능에 영향을 미치는 제조공정 변수로는 화살의 중량, 외경, 스파인(화살의 휘어진 정도), 끈기, 화살깃의 각도 및 모양 등이 있으며, 이를 최적화하기 위한 실험 및 연구가 이루어지고 있다. 하지만, 현 시점에서 화살의 탄착군 측정 기술과 화살의 이동궤적 측정 기술 등은 상용화된 기술 및 시스템이 부족하며, 현재 화살 제조업체에서는 특허를 통해, 기존 연구들의 제조공정 변수만을 최적화하는 방향으로 기술력이 편중되어있다. 이러한 이유는 화살 특성에 의한 탄착군 형성과 화살의 이동궤적에 대한 측정 및 분류 시스템이 갖추어져있지 않고 이를 수치로 표현한 데이터가 없어서

생산된 화살의 객관적인 성능을 나타내기 어렵기 때문이다. 과녁 명중위치 및 화살의 이동궤적 측정, 분석 기술은 초기 단계에 머물고 있는 상황이며, 측정 플랫폼으로는 수기에 의한 명중위치 분석, 고가의 초고속 카메라 장비가 유일하다. 현재 화살의 실험 환경 및 측정 장비는 다음과 같다. Fig. 2 (a)는 고가의 초고속 카메라이며, (b)는 슈팅 실험 시 초고속 카메라 촬영을 위한 실험 환경이다. 화살의 품질과 성능을 분석하기 위해서 화살 업체에서는 반복적인 슈팅 실험을 수행하고 있다. Fig. 3의 그림은 현재 화살을 분석하고 생산하는 화살 업체의 화살 발사대 및 탄착군 데이터를 나타내고 있다. Fig. 3 (a)과 같이, 약 39m 거리에서 화살의 슈팅실험을 수행하며, 발사대를 이용하여 동일한 힘으로 슈팅한다. Fig. 2의 (b)는 일정한 거리에 종이를 고정시켜 화살이 뚫고 지나가는 것으로 탄착군의 집적도를 확인하고 화살깃을 120도씩 변경하여 슈팅실험을 수행해서 탄착군의 분포가 조밀하면 품질 및 성능이 좋은 화살이라고 평가한다. 현재 화살을 제조하는 업체는 대부분 초고속 카메라를 이용하여 실험환경을 구성하고 있다. 초고속 카메라를 이용하여 발생하는 문제점으로는 고정된 위치에서 특정한 각도의 화살 모양만 측정할 수 있다는 점이다. 이 때, 공사의 패러독스가 발생하고 있으나 카메라의 각도와 화살의 휘어짐의 방향이 틀려서 이미지로 확인할 수 없는 경우가 발생한다. 초고속 카메라에서 발생하는 문제점을 해결하기 위해서 화살의 특성 및 궁

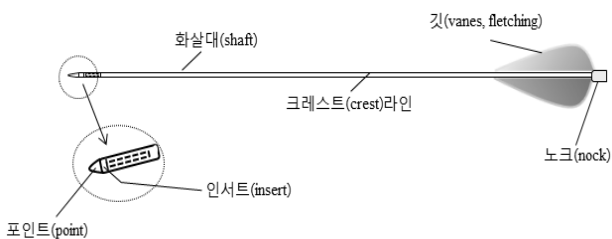
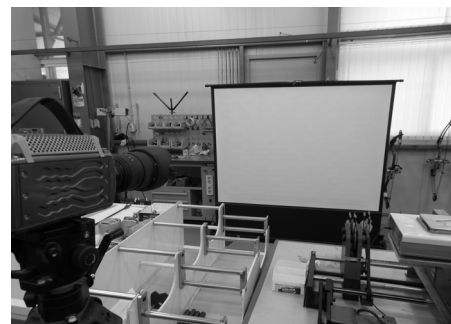


Fig. 1 Structure of arrow



(a) High-speed camera for arrow image acquisition



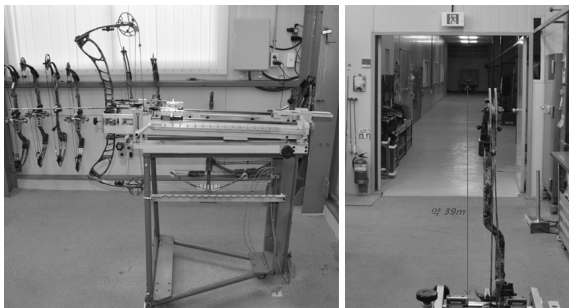
(b) High-speed camera measurement environment

