

**비전머신 방법을 이용한 너트의 풀림 감지 시스템 연구**이석용^a, 강호성^a, 차민철^a, 김도엽^a, 박용근^a, 정희종^b, 이응석^{a*}**A Study of Nut Loosening Inspection System using a Vision Machine Method**Suk Yong Lee^a, Ho Sung Kang^a, Min Chul Cha^a, Do Yeop Kim^a, Yong Geun Park^a,
Hui Jong Jeong^b, Eung Suk Lee^{a*}^a Department of Mechanical Engineering, Chungbuk National University,
1, Chungdae-ro, Seowon-Gu, Cheongju, Chungbuk-do, 28644, Korea^b Viblock Company, 46, Osongsaengmyeong-ro, Heungdeok-gu, Cheongju, Chungbuk-do, 28162, Korea**ARTICLE INFO***Article history:*Received 11 September 2017
Revised 14 December 2017
Accepted 9 January 2018*Keywords:*Vision machine
Locking nut
Median filter
Vibration test
Image preprocess**ABSTRACT**

Nuts and bolts are the most commonly used fasteners for parts. However, the combined nut is loosened by wear and tear over time, harsh vibrations, or impact. Loosening of the nut inevitably leads to shorter machine life. This study uses a stroboscope which synchronizes with the machine rotating rpm to obtain a clear machine vision image of the nut loosening process, thereby it's facilitating the measurement of the loosening angle of the nut. The loosening process is tested using NAS3350 vibration test equipment. This results will be useful to analyze the nut loosening process. Ultimately, this study is aimed toward the development of a more resilient nut that is resistant to vibration and torque.

1. 서론

볼트와 너트는 산업기기, 건설현장 등에서 가장 많이 사용되는 체결수단 중의 하나이다. 볼트와 너트의 나사산을 통한 결합만으로는 큰 효과를 보기 때문에 다른 체결 방법보다 안정적이며 간단하게 사용할 수 있기 때문이다. 하지만 너트와 볼트를 통한 체결방법이 항상 장점만을 가지고 있는 것은 아니다. 너트와 볼트의 결합은 주변 충격, 진동, 온도변화로 인한 제품의 열변형 등의 이유로 쉽게 풀릴 가능성이 있다. 이를 방지하기 위하여 많은 업체가 풀림 방지 기능이 있는 너트, 와셔, 볼트의 나사산 등의 개발에 착수 중이며 이는 최근 풀림 방지 너트 관련 특허 출원 건수에서 이를 확인이 가능하다. 최근 연구 동향에 따르면 가공비용이 높은 나사산의 변

형보다 재사용성 가공비용을 생각한 와셔를 이용한 방법과 너트의 변형을 유도하여 체결 효과를 얻는 방법이 주를 이루고 있다. 각 업체는 이를 현장에 판매하기 전에 개발된 제품의 검증을 위하여 여러 가지 시험을 수행한다. 이 중 시험 도구로 NAS3350 라는 “NAS (National Aerospace Standard) 3350 manual” 즉, 국가 항공우주표준인 진동기구로서, 너트의 진동시험을 위해 기준 장치를 이용했다.

너트의 풀림 과정을 기록하는 데 있어 풀림으로 인한 축력의 변화는 이전부터 많이 사용해 오던 방법이였지만 너트의 풀림(회전)은 많이 다루어 지지 않았다. 축력의 변화량에 더불어 너트의 회전각도 축력이 이루어지면 앞으로의 풀림 방지 너트개발에 있어서 큰 도움이 될 것이다. 논문을 찾아본 결과 locking nut의

* Corresponding author. Tel.: +82-43-266-8789

Fax: +82-43-261-2441

E-mail address: eungsuk@chungbuk.ac.kr (Eung Suk Lee).

성능시험 논문은 찾기가 힘들었으며, 구조해석 관련 논문을 추가하였다¹⁾.

