

비전 시스템의 성능개선을 위한 진동 적응 방법서갑호^{a*}, 윤성조^a, 박정우^a, 박성호^a, 김대희^a, 손동섭^a, 서진호^a**Vibration Adaptive Algorithm for Vision Systems**Kap-Ho Seo^{a*}, Sung-Jo Yun^a, Jeong Woo Park^a, Sungho Park^a, Dae-Hee Kim^a, Dong-Seop Sohn^a, Jin-Ho Suh^a^a Division of Field Robotics, Korea Institute of Robot and Convergence,
39, Jigok-ro, Nam-gu, Pohang, Gyeongbuk-do, 37666, Korea**ARTICLE INFO***Article history:*Received 13 October 2016
Revised 21 November 2016
Accepted 25 November 2016*Keywords:*Vibration occurrence estimation
Vibration avoidance
Vision inspection system
Image acquisition
Genetic algorithm**ABSTRACT**

Disturbance/vibration reduction is critical in many applications using machine vision. The off-focusing or blurring error caused by vibration degrades the machine performance. In line with this, real-time disturbance estimation and avoidance are proposed in this study instead of going with a more familiar approach, such as the vibration absorber. The instantaneous motion caused by the disturbance is sensed by an attitude heading reference system module. A periodic vibration modeling is conducted to provide a better performance. The algorithm for vibration avoidance is described according to the vibration modeling. The vibration occurrence function is also proposed, and its parameters are determined using the genetic algorithm. The proposed algorithm is experimentally tested for its effectiveness in the vision inspection system.

1. 서론

자동화된 생산시스템에서의 머신 비전은 컨베이어 벨트에서 이동하고 있는 검사대상체의 품질관리, 측정, 또는 분류의 목적으로 사용된다. 이러한 목적에 사용되는 영상처리에 있어, 카메라 또는 컨베이어 벨트 근처에서 발생하는 외부의 빛이나 진동은 영상처리의 결과에 영향을 크게 미치게 된다.

이 중에서 외부 빛에 의한 영향을 최소화하기 위해서 국부적으로 강한 조명을 비추어 사용하고 있다. 하지만, 피사체가 금속 재질의 반사가 쉬운 물체라면 상황은 달라진다. 일정한 조명을 유지할 경우보다 좋은 영상처리 결과를 기대할 수 있고, 이는 외부의 빛에 맞춰서 조명장치를 제어해야 함을 의미한다.

검사환경 주변의 진동과 관련하여, 본 논문에서 사용되는 영상처

리 검사장치의 경우, 프레스 장치 등의 강한 진동을 유발하는 기기가 공존하는 일반적인 제조공정라인에서 적용하고자 하므로, 이에 대한 지능적 처리방법이 반드시 필요하다. 진동은 그 정도에 따라 촬영된 이미지에 블러링(blurring)을 유발시키고, 이로 인해 영상처리의 결과에 심각한 영향을 주게 된다.

영상처리를 기반으로 하는 검사장비에서 진동을 회피하기 위해서 다양한 방법을 통해서 대응을 하고 있는데, 크게 다음과 같은 분류로 나뉘게 된다. 첫 번째는 초고속촬영이 가능한 카메라를 활용하여, 카메라의 노출 시간을 최소화시키는 방법이다. 이는 주로 고속으로 이동하는 피사체의 움직임을 순간적으로 확보하기 위해서 활용되며, 그 부가적인 효과로 카메라 또는 피사체의 움직임에 의한 블러링을 줄일 수 있다는 특징을 가지게 된다. 하지만, 이는 시스템의 가격을 상승시키는 요인이 되며, 시스템 구성의 간소화 관점에서

* Corresponding author. Tel.: +82-54-279-0443

Fax: +82-54-279-0449

E-mail address: newworld@kiro.re.kr (Kap-Ho Seo).