Fig. 2 High-speed camera and measurement for arrow image acquisition

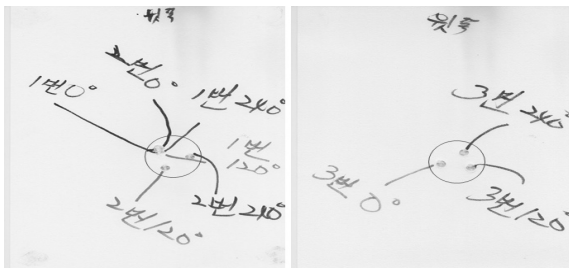
사의 패러독스를 측정하기 위한 새로운 하드웨어의 구성이 필요하며, 하드웨어에서 계측되는 데이터로 화살의 품질과 성능을 평가하는 방법이 필요하다.

2.2 화살 슈팅 실험의 하드웨어 구성도 제안

궁사의 패러독스를 나타내기 위해 초고속 카메라의 이미지와 탄착군의 집적도를 표시한 종이는 화살의 성능 및 품질을 나타내는 데이터로서 한계가 있다. 본 논문에서는 고가의 초고속 카메라를 사용하지 않고, 3개의 프레임으로 측정 장치를 제작한다. 라인레이저와 포토다이오드어레이 센서를 제작된 3개의 프레임에 부착하여 화살의 모양을 좌표로 출력 받아 슈팅 실험을 하는 하드웨어를 제안한다. 고속으로 이동하는 화살의 위치를 측정하기 위해서는 빠른 응답속도를 가진 라인레이저와 포토다이오드 센서가 적합하며, 초고속 카메라보다 가격에서의 우수한 경쟁력을 가진다^(3,4). Fig 4은 라인레이저와 포토다이오드 센서를 이용한 단일 프레임이다. 2개의 라인레이저를 L1, L2에 설치하고, 각각 라인레이저 반대편에 N개의 포토다이오드어레이 센서를 배치한다. 포토다이오드 센서는 빛에너지를 전기에너지로 변환시켜주는 소자이므로, 라인레이저 빛의 강도는 포토다이오드를 통해서 전압레벨로 변환된다. 화살이 프레임의 중앙부분을 통과할 경우 임의의 지점에 있는 포토다이오드어레이 센서의 전압레벨 변화를 계측할 수 있으므로, 전압레벨 변화로 좌표로 출력 받는다⁽⁵⁾. 단일 프레임으로는 화살의 탄착군 분포는 알 수 있으나 궁사의 패러독스는 측정할 수 없



(a) Arrow launch pad and arrow shooting distance



(b) Analysis result data of impact point's integration by hand

Fig. 3 Arrow shooting test environment and test data

므로 적합하지 않다. 그래서 프레임을 2개더 설치하여 Fig 5와 같이 3개의 프레임을 동일 선상에 놓고 화살의 탄착군 및 궁사의 패러독스를 측정한다. 프레임간의 간격은 화살의 길이에 따라 달라지며, 출력은 (x1, y1), (x2, y2), (x3, y3)의 좌표의 값을 궁사의 패러독스 측정하기 위한 데이터로 이용한다.

2.3 궁사의 패러독스 크기 수치화 방법

화살의 이동궤적을 결정하는 요소 중 궁사의 패러독스는 물리적인 힘에 의해 발생한다. 궁사의 패러독스는 현을 당기는 동작의 미세한 오차와 손가락을 현에서 떼는 순간 탄성에 의한 흔들림으로 화살이 휘어진다. 휘어진 화살은 다시 탄성체인 화살대의 복원력에 의해 원상태로 퍼지다가 관성에 의해 반대로 휘어지는 현상을 반복하는 것이다. Fig. 6은 화살이 비행하면서 발생하는 패러독스의 모습을 나타낸 그림이다. 화살의 중량, 외경, 스파인(화살의 휘어진 정도), 끈기, 화살깃 등의 영향을 받게 되며, 활의 힘과 화살의 강도가 조화를 이룰 때 효율적으로 제어가 가능하다.