본 연구에서는 비전머신을 통하여 볼트, 너트의 고속 진동 시험 중에 너트를 명확하게 촬영하기 위한 방법을 제시하며, 또한 촬영된 이미지 파일을 이미지 샘플링 및 좌표추출 후 추출된 좌표를 이용한 각도 측정 단계를 통하여 진동시험 간의 측정에 있어 실시간이며 정확한 풀림 각도를 측정하는 것이 목표이다.

2. 실험장치 구성

2.1 진동 시험 장치

본 연구에서 높은 진동수에서 흔들리는 피사체를 정확하게 촬영하기 위해서 영상촬영장치인 카메라와 더불어 진동 장치의 진동수와 동일한 주기로 조명을 점멸 시켜준다. 실험장치는 Fig. 1과 같이 배치하였으며, 피사체인 너트에는 장치가 인식하기 쉽도록 너트에 2 포인트 그리고 지그 부에 2 포인트 반사체를 붙여준다.

본 연구에서 사용되는 시험장치 Fig. 2(a)는 미 항공 우주연구소(NASA)에서 볼트, 너트의 체결력의 시험을 위해서 개발된 장치이다²⁾. NAS3350은 30 Hz의 진동수를 가지며 17분간 30,000충격과 곡면 부 마찰에 의한 회전운동에 의해 볼트와 너트의 풀림이 진행되는 것을 시험하는 장치이다. 이 장치는 다양한 직경을 가진 볼트의 실험을 위해 너트 지그 부위 교체를 통하여 여러 사이즈의 시험에 대응한다.

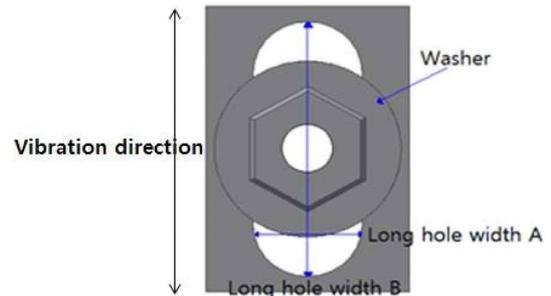
본 연구에서는 NAS3350 진동시험기를 사용하며 너트를 고정하는 외부 지그는 Table 1의 와셔, Fig. 2(c,d,e)와 같은 구조로

되어 있으며, 상하 진동으로 자체적인 충격이 가해지도록 설계하였다. NAS3350은 모터를 이용하여 상하 진동에너지를 발생시킨다. 지그에 작용하는 가진 조건은 Table 2에 정리되어 있다. Fig. 2(c)는 상하 진동에너지가 타원형으로 만들어진 지그에 의해 여러 방향으로 확산되어 모든 방향으로의 충격에너지로 전환되는 것을 보여준다. 이러한 구조를 통하여 너트는 일정하지 않은 충격을 받으며 풀림이 진행된다.

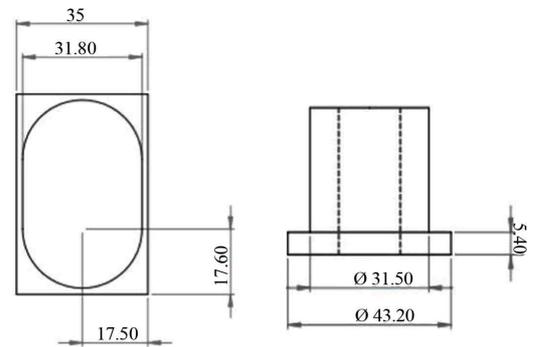
Fig. 2(c)과 같이 vibration direction은 up-and-down motion을 보이게 되는데, 그 이유는 Fig. 2(d)의 같이 좌측의 long hole