배치가 되는 상황이 된다. 두 번째는 기구장치에 의해서 진동에 적응하는 방법이다. 피사체나 카메라에 전달되는 진동을 직접 감쇠시키는 방법으로 공간 내에 진동에 의해서 발생하는 6자유도의 공간 움직임을 분석하여 모터, 진동감쇄패드 등을 활용하여 진동을 줄이는 과정을 거치게 된다^[2]. 마지막으로 본 논문에서와 같이 신호처리에 의한 진동 적응 또는 회피기술이라 할 수 있다. 제조공정라인은 환경 설정에 의해서 대부분 주기적인 움직임을 보이고 있으므로, 진동의 근원이 되는 프레스도 주기적인 동작을 하고 있다. 따라서, 이러한 진동의 주기와 지속시간에 대한 예측을 할 수 있다면, 이를 통해서 진동을 회피하여 영상을 확보하는 등의 노력으로 영상처리 결과를 보다 좋게 할 수 있을 것으로 생각된다^[3].

본 논문에서는 진동에 의한 획득 영상의 질적 회손을 최소화하기 위한 방법을 제안하고자 한다. 제조공정라인에서의 진동을 주기적 진동과 비주기적 진동으로 구분하고 각각에 대한 대응방안을 마련하여 복합적인 활용을 통해서 영상의 질적 개선을 유도하도록 한다. 또한 실제 환경에서의 실험을 통해서 그 적용성을 검증하도록 한다.

2. 시스템 정의

본 검사장치는 자동차 차체 제조공정라인에 적용하기 위해 진동 회피기술을 적용한 검사장치를 구현하고자 한다. 따라서, 환경 내에는 프레스에 의해서 차체프레임을 제작하는 공정과 이들의 불량검출을 위한 검사장비가 필요하며, 이후 조립공정에서도 유사한 영상처리 기반의 검사장비가 활용된다.

Fig. 1(c)에서와 같이 진동이 존재하는 제조라인에서 획득한 영상은 후속 영상처리에 적합하지 않은 영상을 확보할 수 있으며, 이로 인해 부정확한 판정결과를 내리게 된다. 추가적인 이미지처리 기술을 적용하더라도 처음 확보된 이미지의 질이 좋을 경우, 처리결과 신뢰성이 높아지는 것은 피할 수 없으며, 이를 위해서 진동적용/회피 기술이 필요한 것이다.

이를 위해서, 본 연구에서는 Fig. 2에서와 같이 진동을 측정할 수 있는 센서가 탑재된 영상획득 장치를 개발하였다. 진동을 측정하기 위한 센서로 3축 가속도 센서를 사용하였으며, 진동이 발생할 경우 센서값의 흔들리는 정도를 통해서 진동의 방향과 세기를 측정할 수 있게 된다.

2.1 진동의 수학적 모델링

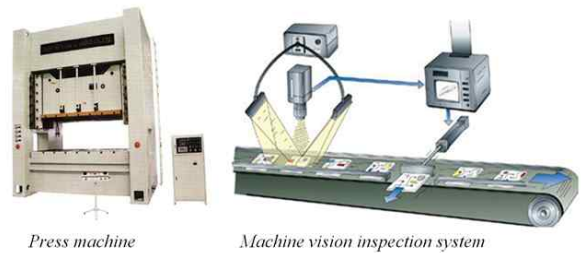
일반적으로 진동의 수학적 모델은 다음과 같이 정의된다.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \tag{1}$$

이 수식의 해는 다음과 같이 구해진다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 1 Failure problem of machine vision inspection system from the nearby vibratory system. Press machine generates periodic vibration. It results in a faulty inspection result. (a) real environment of factory with press machines (b) summarized configuration of factory (c) motion blur from vibration.