궁사의 패러독스를 조기에 제거하고 곧바로 비행하는 것이

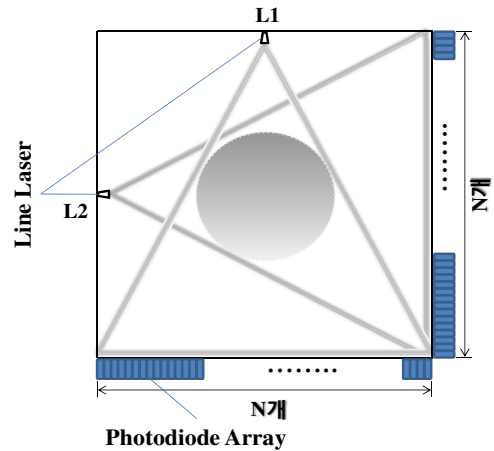


Fig. 4 Single frame using line laser and photo diode array

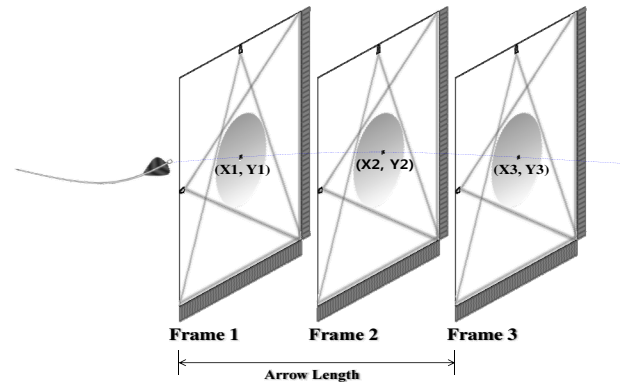


Fig. 5 Proposed three using line laser and photo diode array

에너지의 손실을 없애고 과녁의 적중률을 높이기 위한 필수조건이다. 이러한 이유 때문에 화살 제조업체에서는 궁사의 패러독스 크기를 측정하기 위해서 초고속 카메라를 이용하고, 취득한 이미지로 궁사의 패러독스 또는 화살의 품질과 탄착군을 비교 및 분석을 하고 있다. Fig. 7의 그림은 현재 화살 제조업체에서 촬영한 화살의 비행 동영상이다. Fig. 7 (a)은 국내의 화살을 촬영한 이미지이고, (b)은 국외의 화살을 촬영한 이미지이다. 카메라를 이용한 측정은 Fig. 7와 같이 궁사의 패러독스가 발생하고 있으나, 촬영한 각도와 발생하는 각도가 불일치 할 경우 이미지로 판단하기에는 한계가 있다. 초고속 카메라에서 발생하는 문제점을 해결하기 위해서 Fig. 5에서 제안된 3개의 프레

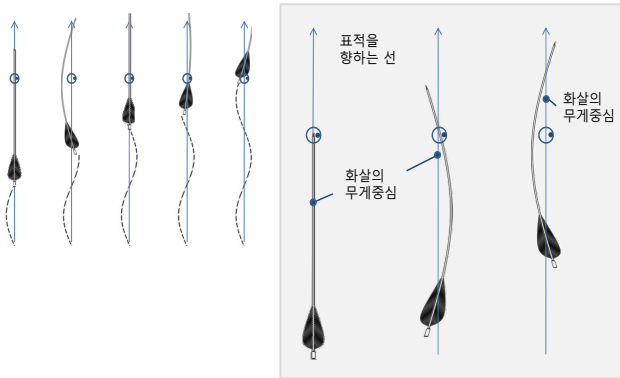
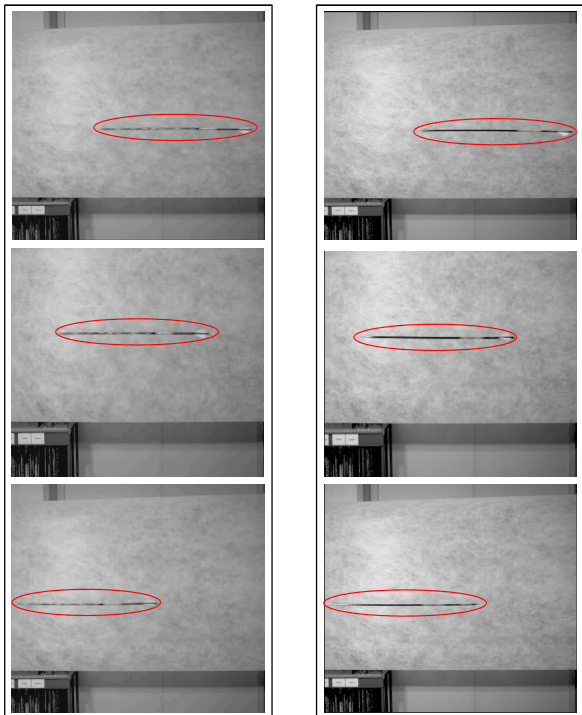


