

# 휴대용 NIR 분광기와 CNN을 이용한 스테인리스강 등급 판별 방법

장주훈<sup>0</sup>, 최인엽<sup>\*</sup>

<sup>0</sup>강남대학교 ICT 융합공학부,

<sup>\*</sup>강남대학교 ICT 융합공학부

e-mail: wkdwngns3@kangnam.ac.kr<sup>0</sup>, billychoi@kangnam.ac.kr<sup>\*</sup>

## Method for Differentiating Stainless Steel Grades Using Portable NIR Spectroscopy and CNN

Ju-Hoon Jang<sup>0</sup>, In-Yeop Choi<sup>\*</sup>

<sup>0</sup>Dept. of ICT Convergence Engineering, Kangnam University,

<sup>\*</sup>Dept. of ICT Convergence Engineering, Kangnam University

### ● 요약 ●

본 논문에서는 휴대용 NIR(Near Infrared) 분광기와 CNN(Convolution Neural Network) 딥러닝 모델을 이용하여 스테인리스강 등급을 판별하는 방법을 제시한다. 기존에 스테인리스강 등급을 판별하는 방법은 화학분석 방법, 자기 테스트, 몰리브덴 스팟, 휴대용 XRF 장치와 같은 방법을 사용하였다. 하지만 이러한 방법은 제품에 시약을 바르거나, 특수 장비가 필요하거나, 전문 업체에 의뢰해야 하는 한계가 있다. 이러한 한계점을 본 논문에서는 NIR 분광기와 CNN 모델을 이용하여, 저비용이면서 쉽고 빠른 방법으로 해결하였다. 본 논문에서 제시한 방법을 이용하여, 추후 휴대용 기기에 On-Device로 탑재하면 저비용 이면서 쉽고 빠르게 스테인리스강 등급을 판별 할 수 있다.

**키워드:** CNN, NIR Spectroscopy, Stainless steel

## I. Introduction

스테인리스강(Stainless steel)은 매우 다양한 제품과 산업에서 사용된다. 몇 가지 주요 적용 분야들을 살펴보면, 주방 용품 및 조리 도구, 건축 및 건설, 의료 및 의료기기, 자동차 및 항공우주 산업, 전자제품, 에너지 및 환경기술의 재료로 널리 사용되고 있다. 이 외에도 다양한 산업 및 분야에서 광범위하게 스테인리스강이 사용되고 있다.

이러한 스테인리스강은 다양한 합금으로 구성되어 있고, 화학적 구성에 차이점이 있다. 스테인리스강의 주요 합금 성분으로는 크롬(Cr), 니켈(Ni), 몰리브덴(Mo), 망간(Mn) 등이 있다. 각 합금의 화학적 구성은 그의 성능과 특성에 중대한 영향을 미친다. 예를 들어 몰리브덴 함량이 높은 스테인리스강은 그렇지 못한 스테인리스강에 비해 해수나 화학 물질에 대한 내식성이 훨씬 좋다.

STS(Stainless Steel)는 스테인리스강의 재질을 구분하는 규격으로 KS 규격에 포함된 스테인리스강의 규격 명칭이다. STS 등급(Grade)은 특정 합금 원소의 비율과 특성을 기준으로 정해지며, 이러한 등급을 통해 재료의 성능과 적합한 응용분야를 알 수 있다.

Table 1. STS Grade Characteristic

STS Grade	Characteristic
316	몰리브덴 함량이 높아서 내식성이 우수하고 열 처리에 강함. 주로 해수 환경이나 화학 산업에서 사용되고, 최고급 주방 소재로 사용됨.
304	크롬과 니켈 함량이 높아 내식성이 좋고 우수한 가공성을 가짐. 주방용기, 화학용기 등 일반적인 환경에서 사용되고, 일반적으로 가장 널리 사용됨.
201	니켈 함량이 낮고 망간 함유량이 높아 녹과 부식이 되기 쉬움. 좋은 가공성으로 가성비가 좋아서, 저가 소비자 제품이나 가공성이 중요한 제품에서 사용됨.

