

## 머신비전 시스템을 이용한 스크랩 자동선별 연구†

\*金燦旭 · 金倓久\*

浦項産業科學研究院, \*POSCO

## Machine Vision Applications in Automated Scrap-separating Research†

\*Chan Wook Kim and Hang Goo Kim\*

Research Institute of Industrial Science & Technology(RIST), Pohang, Kyngbuk 790-660

\*Poahng Iron & Stee Co., Ltd.(POSCO), Pohang, Kungbuk, 790-360

### 요 약

본 연구에서는 색도인식이 가능한 머신 비전시스템을 설계 제작하고, 제작한 시스템을 이용하여 철스크랩에 혼합되어 있는 Cu 스크랩을 자동으로 분리하는 시험연구를 행하였다. 머신비전시스템은 크게 측정부, 이송부 그리고 ejector로 구분되며, CCD카메라, 광원 및 frame grabber로 구성된 측정부에서 이미지 프로세싱 알고리즘에 의해 이송되어 오는 스크랩 표면의 색도를 인식하게 된다. 또한 그 인식결과에 따라 I/O interface가 구성된 컨트롤러에 의해 에어노즐을 작동하도록 하여 임의로 지정한 특정 표면색상의 스크랩만을 분리하도록 되어 있다. 본 시스템을 이용하여 철스크랩에 포함된 Cu스크랩의 선별실험을 수행한 결과, 스크랩 이송속도가 15 m/min.에서 90%이상의 선별효율을 나타내어, 향후 선별기능의 고속화가 실현될 경우 산업적으로 적용 가능성이 매우 높은 것으로 판단되었다.

주제어 : 머신비전, 영상처리, 자동선별, 색도인식

### Abstract

In this study, a machine vision system using a color recognition method has been designed and developed to automatically sort out specified materials from a mixture, especially Cu and other non-ferrous metal scraps from a mixture of iron scraps. The system consists of a CCD camera, light sources, a frame grabber, conveying devices and an air-nozzle ejector, and is program-controlled by a image processing algorithms. The ejectors designed to be operated by an I/O interface communication with a hardware controller. In the functional tests of the system, its efficiency in the separation of Cu scraps from its mixture with Fe ones reaches to 90 % or more at a conveying speed of 15 m/min, and thus the system is proven to be excellent in terms of the separating efficiency. Therefore, it is expected that the system can be commercialized in the industry of shredder makers if an automated sorting system of high speed is realized.

Key words : machine vision, image processing, automated separating, color recognition

### 1. 서 론

머신비전시스템(Machine Vision System : MVS)기술은 영상처리 및 분석을 통해 획득된 영상데이터를 이용하여 제조 및 생산공정을 제어하는 기술분야를 일컫는다. 머신비전기술을 구현하기 위해서는 이미지 프로

세싱, 컴퓨터 그래픽, 형상인식, 인공지능 그리고 신경망 등의 요소기술의 접목이 요구되며, 최근 영상처리 기술의 비약적인 발전에 힘입어 산업전반에 걸쳐 급속히 응용이 되고 있는 추세이다. 이는 육안으로는 분별이 불가능한 가시광선(380~760 nm) 영역을 벗어나는 적외선 및 자외선 영역까지 분광특성을 이용한 인식처리를 행함으로써, 방송미디어 분야를 위시하여, 반도체 및 전기전자 분야, 자동차분야, 의약품분야, 농수산물 및 식품

† 2006년 6월 26일 접수, 2006년 10월 10일 수리

\*E-mail: cwkim@rist.re.kr

분야 등의 형상 및 결합검사 등 다양한 분야에 적용이 되고 있다. 그러나 대부분 영상처리의 적용분야는 자동차 생산라인의 안착불량, 이물질 분리, 색도불량 등 이미지를 이용한 검사분야<sup>1,4)</sup> 및 자동화기기의 제어 그리고 로봇 등에 활용성이 높은 광학센서분야가<sup>5,6)</sup> 대부분으로 영상처리 기술을 소재에 적용한 연구 사례<sup>7)</sup>는 매우 드문 상황이다. 국내에서도 머신비전시스템을 이용하여 자동차 안착불량, 농산물의 이물질 분리, 강관의 표면 결함 등에 활용되고 있으나 폐자동차의 슈레더 스크랩에 혼합되어 있는 폐모터 및 모터 와이어 등을 선별하는 분야에 적용한 사례는 없다. 폐자동차를 파쇄할 때 자력선별시 폐모터에 부착되어 있는 코아에 의해 자력으로 철스크랩과 같이 선별되기 때문에 전기로 제강시 모터 와이어(Cu)의 혼입으로 문제가 되고 있어 슈레더 업체에서는 이에 대한 해결방안을 모색하여 왔으나 기술적 한계로 인해 hand picking에 의한 폐모터를 선별하고 있는 상황이다.