Fig. 6 Archer's paradox

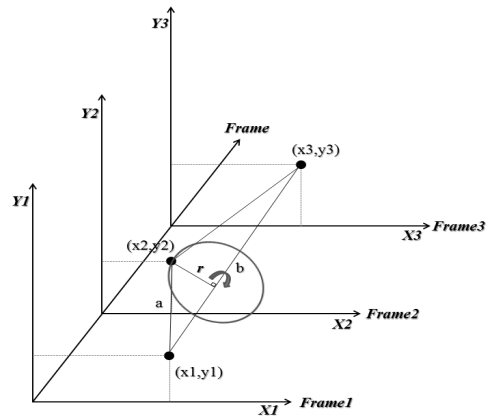


(a) Domestic arrow image (b) Overseas arrow image

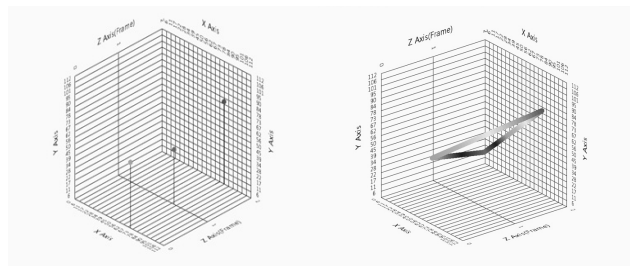
Fig. 7 Archer's paradox by shoot high-speed camera

임을 이용한 하드웨어에서 출력되는 좌표 3개를 궁사의 패러독스 크기를 수치화하는 방법을 제안하고, National Instruments의 LabVIEW를 이용하여 시뮬레이션을 하였다.

Fig. 8 (a)은 본 논문에서 제안한 방법으로 하드웨어를 구성하여 출력되는 좌표 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) 를 3차원 그래프로 표현하고, 이를 통해 궁사의 패러독스를 수치화 시키는 방법을 나타낸 그림이다. 수치화 방법은 먼저 좌표 (x_1, y_1) , (x_3, y_3) 을 이어 직선을 만든다. 그리고 Frame2에서의 좌표 (x_2, y_2) 에서 직선 b에 대해 수직으로 선을 내려 거리 r을 표현한다. r은 두 점의 좌표 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) 의 거리 a와 좌표 (x_1, y_1) , (x_3, y_3) 의 거리 b를 반으로 나눈 값을 피타고라스 정의를 이용하여 정의된 원의 반지름이다. Fig. 8 (b)의 왼쪽 그림은 세 점의 좌표를 시뮬레이션을 수행하여 3차원 그래프로 표현하고, 오른쪽 그림은 평면 방정식을 이용하여 시뮬레이션을 실행하였다. 원의 반지름 r을 이용하여 넓이를 구하고, Fig. 9에서와 같이 2차원 그래프로 매핑한다. 매핑을 적용한 2차원 그래프는 화살의 비행 거리에 따라서 그 크기가 달라지며, 과녁에 접근할수록 원의 넓이가 작아진다. 즉, 패러독스가 빨리 상쇄되는 지점을 수치적으로 표현하면, 타 제품과의 성능 비교 및 품질 분석이 가능해진다. Fig. 9은 세 개의 좌표를 이용하여 나타내어진 원의 넓이를 2차원 그래프로 매핑 하는 단계를 그래프와



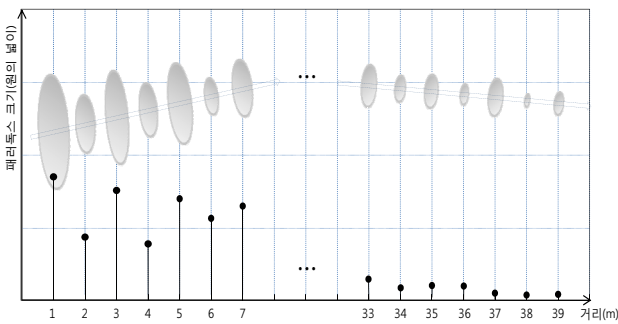
(a) Digitize archer's paradox using three coordinates



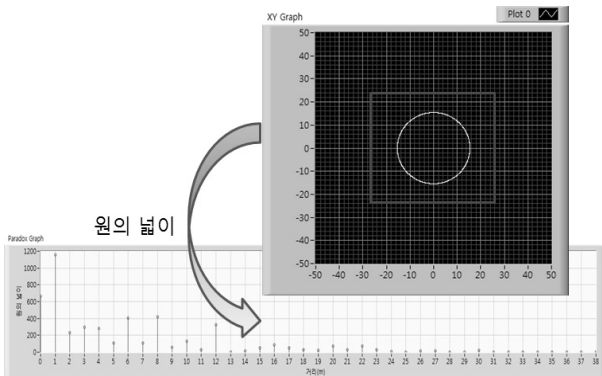
(b) Archer's paradox simulation using three coordinates

Fig. 8 Digitize and simulation of archer's paradox

LabVIEW을 이용하여 시뮬레이션을 실행하였다. Fig. 9 (a)는 슈팅 거리 39m를 1m 간격으로 측정하였을 때 출력 값으로 가정한 그래프이고, 그래프의 원은 Fig. 8 (a)의 원을 그래프에 표시한 것이다. 측정 거리를 좁게 설정하여 측정하면, 공사의 패러독스 크기 모양을 좀 더 자세한 데이터를 출력 할 수 있다. Fig. 9 (b)는 Fig. 8 (b)의 3개의 좌표를 이용하여 시뮬레이션을 실행한 결과이다.