(a) NAS3350 tester (b) Nut with clamping jig



(c) Clamping jig and vibration direction



(d) Clamping jig hole (e) Nut bush

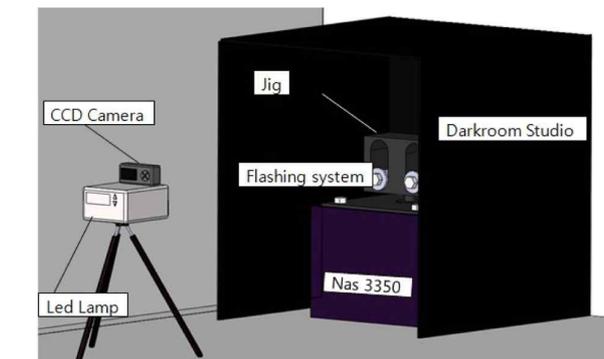


Fig. 1 Experimental equipment system of NAS3350 for a locking nut

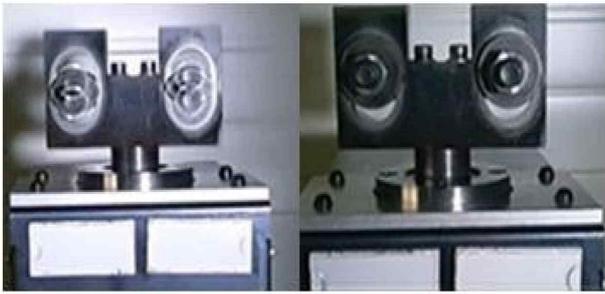
Table 1 Washer geometry for testing NAS3350 vibration tester with M16 bolt & nut

Washer external dia. (mm)	43.2
Washer thickness (mm)	5.4
Washer unit weight (g)	58.4

Fig. 2 Experimental equipments with the nut clamping jig for M16 nut

Table 2 NAS3350 vibration test condition

Frequency (Hz)	30
Vibration velocity (cm/s)	34.4



(a) Without flashing (b) With flashing

Fig. 3 Images with/without of the flashing illumination device

width A는 $\varnothing 31.80$ mm인 반면 Fig. 2(e)엔 $\varnothing 31.50$ mm 즉, 0.3 mm의 차이가 있어 360 도 방향으로 흔들림을 알 수 있다.

2.2 점멸등을 이용한 진동장치 촬영

스트로보스코프(stroboscope)를 이용한 프로펠러관찰법(3)을 인용하여 진동 장치의 진동수와 같은 주기로 조명을 점등해 촬영 장치로 하여금 선명한 사진을 획득하려 한다. 연속되는 조명에 노출 되어있는 진동 물체는 Fig. 3(a)과 같이 카메라의 셔터스피드가 포착하지 못하여 흐리거나 물체가 번지는 것과 같이 촬영된다. 셔터 스피드가 매우 높은 초고속 카메라를 사용하는 방법도 있지만³⁾ 본 연구에서는 조명을 조절하여 이를 해결하였다. 물체의 진동수와 같은 주기로 조명을 비추면 조명은 물체가 같은 장소에 온 순간에 빛이 비치게 된다. 이는 고속 점멸 조명을 이용하여 카메라가 Fig. 3(b)와 같이 정지된 상태의 물체를 촬영하는 효과를 보인다. 이러한 효과로 카메라는 빛이 비추어지지 않은 순간을 명도 차에 의해 검은 암실과 같이 촬영을 하며, 반대로 빛이 비추어진 순간에는 진동하는 물체가 아닌 정지된 상태에서의 촬영을 하는 것과 같이 나타나게 된다. 본 연구에서는 이러한 점멸장치 (flashing device)인 스트로보스코프(stroboscope)를 이용하여 NAS3350 진동시험기의 진동수에 맞춰 동일한 진동수로 실험하였다.

3. 영상처리를 이용한 너트 풀림 각도측정

3.1 영상처리 순서

점멸등을 이용한 진동 장치 촬영에서 관측한 영상 Fig. 4의 순서를 따라서 영상처리 및 데이터 추출을 진행한다. 영상처리에 필요한 프로그래밍은 Open CV를 통하여 획득하였으며 이를 기초로 너트에 새겨진 포인트를 찾아 풀림 정도를 확인한다.