따라서 본 연구에서는 철스크랩에 혼입되어 있는 폐모터를 선별하기 위한 선행연구의 일환으로써, 소재의 표면색상을 인식하여 색도데이터를 취득하고 분석함으로써 그 결과에 따라 임의의 색상 소재만을 선별하는 자동선별시스템을 설계제작하고 철스크랩에 혼합되어 있는 Cu스크랩을 선별하는 시험 및 분석연구를 행하여 전기로 제강업체 및 자동차 슈레더 공장 등으로 산업적용 가능성을 타진하고자 하였다.

## 2. 색도인식 자동선별시스템의 개요

### 2.1. 영상처리에 의한 색도인식 및 판별

일반적으로 사용되는 색상혹은 색도라는 표현은 색도

학(Colorimetry)에서는 칼라(Color)를 나타내며 Hue, Saturation 및 Value로 구분하여 사용하고 있다<sup>8)</sup>. Hue는 적색, 황색, 녹색 등의 색도로 표현되며 동일한 색도라고 하더라도 Value에 따라 구분된다. Saturation은 칼라의 정도를 나타내는 채도로 표현되며 이를테면 적색 계열의 색도인 경우 pink, light red, medium red 그리고 dark red 등을 이르는 용어이다. Value(Brightness)는 명도로 표현되며 색의 발현유무를 구분한다. 따라서 본고에서 기술하는 색도라는 표현은 HSV(Hue, Saturation, Value)를 총칭하며 이하 색도라고 기술하기로 한다.

색도인식 자동선별시스템을 구현하기 위해서는 우선적으로 색도인식 및 데이터 처리과정이 무엇보다 중요하다. 본 연구에서는 금속표면의 색도 데이터를 취득하고 분석하기 위하여 색도데이터 취득 알고리즘을 구성하고 Visual C++로 색도인식 및 데이터 프로세싱용 S/W를 제작하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 인식하려는 대상물체에 대하여 광원을 조사하면 CCD카메라에서 얻은 영상데이터는 frame grabber라는 이미지 취득기를 통하여 이미지를 취득한 후 컴퓨터로 보내게 되며 연속적인 영상 데이터를 full frame(640×480 픽셀)으로 디스플레이 영역에 전송하게 된다. 획득한 영상데이터는 RGB(red, green, blue) 값으로 데이터화하며, 연산이 용이한 색도 데이터로 변환하기 위해서 다음과 같은 수식을 이용하여 RGB 데이터를 HSV 데이터로 변환한다.

$$V = 0.3R + 0.59G + 0.11B$$

$$V1 = R - V = 0.7R - 0.59G - 0.11B$$

$$V2 = B - V = 0.3R - 0.59G + 0.89B$$

(1)

$$H = \tan^{-1}\left(\frac{V1}{V2}\right), S = \sqrt{V1^2 + V2^2}$$

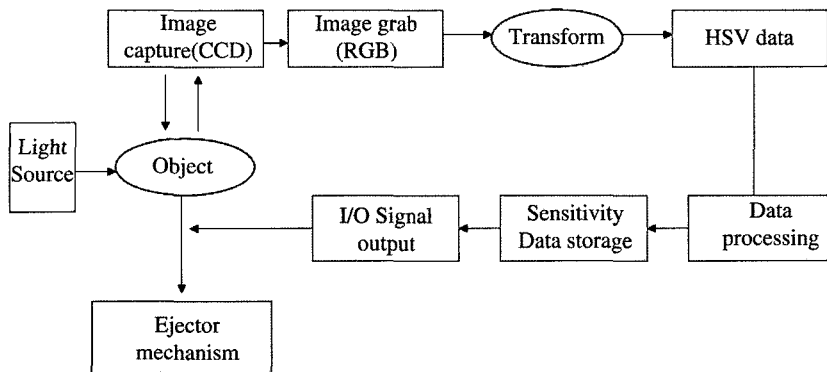


Fig. 1. Block diagram of a separating process using color recognition method.

