

딥러닝을 활용한 비커스 경도 측정

강승협, 이동규
엘아이지넥스원

e-mail: seunghyoeb.kang@lignex1.com

Vickers Hardness Measurement by using Deep learning

Seung-Hyoeb Kang, Dong-Gyu Lee
LIG Nex1

요약

본 논문에서는 딥러닝 기법의 하나인 image segmentation을 적용하여 비커스 경도 측정 시간을 단축할 뿐만 아니라 정확성을 향상시키는 방법에 대해 연구하였다. 기존 비커스 경도 측정 방식에서는 사람이 직접 여러 압흔의 대각선 길이를 측정하여 경도값을 도출했기 때문에 측정자의 피로도가 누적되고 이로 인해 측정값에 대한 정확도가 떨어진다. 이를 개선하기 위해 image segmentation 기법을 적용하여 측정 시간을 단축뿐만 아니라 정확성을 높일 수 있는 방안을 모색하였다.

1. 서론

재료의 경도는 소재 및 기계부품 제조 산업에서 기계 부품의 마모성, 강도, 열처리에 대한 반응성 등을 예측하는 중요한 물성으로 이용되고 있다. 그 중 비커스 경도 시험은 거의 변형되지 않는 다이아몬드를 사용하기 때문에 다양한 재료에서 경도를 측정할 수 있다.[1] 이 때 시편에 다이아몬드 압입자를 누르면 압흔이 생기게 되는데, 측정자가 현미경을 이용해 두 대각선 길이를 측정한다.[2]

하지만 압흔을 측정하는데 상당한 시간이 소요되어 측정자의 피로도가 누적되어 측정값에 대한 정확도가 떨어질 수 있다. 또한 사람이 직접 측정하므로 주관적이며 작업자의 경험과 작업 조건에 따른 오차 역시 간과할 수 없다.[3]

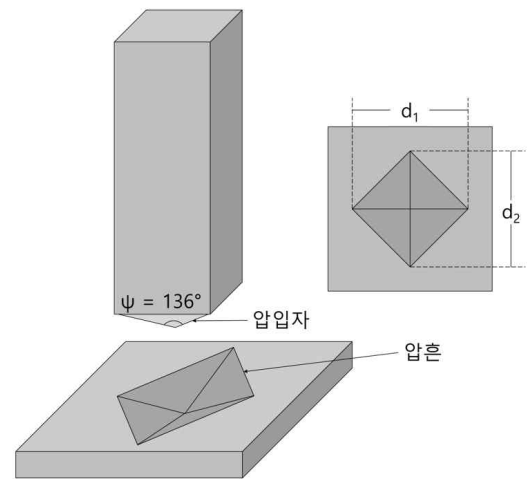
이러한 문제점을 개선하기 위해 본 연구에서는 비커스 경도 측정에 딥러닝 기반인 image segmentation 기법을 적용하여 경도 측정 시간을 줄이면서 정확성을 향상할 수 있는 방안을 모색하였다.

2. 본론

2.1. 비커스 경도 시험(Vickers hardness test)

비커스 경도 시험은 대면각이 136°인 사각뿔 모양의 다이아몬드 압입자로 시편에 하중 F를 가해 마름모 모양의 압흔을 생성한다.[4] 평균적으로 압흔 대각선 길이가 20μm~400μm 정도로 압흔의 크기가 매우 작기 때문에 현미경을 이용하여

압흔의 사진을 찍은 후 측정자가 대각선 길이 d_1 , d_2 를 측정한다. 그 후 비커스 경도 계산식에 대입하여 경도값(HV, Vickers hardness number)을 산출한다.[5,6]



$$HV = \frac{F}{d^2 / 2 \sin(\frac{\psi}{2})} = 2 \sin(\frac{\psi}{2}) \frac{F}{d^2} = 1.8544 \frac{F}{d^2}$$

$$(d = \frac{d_1 + d_2}{2})$$

HV: 경도값[kgf/mm²]

F: 하중[kgf]

d: 대각선 길이의 평균[mm]

ψ : 압입자 대면각[°]

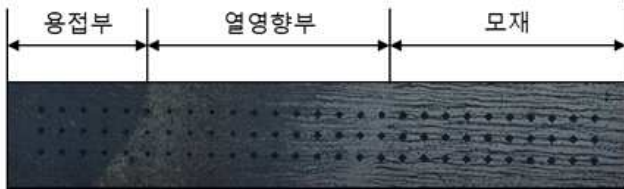
2.2. 연구 내용

본 연구에서는 두 가지 용접 조건과 8종류 강종의 조합인 11개 시편으로 각 시편 당 81개의 압흔이 찍혀있는 시편 이미지를 사용하였다. 이 때 용접 조건과 강종에 대한 정보는 주어지지 않은 상태로 용접 조건은 A, B로 구분하고 강종은 1~8로 구분한다.