3.1.1 데이터 전 처리(명도 이진화)

본 연구에 필요한 것은 너트와 지그 전체에 대한 사진데이터가

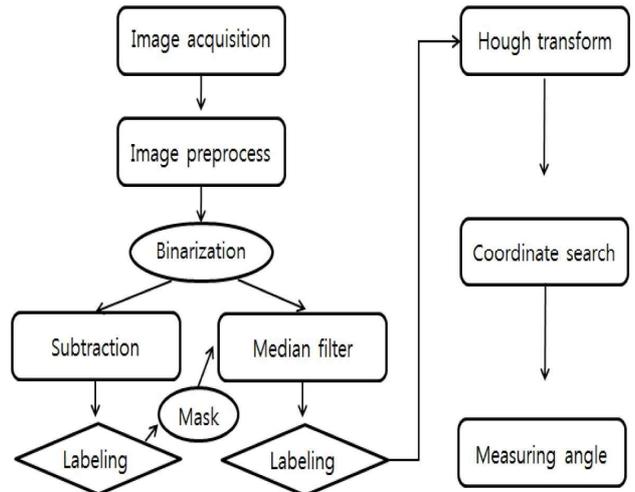
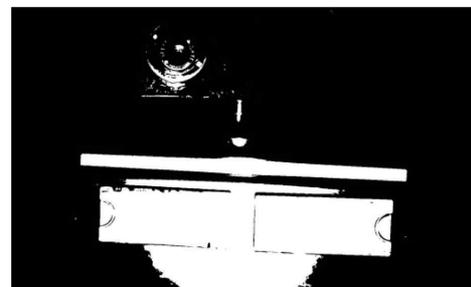


Fig. 4 Block diagram for the image comparison of the flashing device with the conventional illumination system



(a) Original



(b) Binarization

Fig. 5 Digital data sampling of nut with two points from the real image

아닌 너트와 지그에 부착된 표식의 위치 데이터이다. 이를 구별하기 위하여 명도를 기준으로 이진화를 진행하였다⁴⁾. 최초 명도를 기준으로 삼기 위하여 좌표를 가지는 표식은 단순한 검은색 표시하여 Fig. 5(a)와 같이 표현하려 하였으나 본 연구의 실험조건에서는 이를 관별해 내기가 어렵다. 따라서 이를 해결하기 위해 빛의 반사도가 높은 물체를 사용하였으며, 너트와 지그 부에는 빛의 반사율을 줄이기 위하여 빛 반사가 일어나지 않도록 코팅을 하였다. Visual Studio를 이용하여 명도가 200 (255가 가장 밝은 수치) 이상인 부분을 흑색으로 표기하고 이하인 부분을 백색으로 표현하여 Fig. 5(b)와 같이 표현한다.

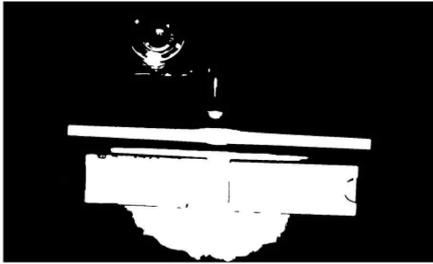


Fig. 6 Median filter processing for removing noises

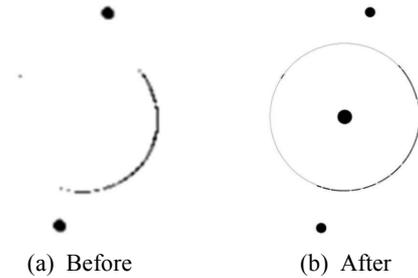


Fig. 7 Searching nut center by Hough transform

3.1.2 데이터 전 처리

이진화 작업에 이어서 데이터 단순화 작업을 위해 메디안 필터처리를 하였다. 메디안 필터는 이미지 전체를 픽셀 단위로 나눈 후, 나누어진 범위 안에 있는 데이터들의 평균값으로 범위 안의 값들을 변경해 주는 방법이다⁵⁾. Fig. 6은 메디안 필터(median filter)를 적용한 후의 이미지를 나타낸다. 빛의 난반사 효과로 인하여 이진화로 깨끗 깨끗해지지 않은 이미지가 메디안 필터 처리로 인하여 데이터 단순화가 진행되었음을 알 수 있다. 단순화 이후 0 과 255로 이루어진 명도 값 데이터에 사이 값들이 존재하게 되므로 이를 이진화를 통하여 다시 0 과 255로 바꾸어 준다.

