
브레이크패드 검사 시스템 구축에 관한 연구

김태은*

A study on inspection system for brake pad

Tae-Eun Kim*

요약

본 연구는 자동차 브레이크 패드 생산 공정에서 컨베이어벨트 실러가는 차종별 패드의 유형을 자동 판별하고 표면의 균열을 검사하는 시스템을 개발한다. 브레이크 패드는 여러 혼합제로 고열, 고압 성형하여 만든다. 패드생성과정에서 패드 표면의 균열 및 손상이 발생한다. 본 연구에서는 불량품을 검출하는데 적합한 시스템 구축하고 응용소프트웨어 개발을 한다. 패드 표면의 균열이나 손상 부위는 인공조명을 비출 때 그림자를 생성하게 되며 이를 컴퓨터 비전 기술을 활용하여 검출한다.

ABSTRACT

In this paper, we propose to develop an inspection system that recognizes surface cracks on the brake pad and the types of brake pads of each car during the production process, on a conveyor belt. The brake pad is made from a mixture of materials, using high-heat and pressure. Therefore, the brake pad can be cracked and damaged on the surface during production.

Our goal is to develop an effective detection system and application software to detect substandard product. A shadow is generated when the artificial light shines on the damaged of the surface of pad. Using the computer vision algorithm that is proposed we can detect the substandard product. Results from experiments confirm the performance of the proposed algorithm.

키워드

brakepad, inspection, computer vision
브레이크패드, 검사, 컴퓨터 비전

1. 서론

우리나라는 이미 자동차 1900만대 시대를 맞이하였고, 매년 약 600만대의 자동차를 생산하는 세계적인 자동차 산업국가로 자리 잡았다. 그러나 아직 국내의 중소 부품 업체의 공정 관리 능력이 열악하고, 그로 인해 발생하는 불량품 생산은 전체적인 완성차의 질을 저하시키는 요인으로 작용하고 있다. 패드의 생산 공정 중에서 최종 검사 과정은 전적으로 작업자의 육

안 검사에 의존하고 있고, 작업자가 장시간동안 주의를 집중하기 어려워 적지 않은 불량품이 생산되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 기존의 부정확하고 비효율적인 작업자의 육안 검사에 의존하던 브레이크 패드의 표면 불량 검사를 기계적으로 정량화하여 검출하는 방법을 제안하며, 이를 통해 보다 신뢰성 있는 제품 생산을 가능하게 한다. 제안하는 알고리즘을 통해 개발되는 시스템은 자동차 브레이크 패드(라이닝)의 표면 균열을 중심으로 한 다양한 불량을 컴퓨터 비전

* 남서울대학교 멀티미디어학과(tekim5@empas.com)

접수일자 : 2013. 01. 21

심사(수정)일자 : 2013. 02. 20

게재확정일자 : 2013. 03. 22

(Computer Vision) 기술[1][2][3][4]을 이용하여 자동으로 검출하고 측정할 수 있다. 이를 통해 패드 표면 손상부분을 자동 검출하여 균열의 유형을 분류하고 측정할 수 있으며, 검출된 균열 부분들의 통계적 분포와 밀도를 기준으로 성형의 성공여부를 판별할 수 있다.

II. 연구 배경

자동차 브레이크 패드는 그림 1에서처럼 차량의 종류에 따라 형태가 다르다. 이를 이용하여 보다 원활한 균열의 검출과 분석을 위해서 차종별 패드의 유형을 패드 형상의 외곽선 정보로부터 자동 추출할 수 있다.

제안되는 방법은 컨베이어 벨트에 실려 가는 패드의 2D 형상을 분석하여 패드의 유형을 판별한다. 패드 유형 정보 자동 추출기는 패드 영상을 실시간 영상 분할 알고리즘의 개발에 의해 분할된 후에 특징값을 추출하고, 학습에서 얻어진 모델 정보와 정합하여 패드 유형을 결정한다[5].

