

전하결합소자(CCD : Charge-Coupled Device) 카메라를 이용한 판타그래프 스펀마모 자동측정 및 관리방안 연구

(A Study on Pantograph Sliding Plate Abrasion Measurement and
Management using CCD(Charge-Coupled Device) Camera)

* 이성권 ** 이대원 *** 안천현 ****오상윤 ***** 김성민
* Lee Seong Gwon, ** Lee Dae Won, *** An Cheon Heon, **** Oh Sang Yoon ***** Kim Seong Min

ABSTRACT

The Advanced countries including Japan, USA and European countries are adopting automatic system(e.g., auto-measurement using CCD camera) for measuring pantograph sliding plate and wheel abrasion to minimize manpower for E.M.U(Electric Multiple Unit) inspection and maintenance as part of management rationalization of railroad Corporation since late 1980's. In Korea, as part of scheme of business rationalization, automatic system for measuring pantograph sliding plate and wheel abrasion started to draw industry attention since late 1990s, and the system started to be installed in newly built depots of Korea Railroad Corporation since 2002.

This study hopefully provides the base for realizing business rationalization and applying the advanced technology developed by Korea, the country of powerful IT basis, to overseas railroad organizations by examining automatic system for measuring pantograph sliding plate abrasion using existing CCD cameras produced domestically and in foreign countries to study cases(organizations in Korea) for improvement of measurement, management and inspection of pantograph sliding plate abrasion using CCD cameras with new cutting-edge technology; and by applying the study result to railroad organizations in metropolitan areas in Korea.

개 요

선진국인 일본과 미국, 유럽 등에서는 철도운영기관에서 경영합리화 방안으로 철도차량 검수인원 최소화를 위한 판타그래프 스펀마모 및 차륜마모 상태 자동측정 시스템(예를 들면, CCD 카메라에 의한 자동측정 등)을 '80년대 후반부터 도입하고 있는 실정이다. 국내에서는 '90년대 후반부터 도시철도 운영기관에서 경영합리화 방안의 일환으로 판타그래프 스펀 및 차륜 마모 자동측정 시스템 적용에 대해 관심을 갖기 시작하였다.

이후 2002년도부터 한국철도공사의 신설 차량기지에 설치하기 시작하였다. 기 적용된 외국 및 국내의 CCD 카메라에 의한 판타그래프 스펀마모상태 자동측정 시스템을 분석하여 IT 강국으로써의 새로운 첨단기술 방식을 적용한 CCD 카메라에 의한 판타그래프 스펀마모 측정방법 및 관리방안이나 국내실정에 맞지 않는 검사관리 항목 등을 개선 적용한 사례(국내 운영기관)들을 연구, 국내 도시철도 운영기관에 적용토록 함으로써 경영합리화 실현 및 국내의 IT 선진기술을 해외철도 운영기관에 적용할 수 있는 단초를 제공하고자 한다.

keyword : CCD 카메라, 비전 기법, 판타그래프 스펀마모 자동측정

- * 책임저자 소속 : 이성권, 학생회원, 서울메트로 차장(서울산업대학교 철도전문대학원), 차량본부 정비팀(철도차량시스템공과)
E-mail : lsk21c@empal.com, TEL : (02)520-5630 FAX : (02)520-5619 mobile phone : 011-9181-4225
- ** 저자2의 소속 : 이대원, 정회원, 서울메트로 과장, 창동차량사무소 검수팀 E-mail : subldw@yahoo.co.kr, TEL : (02)934-3651
FAX : (02)939-4847, mobile phone : 019-307-1952
- *** 저자3의 소속 : 안천현, 정회원, 서울메트로 소장, 창동차량사무소 E-mail : Ancheon@nate.com, TEL : (02) 937-3621 FAX :
939-3621, mobile phone : 011-9963-5177
- **** 저자4의 소속 : 오상윤 에코마스터(주) 대표이사, E-mail : sy0h@ecomaister.com , TEL : 032-576-0501 FAX :
032-575-4762 mobile phone : 011-278-4115
- ***** 저자5의 소속 : 김성민 에코마스터(주) 연구개발팀 E-mail : 3456@korea.com , TEL : 032-576-0501, FAX :
032-575-4762, mobile phone : 019-515-3638