여기서 V, H 및 S는 각각 명도, 색도 및 채도를 나타내며, R, G, B는 Grabber에서 취득한 이미지의 색을 RGB로 처리함으로써 취득한 적색, 녹색 및 청색의 데이터를 나타낸다. HSV 데이터는 데이터 처리과정을 거쳐 오차를 줄이기 위하여 평균값 등이 계산되어 file로 저장되며 이를 기본값으로 한다. 자동검출시에는 콘베이어로 이송되어 오는 물체의 이미지를 취득하여 연산된 색도값이 사전에 저장되어 있는 기본값과 비교하여 원하는 색상인지 여부를 판별하여 검출하고 그 결과에 따라 I/O 신호를 출력하여 Ejector를 구동하게 된다.

**2.2. 시스템의 구성 및 제작**

Fig. 2에 색도데이터를 취득하기 위한 기능을 수행하도록 제작한 시험용 색도인식 선별시스템의 개념도를 나타낸 것이다. 시스템은 크게 측정부, 제어부 및 구동부로 구성되어 있으며 측정부는 색도를 계측하기 위한 구성요소로서 자연광에 의한 영향을 제거하기 위하여 폐쇄된 공간내부를 암실구조로 하였으며 그 내부에 3CCD camera 및 조명기구가 설치되어 콘베이어로 운송되어 오는 소재에 빛을 조사함으로써 반사되는 가시광의 파장을 분석하여 영상데이터를 컴퓨터로 전송하는 역할을 수행한다. 시스템에 사용된 카메라는 Hitachi model HV-D30으로 하였으며 LM 가이드를 사용하여 100~300 mm까지 높이조절이 가능하도록 하였다. Frame grabber는 Matrox model METEOR2-MC(8 Bit, 30

frames/s, visual영역, NTSC방식)을 사용 하였으며, 조명은 할로겐 램프를 사용하여 색도 측정 중에 1000 룩스 이상의 조도를 유지하도록 하였고, 또한 고주파 인버터를 사용하여 1 kHz 이상의 주파수로 카메라와 연동되도록 하였다. 제어부는 시스템을 제어하는 콘트롤러와 컴퓨터로 구성되어 있으며 시스템의 모든 구성요소가 연동되도록 설계하였다. 그리고 측정부에서는 계측된 색도데이터를 분석하고 모든 동작은 컴퓨터상의 메인화면(Fig. 3 참조)에서 이루어지도록 하였다. 구동부는 검출할 대상소재, 즉 본 연구에서는 스크랩을 이송하는 수단인 콘베이어와 선별용 에어노즐 분사기구로 구성되어 있으며 콘트롤러에서 송출한 신호에 따라 이송되어 오는 스크랩을 거당하여 공기를 분사하도록 설계하였다.

**3. 실험방법**

시스템의 색도계측 시험을 하기 위하여 시판되는 1 mm 두께의 Cu판재(99.9%) 및 brass판재를 80 mm×80 mm로 크기로 절단하고 관상 열처리로에서 400°C에서 각각 10, 20 및 30 분간 대기중에서 산화시켜 산화 정도에 따라 여러형태로 발색하도록 시편을 제작하였다. 합금시편은 진공유도용해로(15 KHz, 10 KW)를 이용하여 제작하였으며, 되도록 합금원소의 휘발을 방지하기 위하여 직경 45 mm의 석영관에 용해시료를 장입하고