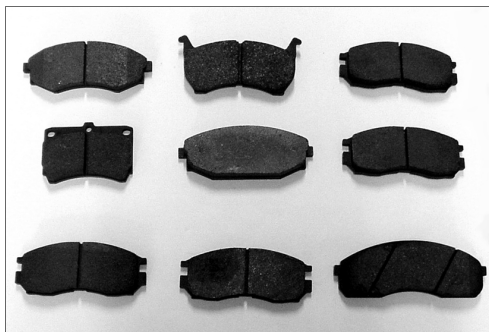


그림 1. 자동차 브레이크 패드의 예
Fig. 1 Example of brake pad

이러한 패드 유형 정보는 재공품의 실시간 집계를 가능하게 함으로써 영업, 자재, 재고 등의 경영관리의 기본 자료로 활용될 수 있도록 한다. 제안하는 방법은 브레이크 패드 혼합체의 고열, 고압 성형과정에서 발생하는 패드 표면의 균열 및 손상 여부를 자동 검출할 수 있다. 이 과정에서 패드 모델별로 규정된 표면의 특징을 사용하여 정상 패드 모델의 특성과 일치하지 않는 패드를 자동으로 선별한다. 패드 표면의 균열이나 손상 부위는 인공조명을 비출 때 그림자를 생성하

게 되며 이를 컴퓨터 비전 기술을 활용하여 검출한다.

패드 분석을 위해 고해상도 CCD 카메라, 분석용 컴퓨터, 벨트 이동을 제어하는 광센싱장치, 조명 등을 설계하고 제작할 필요가 있다. 제안된 방법은 컨베이어 벨트상에 설치되어 사용된다. 보다 정확한 영상을 얻기 위하여 CCD 카메라와 조명으로 이루어진 암실을 통과시키고 이때 패드영상이 얻어지고 분석된다.

결과적으로 제안하는 방법은 패드표면의 균열 부분을 자동 검출하여 유형을 분류하고 측정한다[6].

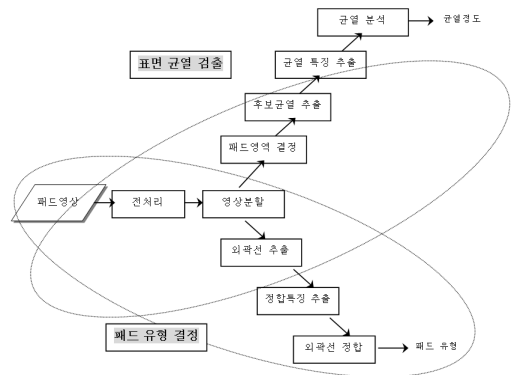


그림 2. 제안하는 방법의 전체 구성도
Fig. 2 Flowchart of proposed method

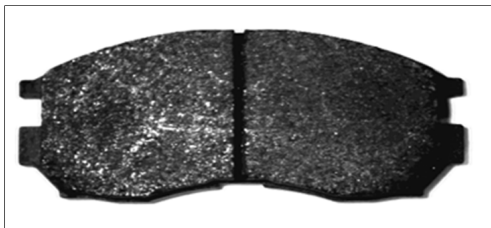
III. 제안하는 방법

본 논문에서 제안하는 방법의 시각검사에 의한 패드 균열 검출 시스템은 표면 균열 검출 부분과 패드 유형 결정의 부분으로 나눌 수 있다. 제안하는 방법의 전체적인 구성은 그림 2와 같다.