3.1.3 점 좌표 추적

데이터 단순화를 거친 이미지를 이용하여 너트의 풀림 정도를 측정하기 위해서는 미리 부착해 놓았던 반사판의 좌표를 정확하게 체크하여 선을 잇고 좌표를 측정할 필요가 있다.

이를 위해서 Fig. 7과 같이 이진화 단계에서 너트 내부의 나선선의 윤곽선을 이용하여 너트의 중심점을 찾는다. 원을 이용하여 너트의 중심점을 찾는 방법은 OpenCV의 Hough transform⁶⁾을 통하여 처리하였다^{7,8)}. 이후 원점을 중심으로 y 축을 따라서 한 줄씩 상, 하로 동시에 데이터를 읽어 나간다. 데이터를 읽어 나가며 각 명도 값이 255인 좌표를 찾게 되면 상부 좌표 값과 하부 좌표 값을 비교하여 일치한다면 Fig. 8과 같이 $A(X_1, Y_1)$ 와 $B(X_2, Y_2)$ 로 지정하며 표식은 너트 부와 지그 부가 2곳에 작용하였으므로 이후에 발견되는 좌표를 $C(X_3, Y_3)$ 와 $D(X_4, Y_4)$ 로 지정한다. 4 개의 좌표를 지정한 이후 (X_1, Y_1) 과 (X_2, Y_2) 가 x축과 이루는 각도를

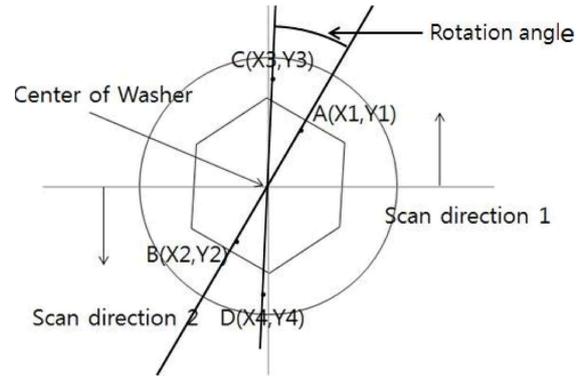


Fig. 8 Coordinate searching point A, B, C, D, with line A-B of nut loosening angle

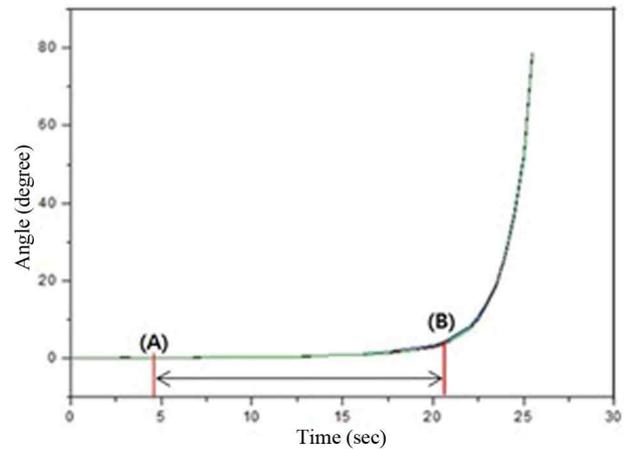


Fig. 9 Nut loosening angle of the conventional M16 nut with the vibrating time

찾고 마찬가지로 (X_3, Y_3) 와 (X_4, Y_4) 점들이 x축과 이루는 각도를 찾아 비교한다.

3.2 데이터 분석 및 표시

3.2.1 너트의 풀림 각도 측정

본 실험에서는 너트의 풀림 회전각을 오차 없이 측정 야 한다. 이를 위해 영상 처리 과정 및 좌표 추출 과정이 제대로 작동하는지 각 촬영된 영상 샘플을 10 회 반복 하여 확인을 하였다.