Fig. 2 Smart camera with accelerometer

$$x(t) = Ae^{\zeta\omega_n t} \sin(\omega_d t + \phi) \tag{2}$$

여기서 ω_d 는 감쇠고유진동수로서 $\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}$ 의 값을 가진다. Fig. 3과 같이 해당 파라미터의 차이에 의해서 진동의 개형을 표현할 수

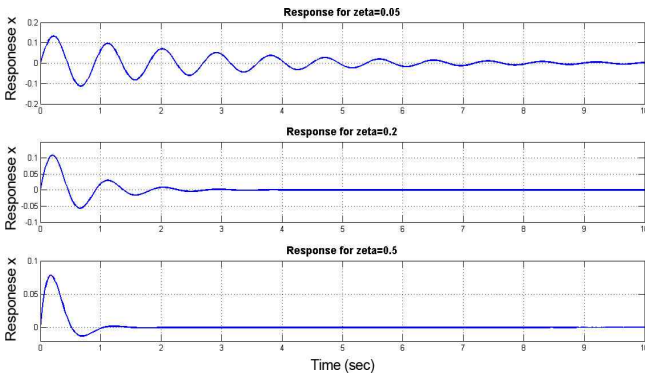


Fig. 3 Function for vibrations with different parameters

있다. 이들 파라미터는 프레스와 검사장치사이의 환경구성이 파라미터의 값을 결정된다. 제조공정라인을 보면 작업자, 지게차, 적재물 등의 다수의 물체가 위치 변동이 있으므로, 이를 모두 반영한 파라미터의 예측은 쉽지가 않으며, 시간에 따라 변경이 되므로 진동을 직접 수학적으로 모델링하여 예측하는 것은 쉽지 않거나 정확하지 않을 가능성이 높아지게 된다.

2.2 발생함수(occurrence function)의 정의

앞서 언급한 것과 같이 진동함수를 수학적으로 모델링하여 이들 파라미터를 예측하는 것은 쉽지 않다. 하지만, 이보다 환경적 특수성에 의해서 공장 내에서 발생하는 진동은 주기적인 특성을 가지고 있으며, 부가적으로 지게차 등의 이동에 의한 비주기적 진동이 발생하는 환경으로 볼 수 있다.

따라서, 일차적으로 주기적 진동을 수식으로 정의하고, 이들을 회피하는 것으로 상당히 많은 진동을 피할 수 있게 된다.

발생함수 f 는 아래와 같이 정의한다.

$$f(t_P, t_0, t_w) = u(t - nP - t_0) - u(t - nP - t_0 - t_w) \quad (3)$$

여기에서 P 는 진동의 주기, t_0 는 시간의 오프셋, t_w 는 영상품질의 훼손에 영향을 주는 임계값 이상 진동이 지속되는 시간을 의미한다. 발생함수의 도식적인 설명은 Fig. 4(a)와 같다.

제조공정라인에서 프레스는 다수개 존재하면 그 주기와 세기가 서로 다르게 된다. 즉, 이들로 인해서 발생하는 진동은 발생함수의 중첩연산에 의해서 표현이 가능하고, 이를 표현하는 연산자는 \oplus 로 표현한다. 연산자 \oplus 에 대한 도식적 설명은 Fig. 4(b)와 같으며, 이로 인해서 발생하는 전체 진동은 다음의 수식으로 표현이 가능하다.

$$V_{total} = f_1 \oplus f_2 \oplus \dots \oplus f_n \quad (4)$$

정의된 연산자 \oplus 는 발생함수의 수치적 합이 아니라, 논리적 합임을 알 수 있다.