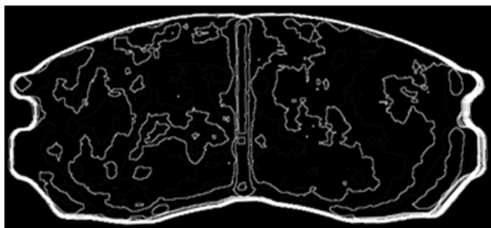
3.1 패드 영상 분할[7-8]

제안되는 방법은 입력된 패드영상이 입력되면 시스템의 성능에 악영향을 줄 수 있는 영상의 잡음을 제거(noise reduction)과정과 색상을 보정(color correction)의 과정을 포함하는 영상 전처리 과정을 수행한다. 전처리 과정은 노면 영상을 분석하기 쉬운 형태로 변환하는 일련의 처리 과정이다. 그리고 영상내의 특징부를 부각시키기 위한 분할(segmentation)과정을 수행한다. 영상분할은 영상내의 물체들의 경계선을 추출하기 위한 에지 연산(edge operator)을 이용한 경계

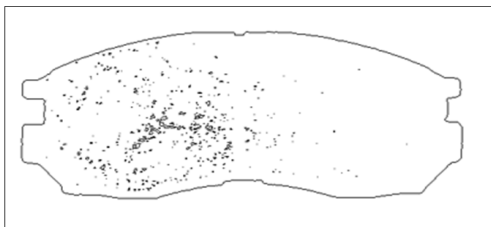
선 중심의 영역 분할과 영역을 기준으로 분할하는 방법으로 나눌 수 있다. 이 두 경우에 의한 패드 영상의 영역 분할의 예는 그림 3과 같다. 이 두가지 방법을 실험한 결과 패드 균열의 특성상 경계선을 중심으로 하는 경우가 보다 효과적인 것으로 나타났다. 영상의 경계선 추출은 영상의 명암과 명암 변화에 대한 국부적인 불연속을 추출 하는 것인데, 이 연산을 적용하면 화소 분포의 불연속의 정도와 방향을 얻을 수 있다.



(a) 입력 패드 영상



(b) 영역확장에 의한 패드 영상 분할

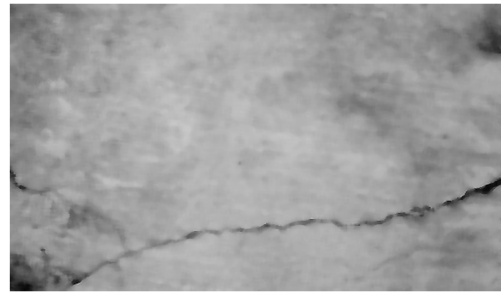


(c) 경계선(edge)에 의한 패드 영상 분할

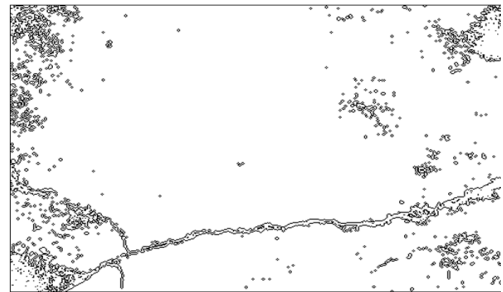
그림 3. 패드영상의 분할 방법

Fig. 3 The segmentation methods of brake pad image

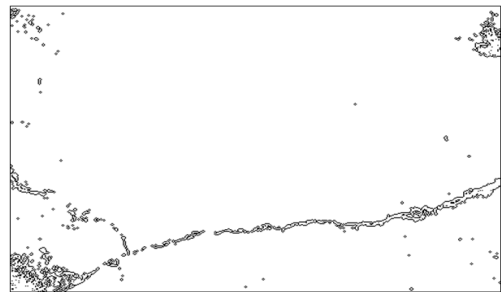
패드 표면의 균열부를 중심으로 분할 한 후, 얻어진 경계선을 간략화 하여 처리하면 그림 4와 같이 된다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 패드 표면의 균열은 경계선들로 표현 될 수 있다.