Fig. 9의 구간 A-B 는 풀림 각도가 4.5 초에 0° 에서 풀림이 진행되며 직전 구간으로 보이는 20.5 초에 8.1° 로 급격한 풀림을 볼 수 있다.

3.2.2 스프링 와셔 너트의 풀림 각도 측정

현재 풀림 방지 기능을 하는 제품 중 스프링 와셔를 본 실험에 추가해 풀림 각도 변화의 차이를 확인하기 위해 Fig. 10의 구간 A-B 역시 너트의 각도 변화량이 0° 인 부분부터 8° 까지의 구간 길이를 나타내었다. 스프링 와셔의 경우 풀림이 진행되는 시간이

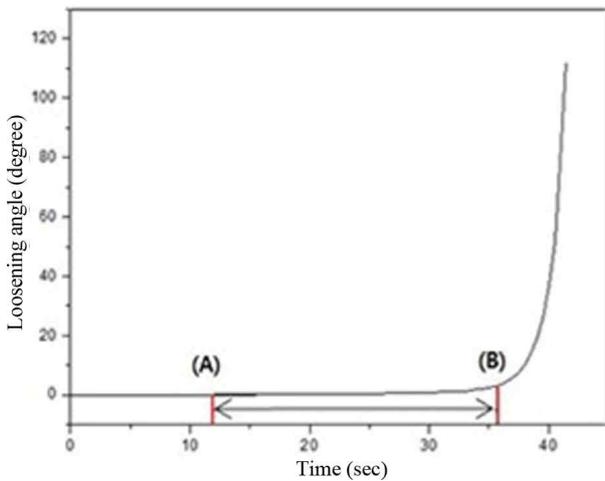


Fig. 10 Nut loosening angle for the vibration time pass of the M16 nut with spring washer

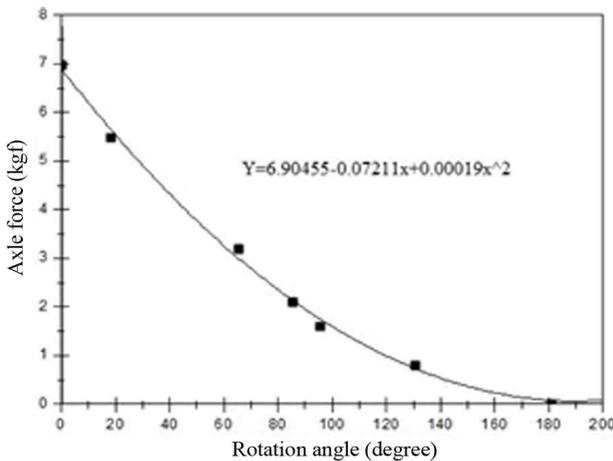


Fig. 11 Axle force measurement for M16 nut loosening angle

12 초로 단순 너트 결합보다 우수한 성능을 보였으며, 미세한 변화가 일어나 완전 풀림 까지 도달되는 시간은 25 초로 기존 너트보다 NAS3350 실험에서 좋은 성능을 보이는 것을 확인했다.

3.2.3 체결 토크에 따른 회전각, 축력의 변화

본 연구에서 너트의 풀림과 축력 변화를 알아보기 위해 너트 체결상태에서 너트 아래쪽에 부착된 로드 셀 게이지가 0인 지점 부터 너트를 추가로 조여서 각도 변화량 대비 조일 때 들어가는 체결 토크 그리고 로드 셀에 걸리는 하중을 조사하여 상관관계를 측정 후 M16 일반 너트를 기준으로 풀림 각도(x)와 로드 셀 게이지의 축력 실험데이터(y)를 이용하여 회귀분석을 통해 구한 방정식을 Fig. 11에 표시하였다. Fig. 9, 10에서 풀림의 진행이 급격하게 시작되는 지점을 관찰한 결과 급격하게 풀어지는 각인 8° 지점을 유추할 수 있었으며, 이때의 축력은 대략 6.5 kgf로 보인다.