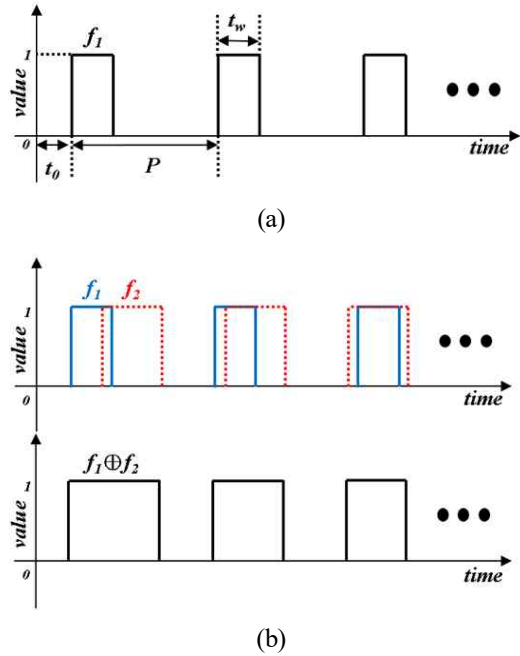


Fig. 4 Definition of occurrence function and its operation. (a) graphical description of occurrence function (b) graphical description of occurrence function.

3. 진동 발생 예측 및 회피 알고리즘

앞서 정의된 발생함수는 3개의 파라미터(진동주기 P , 시간 오프셋 t_0 , 진동 지속시간 t_w)로 정의된다. 각 진동원에 대해서 3개의 파라미터를 찾아야 되는 문제로 정의되며, 진동원의 개수가 증가하면 찾아야 하는 파라미터가 비례적으로 증가하게 된다. 따라서 n 개의 진동원이 존재할 경우, $3n$ 개의 파라미터를 찾아야 하는데, 이러한 문제 해결에 적합한 방법이 진화연산이다. 학습에 필요한 데이터는 설치할 장소에서 획득한 진동데이터가 되며, 이 데이터는 학습의 정도를 파악하는 적합도 함수의 자료로 사용이 된다. 진화연산을 통해서 함수를 예측하는 과정과 이에 필요한 연산자를 다음에 설명하도록 한다.

3.1 발생함수 예측을 위한 진화연산기법

진화연산의 적용을 위해서는 각 개체의 염색체(chromosome)를 정의하여야 하는데, 앞서 설명한 바와 같이 예측할 발생함수의 개수를 사용자가 정의를 하면 염색체의 길이는 결정이 된다. 이에 각 파라미터는 실수(real value)로 값을 가지도록 하며, 연산의 속도를 높이기 위해서 각 값의 경계값을 사전지식으로 정의해 놓도록 한다. 이렇게 정의된 개체의 형태는 Fig. 5(a)와 같이 표현된다. 일반적인 진화연산의 절차를 밝도록 하였으며 다음에 설명할 3개의 연산자와 적합도 함수에 의해서 알고리즘이 수행되도록 하였다^[4].

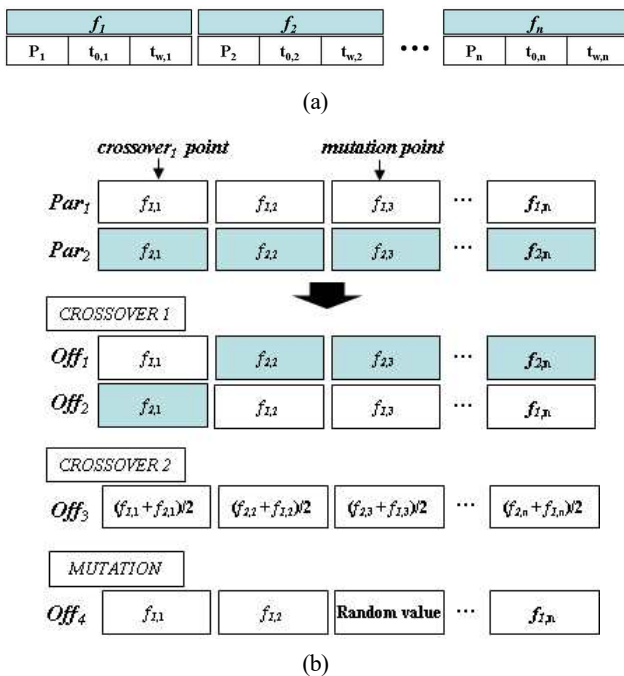


Fig. 5 Definition of chromosome and operator for genetic algorithm (a) chromosome (b) operator (crossover, mutation)

3.2 진화연산에 사용된 연산자의 정의

본 알고리즘에서 적용할 연산자는 세 가지를 사용하였다. 교배연산자(crossover) 2종과 변이연산자(mutation) 1종을 사용하여 연산을 수행하였으며, 각각에 대한 연산과정은 아래와 같다.