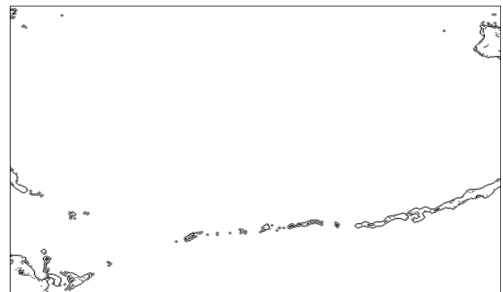
(a) 패드표면 원시영상



(b) 경계선 영상



(c) 경계선 간략화



(d) 잡음 제거 영상

그림 4. 패드표면의 전처리

Fig. 4 The pre-processing of pad surface

그림 4는 패드의 표면에 전처리 과정을 수행한 결과이다.

3.2 패드의 유형 분류

패드의 유형 분류를 위해서는 패드 영상의 외곽선 정보가 중요하게 사용된다. 2D 영상의 형태 분석을 위해서는 영상 분할이 영역중심 혹은 경계선(edge)중심 인가에 따라 적용되는 방법이 달라질 수 있다. 경계선(edge)중심의 경우는 영상의 특징이 되는 굴곡점(corner)검출에 의한 방법과 Piecewise Approximation을 이용한 방법이 알려져 있다. 굴곡점의 검출은 경계선을 일정한 간격으로 탐색하며 Chain Code를 만들고 생성된 Chain Code의 방향값을 비교하며 경계선을 재코딩하는 방법이다. 즉, 그림 5에서 나타내는 것과 같이 경계선의 굴곡의 변화를 구하고 굴곡변화의 Maxima 혹은 Minima 부분을 발견함으로써 굴곡을 계산하는 방법이다.

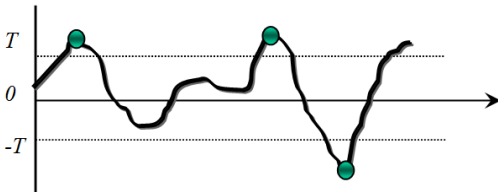


그림 5. 경계선 탐색에 의한 굴곡점
Fig. 5 The corner by edge detection

3.3 패드의 표면 균열[9-12]

패드 표면 균열은 패드 영상의 분할 후에 후보 균열 영역의 검출과 균열 특징의 추출 과정으로 분석된다. 균열영역의 검출부에서는 경계선 영상에서 패드의 외곽선을 제거하고, 외곽선 내부의 경계선들을 후보 균열로 예비 판정하는 기능을 갖으며, 균열특징 추출부에서는 후보 균열 경계선들 사이의 2차원 평면상의 거리와 방향등을 추출하여 최종 균열 판정의 특징으로 삼는다. 이를 위하여 Quad-Tree와 Hough 변환을 사용한다.

Quad-Tree는 정방형의 영상을 계층적으로 구조화하여 표현하는 일반적인 방법이다. Quad-Tree 영상 트리의 생성에는 주로 Split-and-Merge 그림 6의 알고리즘이 이용된다.

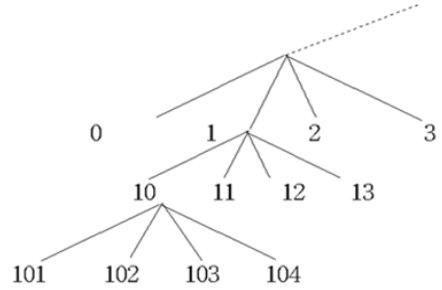


그림 6. 4진 트리의 인덱스 구조
Fig. 6 Index structure of quaternary tree

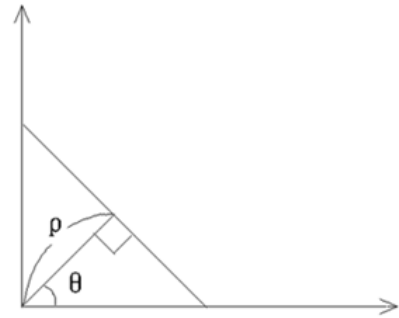


그림 7. Hough 변환의 파라미터
Fig. 7 Parameter of Hough transform

Hough 변환은 영상 내의 물체의 윤곽을 검출하기 위하여 직선이나 곡선성분을 발견하는 방법이다. 여기서는 노면 균열부의 직선 성분 검출을 목적으로 사용한다. 등간격의 배열 hough 파라미터를 정의하고, 영상 내의 화소들이 직선을 만들 때 가질 수 있는 파라미터 값을 그림 7과 같이 계산하여 hough 배열의 해당 칸에 빈도수를 저장한다. 완성된 hough 배열에 저장된 값들을 검색하여, 최대치를 발견하고 그에 해당하는 파라미터를 결정할 수 있다.