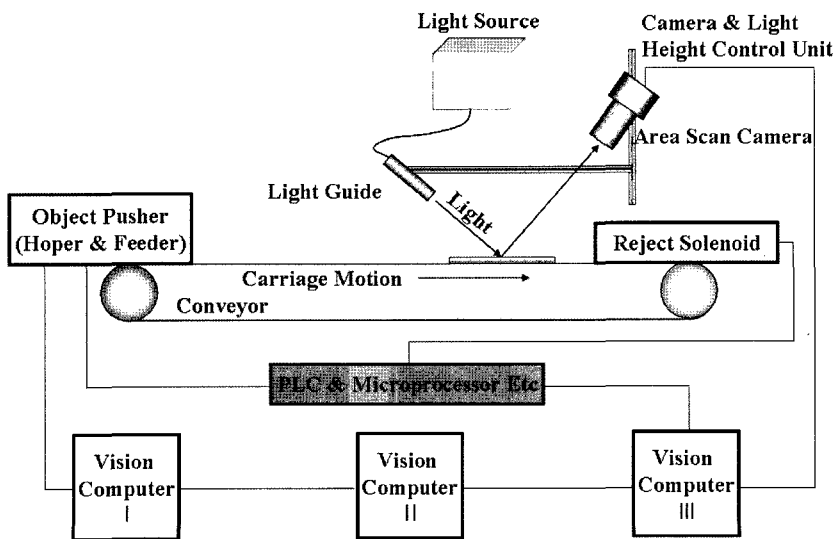


Fig. 2. Schematic diagram of the proposed scrap-separating system.

밀봉하여 용해하였다. 또한 산화시편과 비교분석하기 위하여 대기 중에서 장시간에 걸쳐 자연산화된 Fe판재, Cu tube, 모터용 와이어 및 피복이 벗겨진 Cu 와이어 등을 입수하여 계측시험을 행하였으며 재질별 색도계측 시험은 Fig. 2의 시스템 측정부의 측정위치(lamp의 조

사위치)에 시편을 놓고 행하였다. 작동은 Fig. 3의 메인 화면인 S/W상에서 측정부의 카메라를 동작시킨 후, 색도데이터 취득을 실행시켜 R, G, B 값 및 R/G, H, S, V값 등의 계산결과와 평균값, 최소값 및 최대값 등을 계산하였다. 일반적으로 영상처리에 의한 색도측정은 조명

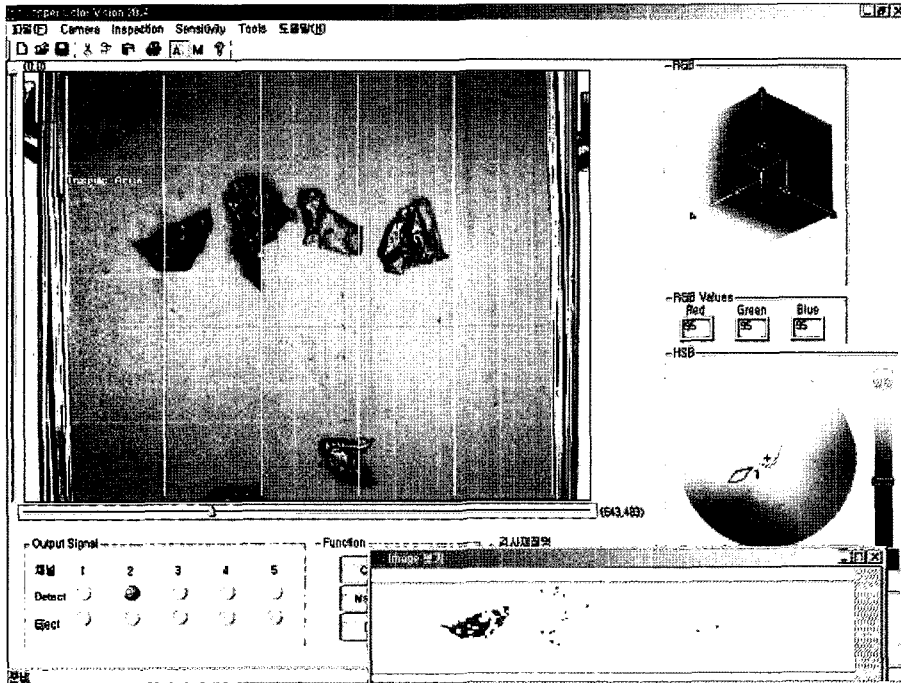


Fig. 3. Display image of the color recognition software.