이처럼 스테인리스강은 재료의 함량에 따라 사용 용도가 달라지고 가격이 달라진다. STS 300 등급 계열 스테인리스강의 제조 원가는 니켈 가격이 좌우한다. 그러나 니켈 가격이 상승하면서 가격이 저렴한 STS 200 등급 계열의 스테인리스 재질을 제품에 적용하면서도 마치 STS 300 계열을 적용했다고 둔갑하여 판매하는 경우가 과거에 문제로 대두된 적이 있었다[1]. 니켈은 전기차 배터리, 특히 리튬 이온 배터리

의 핵심 구성 요소 중 하나이다. 최근 전자 산업이 발전하면서 니켈 가격이 상승하고 있다. 이러한 상황을 반영하듯 최근 316나 304등급의 고품질 스테인리스 강을 사용한다고 광고하는 프라이팬 제품들이 실제로는 201 등급 스테인리스강을 사용하고 있다는 사례가 뉴스에 보도 되었다[2]. 316와 304등급의 스테인리스강은 내식성과 내구성이 뛰어나 주방용품 및 고급 가전제품에 주로 사용되지만 가격이 비싸다. 하지만 201 등급의 스테인리스강은 니켈 함량이 낮아 상대적으로 내식성이 떨어지는 대신 가격이 저렴하다. 니켈 값 상승으로 인한 낮은 이용율을 생각할 때 스테인리스 업계가 STS 200계 등급을 STS 300계 등급으로 둔갑하여 판매하는 경우는 앞으로 더 많아질 것으로 예상된다.

하지만 스테인리스강 재질을 확인할 수 있는 실용적인 방법이 존재하지 않는다는 것이 문제이다. 현재 스테인리스강 재질을 검증하는 여러 방법이 있다. 하지만 현재 검증 방법은 전문 업체에 맡겨야 하므로 검증 비용이 비싸고 시간이 많이 소요된다. 가격이 초고가인 제품이라면 고려해 볼 수 있다. 하지만 주방 용품이나 조리 도구인 경우에 소비자나 판매상들이 산 제품을 전문 검증 업체에 맡긴다는 것은 현실적이지 않다.

이 논문은 이러한 문제점을 해결하기 위하여 도입 가능한 현실적인 방법을 제시한다. 제시한 방법으로 손쉽게 제품에 대한 스테인리스강의 재료가 무엇인지를 판별할 수 있다. 논문에서는 가격도 경제적이면서, 전문적인 지식 없이 쉽고 빠르게 스테인리스 강의 STS 등급을 구분할 수 있는 방법을 제시한다.

## II. Preliminaries

### 1. Related works

#### 1.1 국내 동향 및 해외동향

스테인리스강의 재질을 구분하는 방법으로 화학 분석 방법, 자기 테스트 분석 방법, 몰리브덴 스팟 테스트 방법과 휴대용 분광기 방법이 있다.

화학 분석(Chemical Analysis) 방법[3][4]은 스테인리스강의 정확한 원소 조성을 결정한다. 이는 광학 방출 분광법(OES) 또는 X선 형광(XRF)과 같은 기술을 사용하여 수행할 수 있다. 이러한 방법은 원소 구성에 대한 정량적 데이터를 제공하므로 304 및 316 스테인리스강(ASSDA)과 같은 등급을 구별하는 데 적합하다.

자기 테스트(Magnetic Testing)[3][4]는 다양한 유형의 스테인리스강을 구별하는 데 사용되는 더 간단하고 안정적인 방법이다. 예를 들어, 페라이트계(400 시리즈) 및 마르텐사이트계 스테인리스강은 자성을 띠는 반면, 오스테나이트계(300계열) 스테인리스강은 냉간 가공되지 않는 이상 일반적으로 비자성이다.

몰리브덴 스팟(Molybdenum Spot) 테스트[3]는 316 및 317 스테인리스강과 같은 등급에서 중요한 요소인 몰리브덴의 존재를 식별하는 데 도움이 된다. 강철 표면에 시약을 바르면 색상 변화가 몰리브덴(ASSDA)의 존재를 나타낸다.

휴대용 분광기(Portable Spectroscopy)는 휴대용 XRF 장치[3][5]

와 같은 휴대용 분광기를 사용하면 스테인리스강의 현장 분석이 가능하다. 이러한 장치는 실험실 테스트 없이 재료를 빠르게 식별하고 분류하는 데 특히 유용하다. 이는 거의 즉각적인 결과를 제공하며 현장에서 재료 등급을 확인하는 데 매우 효과적이다. 하지만, 특수 장비를 사용하지 않으면 탄소 같은 가벼운 원소를 검출하는데 한계가 있다.

그러나 이러한 방법들은 전문 장비와 기술적인 지식이 필요하다. 이것은 시간과 가격에 관련이 있다. 주방 용품과 조리 가구를 사면서 복잡하고 비싼 가격을 주면서 이러한 방법을 도입하는 것은 현실적이지 않고 한계가 있다.