3.4 패드 분석 정보의 학습

패드 분석은 CCD 카메라에 입력된 패드의 시각정보를 분석하므로, 분석기가 놓여지는 환경의 조명의 조건 등에 영향을 받을 수 있으며, 이에 따른 특징값(feature)의 변화를 초래하여 결과에 영향을 미친다. 그러므로 분석 환경의 변화를 있을 때에는 이를 조정해 주어야 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있다.



그림 8. 패드 분석 정보 학습용 화면
Fig. 8 Learning screen of pad analysis information

그림 8은 패드 분석 정보의 학습 화면이다.

IV. 시제품 제작 및 적용

패드 분석을 위한 하드웨어로는 고해상도 CCD카메라, 분석용 컴퓨터, 벨트 이동을 제어하는 광센싱 조명장치[13]등을 설계하고 제작하였다. 브레이크 패드는 컨베이어 벨트에 실려 CCD카메라 센서의 sensing 영역으로 3초에 1개꼴로 옮겨진다. 본 논문에서 제안된 불량 패드 검출 장치는 컨베이어 벨트 상에서 설치되며, 보다 정확한 영상을 얻기 위하여 CCD카메라와 조명으로 이루어진 암실을 통과시킨다. 이때 패드 영상이 얻어지고 분석된다. 또한, 컨베이어 벨트 시스템을 제어하기 위한 컨트롤러를 제작하며, 컨트롤러와 CCD카

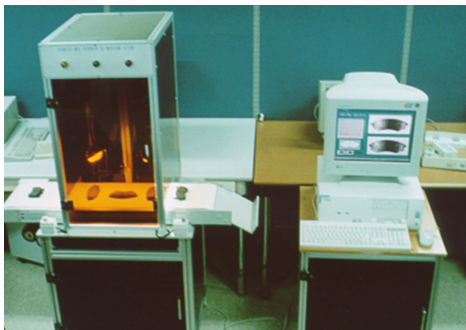


그림 9. 컨베이어 벨트 컨트롤러와 제안된 알고리즘을 탑재한 컴퓨터

Fig. 9 The conveyor belt controller and the computer

for proposed algorithm

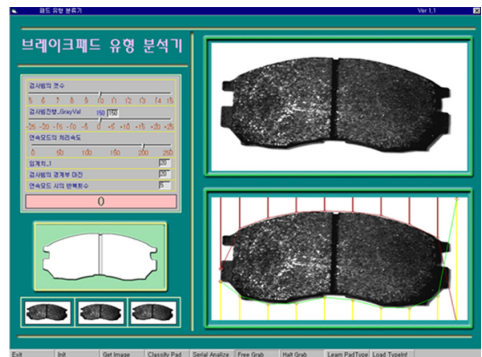


그림 10. 분석 소프트웨어의 사용자 화면
Fig. 10. The user-interface of the recognition software.

메라를 동기화하기 위한 컴퓨터 인터페이스 프로그램을 개발한다. 그림 9는 시제품으로 제작된 컨베이어 벨트 컨트롤러와 영상분석을 위한 알고리즘을 탑재한 컴퓨터를 보여주며, 그림 10은 제안된 방법의 사용자 화면을 보여준다.