- 교배연산자 1: 한 점 교차 교배에 해당되는 연산자로서, 임의의 위치를 선정하고, 같은 지점에 대해서 두 부모 개체의 염색체를 서로 교환하는 방식이다. 전체 염색체의 길이는 변동이 되지 않는다. 이로서 두 개의 자식 개체가 생성된다.

- 교배연산자 2: 평균 교배에 해당되는 연산자로서, 선택된 두 부모의 각 값의 평균값을 가지도록 연산한다. 이를 통해서 하나의 자식 개체가 생성된다.

- 변이연산자: 임의로 선택된 하나의 부모 개체의 임의 위치의 값을 랜덤값을 부여하는 연산자이다. 이를 통해서 현재와 전혀 다른 영역의 값으로 이동을 시키고, 개체의 다양성을 유지할 수 있도록 하였다.

이 모든 과정에 대해서 전체 개체수는 20개를 유지하도록 하였으며, 임의로 선정된 두 개의 부모 개체로부터 4개의 자식 개체가 생성되도록 하였다. 이 과정을 각 세대별로 4번 수행하여 16개의 개체를 생성하고, 이전 세대에서 우수개체 4개가 다음 세대로 전달이 되도록 하였다.

개체수의 선정은 알고리즘의 수행속도에 영향을 주게 되므로, 본 논문에서는 시스템의 동작 주기와 신호의 복잡도에 의해서 실험적으로 결정이 되었다.

3.3 적합도 함수(fitness function)의 정의

각 세대에서 선택 과정이 필요하게 되며, 적합도가 우수한 개체가 선택이 될 확률을 높여야 해가 수렴해 가는 과정을 거칠 수 있게 된다. 따라서 각 개체를 평가할 수 있는 적합도 함수를 설계하였다⁵⁾.

$$fitness = \frac{card((V_{total} \oplus f_d)^c)}{card((V_{total} \oplus f_d))} \quad (5)$$

여기서 V_{total} 는 식 (4)에서 설명된 바와 같이 전체진동을 의미하며, 진화연산을 통해서 구해진 함수를 의미한다. 또한 f_d 는 실제 학습데이터로부터 구해지는 진동의 논리적인 함수로서, 영상에 영향을 주는 임계값 이상의 진동데이터에 대해서는 논리값 1을 가지고, 그 외에는 논리값 0을 가지게 된다. f^c 는 함수 f 의 논리적 보수값을 의미한다. 마지막으로 $card(\cdot)$ 는 전체 데이터 영역에서 해당 함수가 1을 차지하는 영역을 계산하는 함수이다.

즉, 식 (5)를 개념적으로 살펴보면, 진화연산을 통해서 찾은 V_{total} 이 f_d 와 유사도가 높을수록 적합도 함수의 값이 커지도록 설계가 되어 있다.

3.4 비주기적 진동의 회피

진화연산으로 주기적 진동을 예측할 수 있으며, 예측된 시점에서 영상의 촬영을 멈추도록 동작을 하게 된다. 이는 촬영 후 영상처리의 결과가 잘못 되는 것보다는 효율적인 방법이라 할 수 있다. 하지만, 앞서 설명한 바와 같이 현장에서는 비주기적인 진동이 있을 수 있으며, 이를 추가적으로 회피하는 기술이 필요하다. 이는 매 촬영 시마다 촬영 시간 동안 발생한 진동의 총량을 모니터링해서, 그 값이 임계치 이상 발생하는 경우, 재촬영이 될 수 있도록 하였다.