## III. The Proposed Scheme

시장에 판매되는 시약을 제품에 발라서 확인을 하거나, 검증 업체에 제품을 의뢰하여 STS 등급을 구분하는 것은 한계가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 우리는 분광기와 CNN 모델을 이용하여 간단하게 스테인리스강 재질을 구분해 내는 방법을 제안한다.

### 3.1 분광기(Spectroscopy) 소개

분광기의 기본 원리는 물질이 특정 파장의 빛을 흡수하거나 방출하는 성질을 이용하는 것이다. 분광기 스펙트럼 중에 NIR(Near Infrared)의 파장 대역은 700에서 2500 nm 사이의 전자기 스펙트럼 영역을 말한다. NIR 파장 대역의 주요 특징 중에 투과성, 분자 진동, 적외선 흡수 피크와 저에너지 특성이 있다. 적외선 흡수 피크 특징은 다양한 물질이 특정 파장에서 빛을 흡수하는데, 이 흡수 피크를 통해 물질의 화학적 구성과 농도를 분석할 수 있다. 또한 NIR 빛은 에너지가 낮지만 충분히 강력하여 화학적 분석을 수행할 수 있다. NIR은 물질의 화학적 성분을 분석하는 데 유용하며, 다양한 산업 분야에서 비파괴 검사와 성분 분석에 활용된다.

이러한 NIR의 특징을 이용하여 NIR 데이터를 수집하여 데이터베이스를 이용하여 훈련한 후에 스테인리스강의 STS 등급을 분류하고자 한다. 이를 위해 LinkSquare[6]라는 휴대용 근적외선(NIR) 분광기를 사용하였다. 이 분광기는 700 nm에서 1,100 nm의 파장 대역을 사용하는 휴대 가능한 단말기이다.

### 3.2 스테인리스강 데이터 수집

스테인리스강의 재질을 분류하는 데이터베이스를 만들기 위해 필요한 것은 스테인리스강 데이터이다. 스테인리스강 데이터를 수집하기 위해 시장에서 판매하는 201, 304, 316등급의 스테인리스 용품을 준비하였다. 각각 3종류의 스테인리스 용품을 준비하였다. STS 등급의 한 제품마다 400개의 NIR 데이터를 수집하여, 각 등급마다 1,200개의 데이터를 수집하였다. 총 3,600개의 NIR 데이터를 가지고 CNN 모델로 학습을 수행하였다.

NIR LinkSquare 기기의 분광기 센서로 각 제품들을 스캔하여 샘플 데이터를 그래프로 변경하면 다음과 같다.

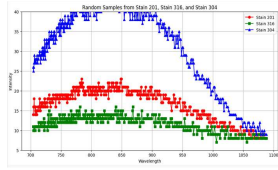


Fig. 1. STS 201/304/316

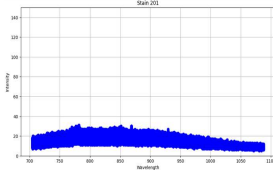


Fig. 2. STS 201

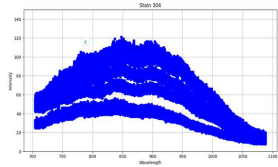


Fig. 3. STS 304

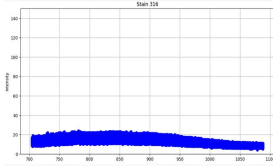


Fig. 4. STS 316

NIR LinkSquare 는 스캔한 데이터를 CSV 파일로 저장한다. 각 데이터 행에는 해당 샘플의 NIR 스펙트럼 정보가 포함된다. CSV 파일에서 등급별로 라벨링을 진행한다. 201 등급은 0, 304 등급은 1, 316 등급은 2로 라벨링을 진행한다.

### 3.3 스테인리스강 등급 분류 CNN 모델

각 등급별로 수집한 스테인리스강 데이터를 Keras[7]를 사용하여 STS 등급을 분류하는 CNN 모델을 작성한다.