V. 결론

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 자동차의 중요 부품으로 사용되는 브레이크 패드 생산공정의 자동화를 위한 것으로서 패드의 유형 분류와 패드 표면의 균열 불량을 자동으로 검출하는 것이다. 자동차 부품 중에서 브레이크 패드의 경우는 다양한 마찰 화합물을 혼합하고 고압 성형하는 복잡한 과정을 거치기 때문에 공정에 따른 패드의 불량률이 적지 않은 품목이다. 제안하는 방법은 컨베이어벨트 위에 실려오는 패드를 실시간으로 분류하고 검사할 수 있도록 개발하였다. 자동차 산업에서 제안하는 방법을 적용하면 실시간 안에 패드 제공품의 집계를 가능하게 하고, 작업자의 육안 검사에 머물러 있는 표면 불량 검사를 자동화 할 수 있어 생산성과 품질 향상에 크게 기여하리라 기대한다.

감사의 글

본 논문은 2012년도 남서울대학교 학술연구비지원으로 수행되었음.

참고 문헌

저자 소개

[1] R. Schalkoff, Pattern Recognition (Statistical, Structural, and Neural Approaches), John Wiley & Sons, NewYork, 1992.

[2] T. E. Korchi, M. A. Gennert, and M. O. Ward, and Norman Wittels, "Lighting Design for Automated Pavement Surface," Transportation Research Record, Transportation Research Board(National Research Council), No.1311, pp. 144-157, 1991.

[3] 김동욱, 강정혁, "하프변환을 이용한 항공영상의 전력선검출", 한국전자통신학회논문지, 5권, 2호, pp. 171-179, 2010.

[4] 조재현, 양황규, "컬러정보 및 형태학적 특징과 신경망을 이용한 차량 번호판인식", 한국전자통신학회논문지, 5권, 3호, pp. 304-308, 2010.

[5] F. Nouboud and R. Plamondon, "A Atructural Approach to On-Line Character Recognition : System Design and Applications," in Character & Handwriting Recognition(editor : P. S. P. Wang), World Scientific, pp. 331-335, 1991.

[6] R. S. Brid, "Two Dimensional Pattern Matching," Information Processing Letters, Vol. 6, No. 5, Oct., pp.168-170, 1977.

[7] C. Arcelli, L. Cordella, and S. Levialdi, "Parallel Thinning of Binary Pictures," Electronics Letters, Vol. 11, No. 7, 1975.

[8] 조재현, "자동차번호판 이진화를 위한 개선된 퍼지 이진화 방법", 한국전자통신학회논문지, 6권, 2호, pp. 231-236, 2011.

[9] W. I. Grotzky and R. Jain, "Optimal Quadtrees for Image Segments," IEEE Trans. PAMI, Vol. 5, pp. 77-83. 1983.

[10] H. Samet, "The Quadtree and Related Hierarchical data structures," ACM Computing Surveys, Vol. 16, pp. 187-260, 1984.

[11] 황익순, "시스템의 확률값 시험을 위한 신뢰구간 비교분석", 한국전자통신학회논문지, 5권, 5호, pp. 435-443, 2010.

[12] 최연숙, 조성진, 권숙희, "확장된 비선형 이진수열의 상호상관관계 분석", 한국전자통신학회논문지, 7권, 2호, pp. 263-269, 2012.

[13] W. L. Gramling, J. E. Hunt, and G. S. Suzuki, "Integration of Diverse Technologies for Pavement Sensing," Transportation Research Record, Transportation Research Board(National Research Council), No. 1311, 1991, pp. 92-102.



김태은(Tae-Eun Kim)

1989년 중앙대학교 전기공학과 졸업 (공학사)

1992년 중앙대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)

1997년 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학박사)

1995년 삼성전자 휴먼테크논문 대상은상수상

1997년 영상처리관련 3건의 특허취득확정

1993~1996년 한국재단참여연구원

1997~현재 남서울대학교 멀티미디어학과 교수

※ 관심분야 : 멀티미디어시스템, 영상인식, 증강현실, 웹 3D처리기술