4. 실험 및 토의

4.1 발생함수 예측 모의실험

진동데이터는 Fig. 6에서와 같이 관성센서(Microstrain, 3DM-GX3-25)를 사용하였으며, 해당센서는 각속도와 선가속도를 동시에 출력이 가능한 센서로서, 본 논문에서는 해당 센서가 출력하는 데이터 중에서 중력방향의 가속도값(linear acceleration range: ± 50 g, bandwidth: 225 Hz)을 활용하여 진동의 값으로 활용하였다. 제안된 알고리즘을 검증하기 위해서 100초 동안 수집된 데이터를 이용하여 진화연산의 학습 및 검증을 수행하였다. 제안된 알고리즘에 따라서, 1만 세대 동안 진화연산을 수행하여 V_{total} 이 계산되었다. 원 데이터로부터 계산된 f_d 와 비교하여 알고리즘의 완성도를 확인할 수 있었다.

Fig. 7(b)에서와 같이 두 개의 진동원에 대해서 각각의 함수가

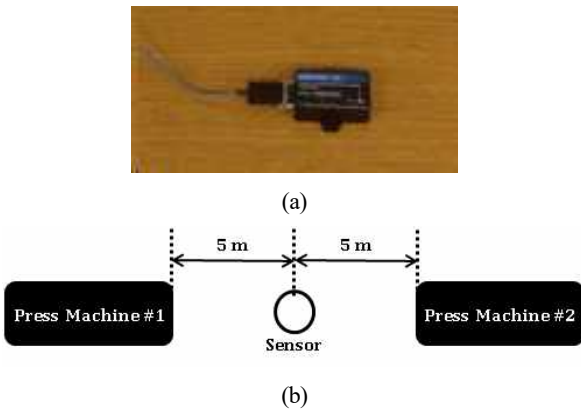


Fig. 6 Measurement condition and location of sensor: (a) IMU (3DM-GX3-25), (b) configuration for sensor location

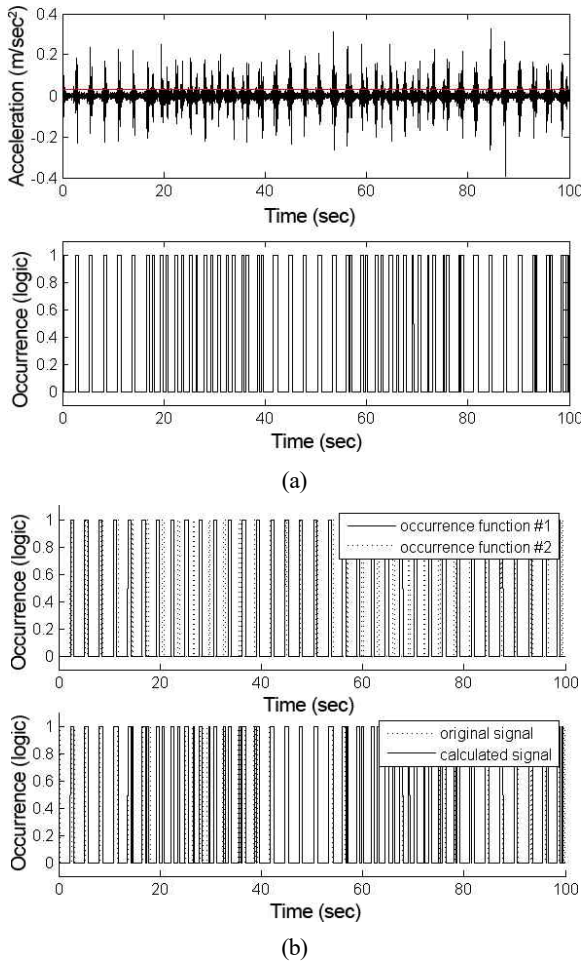


Fig. 7 Signal processing for occurrence estimation: (a) raw acceleration signal according to gravity direction and its occurrence, (b) calculated occurrence and comparison