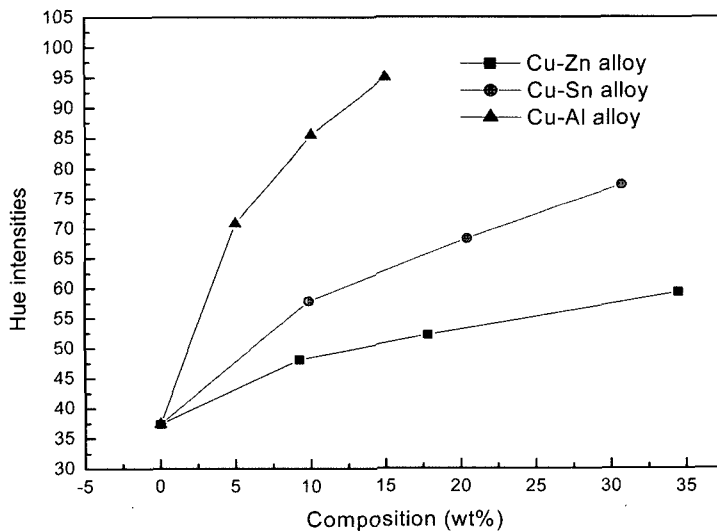


Fig. 4. Composition dependence of hue intensities in Cu-Zn, Cu-Sn and Cu-Al alloy systems.

에 크게 좌우되므로, 본 시험에서도 측정오차를 감안하여 동일한 위치에서 시편마다 10회씩 측정하여 평균값을 구함으로써 측정오차를 최대한 감소시키도록 하였다.

자동선별 시험을 하기 위해 시험용 스크랩을 정형, 무정형 철스크랩 및 Cu스크랩을 준비하였다. 정형스크랩은 제강공장에서 조성분석용 샘플링 채취시편을 수거하여 가공하였으며, 무정형 철스크랩 및 Cu스크랩은 자동차 shredder 공장에서 생산된 자동차 scrap을 회수하여 본 시스템의 규모에 맞도록 5~6cm크기로 절단하였다. 시험용 철스크랩은 정형 및 무정형이 각각 100개씩, Cu스크랩은 50개를 준비하였다. 선별은 소재의 형상이 선별효율에 미치는 영향을 보기 위하여 정형의 철스크랩과 Cu스크랩을 혼합한 그룹과 무정형 스크랩과 Cu스크랩을 혼합한 그룹, 정형의 철스크랩과 무정형 철스크랩, Cu스크랩을 혼합한 그룹 등 총 3개 그룹으로 나누어 시험을 행하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1. 시스템의 색도인식 성능평가

본 연구에서 제작한 색도인식 선별시스템을 이용하여 Cu합금과 산화처리한 시편 및 자연산화한 시편 등에 대해 취득한 RGB 색도데이터를 식 (1)을 이용하여 Hue (H), Saturation(S) 및 Value(V)값으로 변환처리한 결과를 Table 1에 나타내었다.

Fig. 4는 Cu-Zn, Cu-Sn 그리고 Cu-Al 합금 시편의 조성에 따른 Hue의 영향을 나타낸 것이다. Fig. 4에 보는 바와 같이 Hue값은 Cu에 Zn, Sn 및 Al을 첨가하는 양에 따라 색도값이 일정한 패턴으로 변화되는 것을 알 수 있으며 첨가원소의 조성이 커짐에 따라 시료별로 지수적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 조성과 Hue 값 간에 상호관계가 있음을 의미하며 보다 체계적인 실험 및 분석을 통하여 색도인식 데이터의 database화가 가능하다면 H값만을 측정하므로써 용이하게 Cu합금의 조성을 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 5에 Table 1의 Cu합금과 산화처리한 시편 및 자연산화한 시편 등의 색도데이터에 대해 H-S mapping한 결과를 나타낸다. 산화처리한 시편의 경우에는 H값은 산화시간에 따라 거의 변화가 없으나 S값은 큰 차이를 나타내고 있다. 색도분포를 보면 H가 40~65이며 S가 비교적 낮은 45~65에 분포되어 있는 그룹과 H가 30~65이며 S가 85~115로 비교적 높은 S값을 갖는 그룹으로 나누어 짐을 알 수 있다. 이 결과는 가시

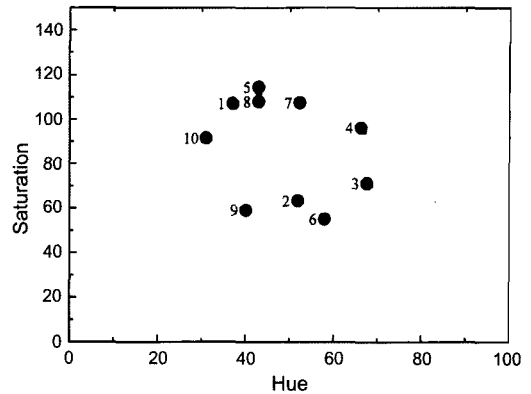


Fig. 5. H-S mapping of obtained color data for various specimens.