(a) Archer's paradox size graph



(b) Archer's paradox size simulation

Fig. 9 Size mapping of archer's paradox

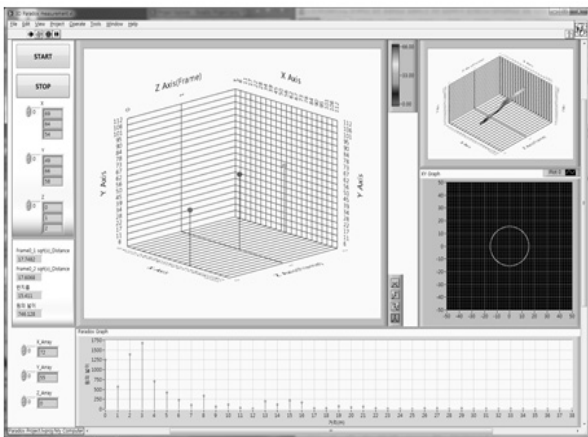


Fig. 10 Size mapping of archer's paradox

Fig. 10은 LabVIEW를 이용하여 공사의 패러독스를 측정하기 위해서 만들어진 전체적인 시뮬레이션 인터페이스이다.

3. 결론

본 논문에서는, 현재 화살업체에서 사용되는 성능 분석 방법의 문제점을 해결하기 위해서 고가의 초고속 카메라를 사용하지 않고, 하드웨어 구성 및 공사의 패러독스 크기를 수치화하는 방법을 아래와 같이 제안한다. 제안에 따른 결과는 다음과 같다.

- (1) mm 단위의 정밀 위치 측정과 270km/h 이상의 이동속도를 감지하는 센서로 라인레이저와 포토다이오드어레이를 선택하고, 라인레이저와 포토다이오드어레이를 부착시킨 3개의 프레임을 이용하여 화살의 휘어진 모양을 검출한다.
- (2) 제안된 하드웨어에서 출력되는 3개의 좌표를 이용하여 반지름을 제안한 방법으로 도출한다. 반지름을 이용하여 원의 넓이를 구하고, 공사의 패러독스 크기를 2차원 그래프에 매핑 한다.
- (3) 화살의 데이터를 수치로 나타낼 수 있으므로, 다른 화살과의 성능을 비교 분석할 수 있고, 화살을 제조할 때 공정 변수로도 사용할 수 있다. 화살 제조 공정에 적용하여 실험과 연구가 진행되면, 화살의 이동궤적을 결정하는 요소(공사의 패러독스, 화살대의 길이, 중량, 깃의 각도, 화살대의 스파인)를 모두 수치화 할 수 있으며, 생산된 화살의 정확한 특성분류, 사용자에게 적합한 화살 종류 선택, 화살의 품질 및 성능을 객관적으로 판단하여 제조 공정에 반영 할 수 있다.

후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0026232)

참 고 문 헌

- (1) Baek, G., Cheon, S., Lee, I., and Kim, S., 2012, "Parameter Calibration of Laser Scan Camera for Measuring the Impact Point of Arrow," *Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 21, No 1, pp. 76~84.
- (2) Baek, G., Cheon, S., Kim, S., and Kim, S., 2011, "Performance Criterion-based Polynomial Calibration Model for Laser Scan Camera," *Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, Vol. 21, No. 5, pp. 555~563.
- (3) Liu, J., and Yu, L., 2009, "Laser-based Apparatus for

- Measuring Projectile Velocity,” *Electronic Measurement & Instruments, ICEMI International Conference*, pp. 2-595~2-598.
- (4) Lu, S. -T., Chou, C., Lee, M. -C., and Wu, Y. -P., 1993, “Electro-optical Target System for Position and Speed Measurement,” *Science, Measurement and Technology*, Vol. 140, No. 4, pp. 252~256.
- (5) Yu, J., Lee, H., Jeong, Y., and Kim, S., 2012, “Measuring Method for Impact Point of Arrow using Fuzzy Logic,” *Proceedings of KIIS Spring Conference*, Vol. 22, No. 1, pp. 301~302.