[표 1] 용접 조건, 강종에 따른 데이터 분류

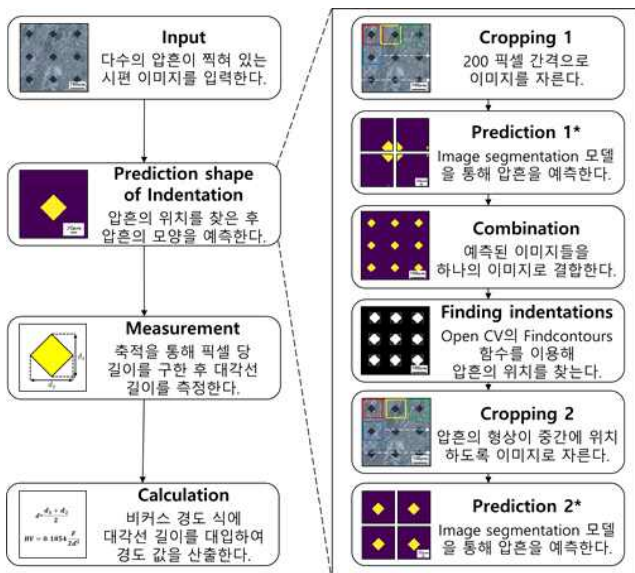
용접 조건(A, B)	강종 (1~8)							
	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A
-	2B	3B	-	5B	-	-	-	-

하나의 시편에는 열을 가한 용접부(weld zone), 열 영향을 받는 열영향부(heat affected zone), 열 영향을 받지 않은 모재(base metal) 부분으로 나뉜다. 각 부분마다 특성이 다르기 때문에 구간을 나누어 분석하였다.



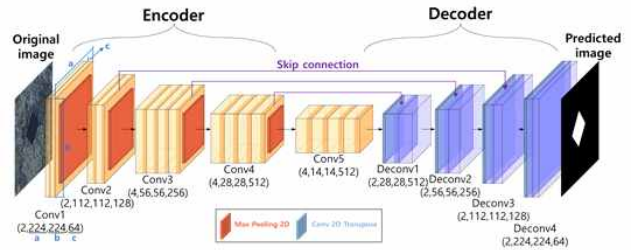
[그림 1] 시편 1A의 이미지

연구에서 사용되는 이미지의 크기가 매우 크기 때문에 이미지 전처리를 하지 않고 image segmentation을 진행하면 시간이 오래 걸리고 처리해야하는 데이터양이 많아 일반 컴퓨터로는 어렵다. 따라서 다음과 같은 flow chart를 구성해 효율적이고 정확도를 높일 수 있도록 구성하였다.



[그림 2] 연구 flow chart

이미지를 한 번에 처리할 수 없고, 압흔의 위치가 이미지마다 다르기 때문에 flow chart에서 크게 두 가지 단계를 거친다. 먼저 압흔의 위치를 찾는 과정(Cropping 1 ~ Finding indentations)이 진행되고, 압흔의 형상을 찾는 과정(Cropping 2 ~ Prediction 2)을 수행한다. 두 단계를 다 통과하면 결과 압흔 모양 바탕으로 대각선 길이를 측정후 후 비커스 경도 식에 대입해 경도 값을 산출한다.



[그림 3] VGG-Unet

Prediction 1*, 2* 단계에서는 Image segmentation을 하여 압흔을 예측한다. 이 때, 모델은 범용적으로 많이 쓰이는 Unet 모델과 정확한 형상을 찾을 수 있는 VGG 모델을 합친 VGG-Unet 모델을 사용하였다. 여기서 한 가지 특징이 있는데, 바로 skip connection이라는 기법이다. 일반적으로 VGG와 같은 모델은 층 깊이가 내려가 분석을 하기 때문에 vanishing gradient problem¹⁾이 발생한다. 이 때 몇 개의 층을 건너뛰어 연결해주는 skip connection을 추가하여 이러한 문제점을 해결하였다.