1: Non-oxidized Cu plate, 2: CuZn<sub>20</sub>, 3: CuSn<sub>20</sub>, 4: Non-oxidized brass plate, 5: Oxidized Fe plate, 6: Oxidized Cu plate, 7: Oxidized Cu tube, 8: Motor wire, 9: Oxidized Cu wire, 10: CuAl<sub>15</sub>

광 영역내에서 측정한 색도데이터는 H값보다 S값이 보다 넓은 스펙트럼분포를 하고 있어 S값이 색도값에 민감하게 작용하고 있음을 보여주고 있다. 그 일례로 5번 시편과 8번 시편은 표면이 자연산화되어 육안으로는 식별이 불가능하여 색도인식을 측정한 결과, H값은 각각 43 및 43.6으로써 거의 동일한 값을 나타낸 반면, S값은 각각 108 및 112정도로 차이를 보여 색도인식시스템을 통하여 충분히 구분이 가능함을 알 수 있었다.

##### 4.2. 자동 선별효율 평가

자동선별 시험은 먼저 에어노즐 분사기구의 반응시간 및 라인스피드를 결정한 후에 행하였다. 반응시간은 반응간격, 복귀시간 및 인접검출 등 3가지 항목으로 구성되며, Fig. 3에 나타낸 메인화면상에서 ms 단위로 임의로 입력을 하여 조정을 하면서 최적의 조건을 도출하였다. 여기서 반응간격은 카메라에서 인식하여 에어노즐을 분사할 때 까지의 시간을 의미하며 복귀시간은 분사 후 다음 분사동작까지의 시간을, 인접검출은 연속하여 이송되어 오는 scrap이 동일한 재질인 경우 한 몸체로 인식되는 시간을 의미한다. 즉, 스크랩이 한 순간도 지연됨이 없이 연속적으로 검출될 때 다음 검출의 어느정도 시간까지를 하나의 물체로 인식하는가를 나타낸다. 예로써 인접검출시간이 100ms인 경우 첫번째 검출 후 두번째 검출까지의 시간이 100ms이내에 검출하였다면 이는 하나의 물체로 인식하여 분사를 행한 후 분사동작을 중단하지 않고 계속 분사를 하는 상태로 있게 되는

**Table 1.** Obtained color data for various samples

Samples	H	S	V	Remarks
Cu(99.9%)	37.4	107.5	79.0	Plate
CuZn(9.23wt%)	48.1	113.3	65.8	Alloy
CuZn(17.85wt%)	52.2	63.6	111.5	Alloy
CuZn(34.5%)	59.3	73.2	96.4	Alloy
CuSn(9.87%)	57.9	99.4	66.8	Alloy
CuSn(20.4wt%)	68.3	70.6	105.0	Alloy
CuSn(30.7wt%)	77.3	62.1	73.9	Alloy
CuAl(5.1wt%)	70.8	55.3	79.9	Alloy
CuAl(10.2wt%)	85.5	50.6	59.3	Alloy
CuAl(15.2%)	95.0	30.1	71.7	Alloy
Fe plate	43.0	112.5	53.0	Oxidized
Brass	66.7	94.8	71.4	Non-treatment
Brass(10min.)	58.7	113.8	42.8	Heat-treatment
Brass(20min.)	59.7	114.8	57.3	Heat-treatment
Brass(30min.)	57.8	120.2	54.3	Heat-treatment
Cu(3min.)	39.2	96.7	61.0	Heat-treatment
Cu(10min.)	41.1	103.1	56.4	Heat-treatment
Cu(20min.)	58.2	54.3	37.0	Heat-treatment
Cu(30min.)	93.7	46.7	37.3	Heat-treatment
Cu Tube	51.7	197.3	44.5	Oxidized
Motor wire	42.6	108.1	34.1	Oxidized
Cu wire	40.0	59.1	77.1	Oxidized

**Table 2.** Separating efficiency for scraps

Samples	Separating efficiency (%)
Fe scrap+Cu scrap	93
Shreddered Fe scrap+Cu scrap	90
Fe scrap+Shreddered Fe scrap+Cu scrap	90

것을 의미한다. 자동선별시 라인스피드는 15m/min.로 일정하게 하여 콘베이어상에 스크랩을 투입하였으며 예비선별 시험을 행한 결과 도출된 최적의 반응간격이 5400ms, 복귀시간이 400ms, 인접검출은 300ms이었다.