3.3 측정 시스템 분석

본 연구는 좌표 4 개를 구하는 것으로 시작된다. X, Y 절대 좌표의 기준점에서 A, B, C, D의 네 점만으로 구할 수 있는 각도는 한정되어 있는데 이를 측정 각도를 예각으로 한정 지은 후 이전 데이터 값과의 차를 합산하여 데이터화 하는 방식으로 진행함으로써 0~90° 까지의 회전 각도 측정에 대한 제한을 해결하였다.

최초 프로그램에서 1 초에 1 개의 이미지처리 능력을 갖추고 있으며 고 진동 속에서 정확한 각도 변화 값을 얻기 위해 이미지 처리 시간을 줄여 1 초에 2 개의 이미지 처리가 가능하도록 하였다. 중간 값 필터의 선택과 관심 영역 지정을 통한 수색 범위 축소는 영상처리 속도 발전에 큰 도움이 되었으며 정확도 또한 향상하는 역할을 하였다. 스프링 와셔를 체결한 너트는 일반 너트에 비교하여 NAS3350 테스트에서 풀림이 진행되기까지의 시간이 더 길었다.

4. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 초고속 카메라의 경우 셔터 스피드가 높아 모든 구간에서의 진동체를 촬영할 수 있는 대신에 물체의 위치가 변화하여 이미지 처리에 있어 어려움이 있다. 하지만 본 연구에서 사용된 방법을 통해서 진동체는 항상 같은 자리에 존재하여 이미지처리 및 좌표 추출 단계에서 처리량이 감소하는 이점을 가지고 있다.

둘째, 좌표 추출과정에서 먼저 볼트 외각의 원형을 통하여 중심점을 구한 뒤 그 지점을 기준으로 상, 하 방향으로 스캔을 하면서 동일 거리상의 좌표만을 추출해 이미지처리를 함에도 불구하고 존재할 수 있는 잔여물들을 제외 시킬 수 있다.

셋째, 이전 데이터와의 pixel 값 비교를 이용한 영상 labeling으로 이미지 처리 구간을 효과적으로 한정 지었다. 이진화와 중간 값 필터를 통해 노이즈 제거를 하고 동시에 탐색지점의 크기를 줄여 나가 포인트의 정확도를 향상 시켰다. 원의 중심점을 이용한 대칭점 비교 방법으로 잘못된 탐색지점이 가능하다.

끝으로, 대략 6.5 kgf에 급격하게 풀어지는 지점을 알 수 있었으며 분석을 통해 중간 값 필터의 선택과 관심영역 지정을 통한 수색 범위 축소는 영상처리 속도 발전에 큰 도움이 되었으며 정확도 또한 향상하는 역할을 발견 했다.

References

[1] Cheong, K. Y., Park, T. W., Jung, S. P., Chung, W. S., 2010, Structure Optimization of a Nut for Prevention of Bolt Loosening, Trans, Korean

- Soc. Mech. Eng. A, 34:8, 965-970.
- [2] NASA, "NAS(National Aerospace Standard)3350 Manual," 2015, Standards Industry 3. Requirements, 3.4.2.9.
- [3] Jun, Y. I., Park, S. Y., Suk, W. C., Sue, J. C., 2011, Propeller Cavitation Observation Method, Proceeding of the Annual Autumn Meeting, Mokpo, Korea, 3-4 November, 388-393.
- [4] Lee, E. J., Son, Y. S., Kim, S. J., 2002, Vehicle Classification and Recognition Algorithm Using Image Processing Technique, Research Center for Information Engineering Technology, 1, 186-192.
- [5] Jeong, J. G., 1998, Real-Time 2-D Median Filter, The Journal of engineering, 1:1, 57-68.
- [6] Jung, S.P., Park, T.W., Chung, W.S., Song, H. S., 2009, Optimum Design of the Shape of the Spring for a Loose-proof Lock Nut, Proceedings of the KSPE Spring Conference, 149-150.
- [7] Bradski, G., Kaehler, A., 2008, Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library O'REILLY, North Sebastopol, Sebastopol.
- [8] Kang, D. J., Ha, J. E., 2008, Digital Image Processing Using Visual C++, SciTech, Gyeonggi, Korea, 246-259.