따로 학습이 되도록 하고, 최종적으로 두 개의 논리합과 Fig. 7(a)에서 제공되는 원 데이터와 비교를 할 경우, 그 일치성이 97.2%에 달하는 것을 확인하였다. 그 외 주기적인 특성을 보이지 않는 요소의 경우, 측정노이즈 또는 다른 진동원에 의한 성분으로 보인다. 이

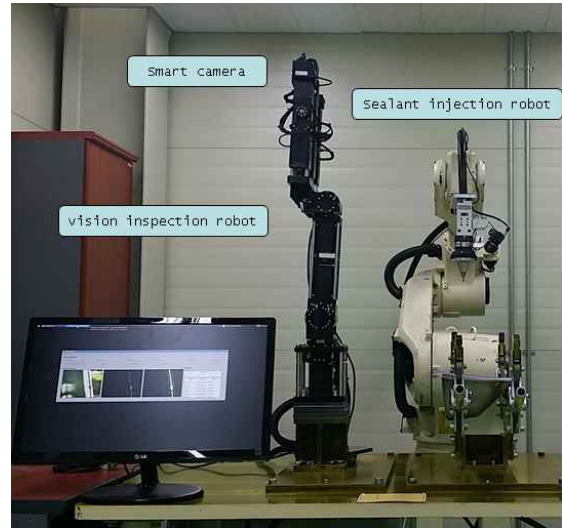


Fig. 8 Test environment for vibration adaptive vision inspection system. Outside this room, five press machines are operating with its operating period.

Table 1 Performance comparison between algorithms with/without VOCA

	Method	
	without VOCA	with VOCA
Total Time for Image Acquisition (sec)	120	127.3
Number of Non-blurred Image (frame)	82	100
Number of Blurred Image (frame)	18	0

*VOCA: Vibration OCcurrence estimation and Avoidance algorithm

러한 예측하지 못한 진동은 비주기적 진동으로 간주되어 앞서 3-4에서 설명한 비주기적 진동의 회피 방식을 적용하여 재촬영을 하게 되는 것이다.

4.2 진동 예측/회피 실 적용 실험

실제 실험은 제조공정라인에서 직접 수행이 되었다. 외부의 프레스 장치의 진동이 전달되는 곳에 테스트 환경을 만들고, 영상의 촬영을 수행하여 진동이 포함된 영상이 획득이 되었는지를 비교하는 실험을 수행하였다. 관성센서와 스마트카메라는 로봇 팔의 끝에 부착하여, 외부 진동에 의한 영향이 상대적으로 카메라 영상에 크게 미칠 수 있도록 하였다. 실제 검사는 실러로봇과 연동되어 실러가 제대로 도포가 되었는지를 검사하게 되므로, 실러의 두께 및 위치의 정확도를 측정하는 과정을 수행하게 되는데, 측정 시 진동으로 인한 잡음 성분이 포함될 경우 정확하지 못한 처리결과를 보이게 된다. 제안된 알고리즘은 스마트카메라의 프로그램으로 이식되어 구동하였으며, 제안된 알고리즘이 구동할 때와 그렇지 않을 때 획득된 영

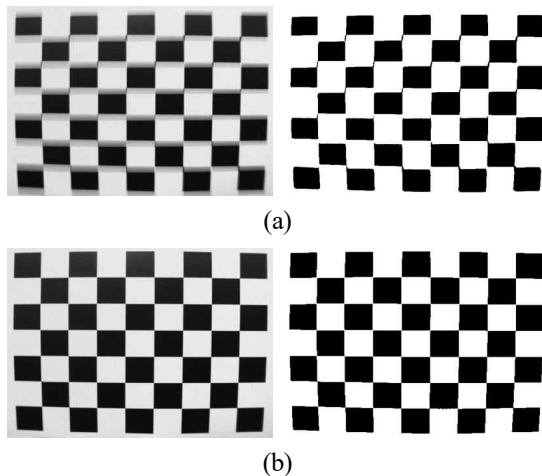


Fig. 9 The images to be transferred into image processing module in a smart camera. Figure (a) shows an input image which is not filtered with the proposed algorithm.