스크랩 자동선별시험은 3개의 그룹별로 철스크랩 대비 Cu스크랩의 혼합비를 50%로 하여 행하였으며 선별 효율의 산출은 선별 후 철스크랩에 몇개의 Cu스크랩이 혼합되는 지를 계수하여 산출하였다. Table 2에는 도출된 시험조건 하에서 스크랩 그룹별로 자동선별을 행한 결과를 나타낸다. 정형의 샘플링 시편과 Cu 스크랩을

혼합한 그룹의 선별효율이 93%로 다른 두 그룹에 비해 선별 효율이 다소 높기는 하지만 거의 비슷한 선별효율을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 본 시스템의 에어노즐기구는 당초에는 채널당 한개의 에어노즐을 사용하였으나 정확도가 떨어져 선별효율이 60% 이하로 감소하여 에어노즐을 2개 사용하는 dual type으로 개선하였다. 그 결과, 노즐분사 시 스크랩에 분사하는 정확도가 높게 되고 또한 노즐의 높낮이를 적절히 조정함으로써 분사력을 스크랩에 집중할 수가 있어 선별효율이 매우 향상됨을 알 수 있었다.

## 5. 결 론

본 연구는 scrap의 표면색상을 이용한 인식시스템을 개발하여 색도인식의 가능성 여부를 평가하고 색도인식 시스템을 이용한 scrap 분리 구동 기구를 설계제작하여 색도인식 시스템과 연동하는 시험용 자동선별 시스템을

구현하므로써 향후 생산현장에 적용가능 할 것인지를 가능하기 위하여 수행하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 색도인식성능 시험결과, 육안으로는 식별이 불가능한 소재도 색도인식시스템을 통하여 충분히 구분이 가능함을 알 수 있었으며 본 연구를 통하여 설계제작한 시스템의 색도인식 성능이 우수함을 알 수 있었다.

2) 콘베이어 스피드가 15 m/min로 하여 스크랩 자동선별시험 결과, 철 스크랩에 혼합되어 있는 Cu 스크랩 선별 효율이 90%이상으로 확인되었다.

3) 자동선별 실험 결과는 콘베이어 스피드가 비교적 저속하에서 이루어져 얻어진 것으로, 향후 인식효율향상을 위한 image grab기술, 데이터 프로세싱 및 이젝터 기구 설계 등에 대한 후속연구 등을 통한 콘베이어 스피드의 고속화가 실현되는 경우, 자동차 슈레더 업체, 재활용업체 및 전기로 제강 업체 등으로의 산업화 적용 가능성이 매우 높은 것으로 판단되었다.

## 참고문헌

1. Boukouvalas, C., Natale, F. D., Toni, G. D., Kittler, J., Marik, R., Mirmehdi, M., Petrou, M., Roy, P. L., Salgari, R., and Vernazza, G., J. Mater. Proc. Tech., **82**, 179 (1998).
2. Wang, D., Zou, J., and Yang, Y., Proceedings of SPIE, 2899, 637 (1996).
3. Lee, D. and Anbalagan, R. S., Proceedings of SPIE, 2622, 573 (1995).
4. Pla, F., Sanchiz, J. M. and Sanchez, J. S., IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA, 2, 541 (2001).
5. Oestreich, J. M., Tolley, W. K., and Rice, D. A., Mineral Eng., **8**(1/2), 31 (1995).
6. Sabatani, A. M., Genovese, V., Guglielmelli, E., Mantuano, A., Ratti, G., and Paolo Dario, IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, 3, 120 (1995).
7. Gebhardt, J. E., Tolley, W. K. and Ahn, J. H., Miner. Metall. Process., May, 96 (1993).
8. The Physics and chemistry of color, 2nd edi. Kurt Nassau, John Wiley & Sons, Inc. 2001, p3.



金 燦 旭

- 1993년 동경대학 공학박사
- 현재 포항산업과학연구원 책임연구원

金 侖 久

- 1992년 University of Utah, 공학박사
- 현재 POSCO 기술연구소 책임연구원