2.3. 연구 결과

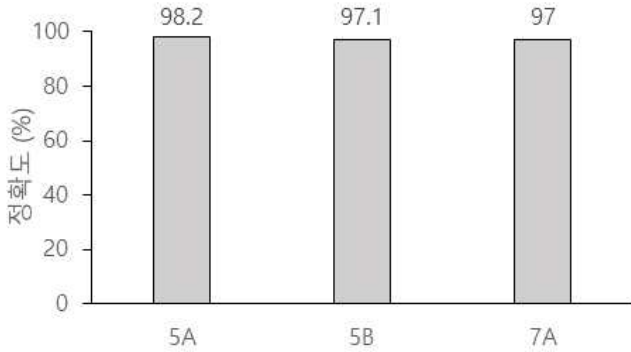
기존 데이터 중 임의로 8개(1A, 2A, 2B, 3A, 3B, 4A, 6B, 8A)는 학습용으로, 나머지 3개(5A, 5B, 7A)는 테스트용으로 사용하였다.

[표 2] 시편 5A의 비커스 경도 결과 값

	Vickers hardness(HV)						평균 정확도 (%)
	Left(L)		Middle(M)		Right(R)		
	실측값	예측값	실측값	예측값	실측값	예측값	
용접부	297.3	280.8	284.0	280.8	277.6	277.6	98.3
	284.0	290.6	274.5	277.6	280.8	280.8	
	259.8	259.8	259.8	265.5	284.0	280.8	
열영향부	424.3	430.1	386.2	391.0	277.6	271.6	97.8
	424.2	430.1	370.9	366.1	436.3	430.1	
	391.0	391.0	401.6	390.9	370.9	375.8	
모재	209.3	201.6	215.9	205.5	188.5	183.4	98.4
	194.1	185.2	237.2	229.6	185.1	180.1	
	176.9	173.7	186.8	185.1	173.7	169.2	

1) 층이 깊어질수록 전달되는 오차가 크게 줄어 학습이 되지 않는 현상

테스트 시편 중 5A에서 용접부, 열영향부, 모재 별로 실측 값과 예측값을 비교해본 결과 용접부는 98.3%, 열영향부는 97.8%, 모재 98.4%로 평균 98.2%의 정확도가 나왔다.



[그림 4] 비커스 경도 평균 정확도 결과

테스트 시편 결과를 보면 5A는 98.2%, 5B는 97.1%, 7A는 97%로 평균 97.4%의 정확도가 나왔다.

3. 결론

본 연구에서는 딥러닝 중 image segmentation 기법을 활용하여 비커스 경도 측정을 자동화하였다. 시편의 용접 여부, 용접 조건 및 강종과 관계없이 예측값이 97%이상의 정확도를 보였으며 81개 압흔의 경도를 측정하는데 평균 3분 내외로 측정되었다. 이러한 연구가 발전하여 보편화된다면 측정자에 따른 오차가 발생하며 측정 시간이 오래 걸린다는 한계점을 가진 비커스 경도 시험이 누구나 단시간 내 동일한 기준으로 경도값을 측정할 것으로 보인다. 더 나아가 비커스 경도 시험뿐만 아니라 다른 경도 시험에도 적용하는 등 광범위한 활용을 기대한다.

참고문헌

- [1] Takao Sugimoto and Tadao Kawaguchi, "Development of an Automatic Vickers Hardness Testing System Using Image Processing Technology", IEEE transactions on industrial electronics, VOL. 44, NO. 5, October, 1997.
- [2] Metallic Materials—Vickers Hardness Test—Part 1: Test Method, Standard ISO 6507-1: 2018, 2018.
- [3] Chenglin Cai, "Automatic Vickers Hardness Measurement With Neural Network Segmentation", IEEE transactions on instrumentation and measurement, VOL. 72, 2023
- [4] D. Chicot, "Comparison of instrumented Knoop and Vickers hardness measurements on various soft materials and hard ceramics", Journal of the European

Ceramic Society 27, September, 2006.

- [5] Saul M. Dominguez-Nicolas, "Indentation Image Analysis for Vickers Hardness Testing", Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control(CCE), September, 2018.
- [6] A. C. Fischer-Cripps, "Introduction to Contact Mechanics", Cham, Switzerland: Springer, vol. 101, 2007.