상의 질을 확인하였으며, 소요되는 시간을 같이 측정하였다.

검사는 한 사이클에 5개의 검사 지점으로 구성하고, 1초당 다음 검사 구간으로 이동하도록 하고, 전체 공정은 6초마다 다시 시작하도록 세팅하였다. 이를 전체 20번을 반복하도록 하였으며, 제안된 알고리즘이 적용되는 실험에는 앞서 4.1절에서의 방법으로 학습을 시켜 놓고 실험이 되도록 하였다. 이에 100개의 이미지가 촬영되며, 제안된 알고리즘이 포함된 경우, 주기적인 진동은 예측 및 회피를 수행하고, 비주기적 진동은 측정 후 재촬영을 수행하게 된다.

적용 실험의 수행 결과는 Table 1과 같으며, 제안된 알고리즘의 적용 결과 촬영 대기 및 재촬영을 통해서 이미지 확보 시간은 127.3초로 길어졌으나, 확보된 이미지 전부에 대해서 블러가 포함되지 않음을 볼 수 있다. Fig. 9는 촬영된 이미지를 보여주는 것으로 제안된 알고리즘이 없을 경우, 진동이 포함된 영상이 촬영이 되어 블러가 발생하고 있다(Fig. 9(a) 참조). 이로 인해서 임계값 적용을 통한 이진화 이미지를 만들게 될 경우 우측의 그림과 같이 정보의 일부를 잃게 되고, 이로 인해 영상처리 결과가 정확하지 않게 되는 것이다. 특히, 본 실험에서 실러의 위치와 폭과 같은 정보를 측정하는 검사장비의 경우 그 중요성은 더욱 강조된다.

5. 결론

영상처리 기반의 검사시스템은 자동화된 공정에서 많이 사용되

고 있으며, 최근 자동차를 비롯하여 다수의 제조공정에서 반드시 수행해야 하는 검사과정으로 인식이 되고 있다. 본 연구에서는 주기적 진동이 있는 제조공정라인에서 활용이 가능한 진동 예측 및 회피 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘을 적용하여 양질의 이미지를 확보하고 이를 통해 정확한 검사결과를 기대할 수 있게 된다.

영상 획득 시간은 다소 늘어나지만, 획득된 영상에 진동이 포함되지 않은 상태로 확보가 되는 것을 실험적으로 살펴보았으며, 이를 통해 제안된 알고리즘의 적용성에 대한 검증을 수행하였다. 주기적인 진동의 예측 및 회피 과정과 비주기적 진동의 분석 및 재촬영 기능을 동시에 사용을 하게 되면 보다 좋은 영상획득이 가능함을 확인하였다. 이는 예측 불가능한 진동을 제거하기 위해서 충분히 활용 가능한 기술이라 할 수 있다.

후 기

본 논문은 산업통상자원부 산업기술혁신사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호: 10067206).

References

- [1] Kim, Y.-K., Suh, S.-H., 2009, Design for Vibration of the Inner-frame of Thermal Surveillance Equipment, Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 625-626.
- [2] Jeon, H.-S., Son, K.-S., Han, S. W., Park, J. W., 2014, Correction of Error due to Camera Shaking when Vibration Measurement by using Camera Image, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 24:10 817-824.
- [3] Seo, K.-H., Park, Y., Yun, S., Park, S., Park, J. W., 2013, Vibration Occurrence Estimation and Avoidance for Vision Inspection System, Proceedings of RiTA, 633-641
- [4] Holland, J. H., 1975, Adaptation in Natural and Artificial Systems, Univ. Michigan Press, USA.
- [5] Seo, K., Shin, J., Kim, W., Lee, J., 2006, Real-Time Object Tracking and Segmentation using Adaptive Color Snake Model, International Journal of Control, Automation and Systems, 4:2 236-246.