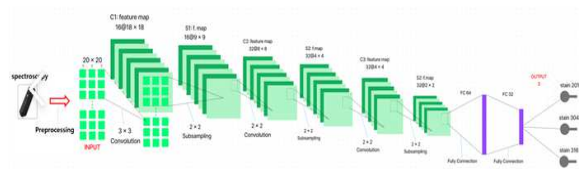


Fig. 5. CNN Model to classify STS grades

수집한 스테인리스강 분광기 데이터를 STS 등급 분류 CNN 모델을 통해 ‘201’, ‘304’, ‘316’, 로 판별하게 된다. STS 등급 분류 CNN 모델은 Spectroscopy 데이터 400개를 사용하여, 입력이 20 x 20 이 된다. 모델은 3개의 2D convolution layer와 2개의 FC (Fully Connected) 레이어로 구성된다. 첫 번째 2D 컨볼루션 레이어에는 3 x 3 필터 크기로 16개의 채널이 있으며, 두 번째 2D 컨볼루션 레이어에는 2 x 2 필터 크기로 32개의 채널이 있다. 세 번째 2D 컨볼루션 레이어에도 2 x 2 필터 크기로 32개의 채널이 있다. 첫 번째 2D 컨볼루션 레이어 이후에 2 x 2 최대 풀링을 사용한다. 첫 번째 FC 계층에는 64개의 뉴런이 있으며, 두 번째 FC 계층에는 32개의 뉴런이 있다. 출력 레이어에서 ‘201’, ‘304’와 ‘316’를 예측한다.

전체 3,600 개의 데이터를 훈련 검증, 테스트 각각 6:2:2 로 분할하여, 훈련결과 검증을 진행하였다. 최적화를 위해 Adam Optimizer 를 사용하였고, 손실 함수는 sparse\_categorical\_crossentropy를 사용했다.

훈련은 100번 수행 시에 정확도는 93.47% 이고, 손실이 0.2204% 이다.

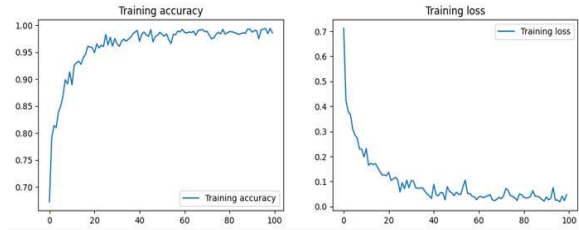


Fig. 6. Train accuracy of CNN model

테스트 정확도는 평균 94%이다.

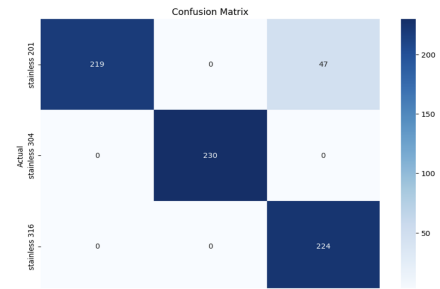


Fig. 7. Confusion Matrix of test

## IV. Experimental Results

훈련된 STS 등급 분류 CNN 모델을 가지고, 상점에서 판매중인 201, 304, 316 등급의 스테인리스 제품 한 개씩을 선택하여 100개의 샘플링 후에 PC 상에서 테스트를 진행하였다. 테스트 결과는 평균 95.7% 이다. 각 등급별 테스트 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Test Result of STS Grade

STS Grade	Test Result	Percentage
201	(91/100)	91 %
304	(100/100)	100 %
316	(96/100)	96 %

## V. Conclusions

시중에 판매되는 스테인리스 제품 대부분에는 STS 등급이 표기되어 있지 않다. 이로 인하여싼 재료를 가지고 높은 가격을 책정하여, 소비자에게 판매를 할 수 있다. 그러나 사중에는 이를 판별할 실용적인 방법이 없다. 이 논문에서 제시한 NIR와 CNN 모델을 이용한 분류 방법은 기존 방법에 비해 쉽고 저렴하면서 정확도 있게 STS 등급을 분류할 수 방법을 제시하였다. 추후 NIR 센서를 On-Device 한 제품을 출시한다면 On-Device 상에서 현장에서 바로 STS 등급을 분류 가능하다.

## REFERENCES

- [1] STEALDAILY 20, <https://www.steeldaily.co.kr/news/articleView.html?idxno=12727>
- [2] Prime Economy, <https://www.newsprime.co.kr/news/article/?no= 575991>
- [3] TESTING FOR GRADE CONFIRMATION, <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=55570a776143254c3a8b4581&assetKey=AS%3A273777844260884%401442285132883>, Australian Stainless Steel Development Assoc (ASSDA)
- [4] Testing for grade confirmation, <https://www.assda.asn.au/blog/99-testing-for-grade-confirmation>
- [5] S. J. Ryu and G. R. Jung, "A Study on the Application of Metal-Based Forensic Evidence Using the Portable X-ray Fluorescence Spectrometer(PXRF)," Police Study, Vol. 18, No. 32, Sept 2018.
- [6] LinkSquare, <https://linksquare.io/>
- [7] Keras, <https://keras.io/>