1. 서론

국내에서 사회간접 자본의 근간인 철도분야는 고비용 저효율의 대표적 산업분야로 지목되면서 무한 경쟁이 확대되는 국제 경제 환경에서 국내산업의 경쟁력 확보를 위해 시급히 경영개선이 되어야 한다는 지적이 있는 지 오래이다. 그럼에도 국내 철도 및 도시철도 운영기관은 90년대 후반의 IMF 이전까지는 경영개선을 위한 자구노력 미흡으로 감사원 등 외부기관의 강도 높은 경영개선요구에 직면하게 되자 IMF 이후부터 외국 철도운영기관에서 경영개선의 일환으로 차량분야의 검수인원 최소화를 위한 신장비의 도입 등 경영개선 사례를 벤치마킹하여 최신기술의 신 장비인 차량 자동검사장치 및 일상검사장치 등을 도입하여 경영합리화에 박차를 가하기 시작하였다. 이에 신 장비 도입이 확대되기 시작하자 국내 관련업체에서는 해외 기술의 습득을 도모하면서 독자적인 기술개발에 착수하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 외국에서 기 적용된 차량분야 검수용 신 장비 중 CCD 카메라를 이용한 판타그래프 습판마모상태 영상측정·처리방법과 관리 및 운영방안을 국내실정에 적합하게 개발한 시스템에 대한 기본적인 적용기술 내용을 언급하여 철도 및 도시철도 운영기관에서 경영개선의 일환으로 검수·정비 인력의 최소화를 위한 신 장비의 도입 또는 신설되는 차량기지에 신 장비인 판타그래프 습판마모상태 자동측정 장치 도입시 이를 접목할 수 있는 토대 제공 및 국내의 선진 IT 기술을 해외철도 운영기관에 적용할 수 있는 기회를 제공코자 하였다.

2. CCD 카메라에 의한 판타그래프 습판마모 상태 자동측정방식 소개

전동차는 판타그래프로 전기를 집전함에 있어 판타그래프의 구조와 특징, 습판재질의 특성 및 형상에 의한 피로, 전차선과의 마찰, 이선에 의한 아크 등 습판체를 마모시키는 메카니즘은 다양하다. 그럼에도 기지입고 후 전차선을 단전시켜 검수원에 의한 습판마모상태를 주기적으로 육안 점검하여야 하므로 이를 개선코자 운행중인 차량의 습판마모 상태를 자동 측정하여, 습판마모 진행상태를 마모한도까지 예측할 수 있게 됨으로써 운전장에 예방 및 검수 정비의 효율을 향상시킬 수 있게 되었다.

2.1 CCD 카메라에 의한 습판마모상태 자동 측정방식

표 1. 국내·외 설치사례

국 내	국 외
운영기관 : 서울메트로 - 설치개소 : 창동차량 기지 - 제작사 : (주)에코마이스터	운영기관 : 긴끼철도(일본) - 설치개소 : Hashimoto Depot - 제작사 : 긴끼(주)
운영기관 : 한국철도공사 - 설치개소 : 병점차량기지, 용유차량기지 - 제작사 : 샬롬엔지니어링(주)	운영기관 : Chicago METRA(미국) - 설치개소 : Chicago METRA - 제작사 : D.Technologies
	운영기관 : Kowloon Canton Railway Corporation(홍콩) - 설치개소 : Tai Wai Depot - 제작사 : K.C.R.C

2.2 기타 초음파에 의한 습판마모상태 자동 측정방식

초음파를 이용하여 주행중인 전동차의 습판체에 초음파를 주사하여 반사된 파장과의 파장의 길이 차이를 환산하여 습판마모상태를 계측하는 시스템인 초음파 습판마모 측정방식^[4]도 있다.

3. CCD 카메라를 이용한 비전(Vision) 측정의 이론과 알고리즘

3.1 CCD 카메라의 소개

일반적인 필름 카메라는 셀룰로이드에 에멀전이라는 감광물질을 칠한 필름을 장착해 사진을 찍으며 필름은 빛을 받으면 화학적 반응을 한다. 그러나 반도체 칩의 일종인 CCD(Charge Coupled Device = 전하결합소자)는 빛을 받으면 반응하고 빛의 양에 비례하는 전하를 띠게 되며, 그 전하량에 따라 영상을 재현할 수 있고 CCD 칩을 이용해 만든 카메라를 흔히 디지털 카메라 혹은 CCD 카메라라고 부른다.

3.2 CCD 카메라 구조, 작동원리 및 종류

CCD카메라는 중앙부위에 CCD 칩이 들어 있으며 이 칩은 픽셀이라 부르는 작은 감광 반도체들로 구성된다. 각 반도체는 입력된 빛의 양에 비례해 전하를 발생시킨다. 따라서 CCD 카메라는 입력된 빛의 양에 따라 발생된 전하량의 전류변화를 아날로그 또는 디지털의 주사방식과 전송방식(Interlace와 Non-Interlace)으로 구분하며 아날로그 카메라는 BNC Type의 동축케이블로 이뤄지고 주로 흑백(모노크롬) 비디오의 표준인 RS-170 신호를 사용한다.

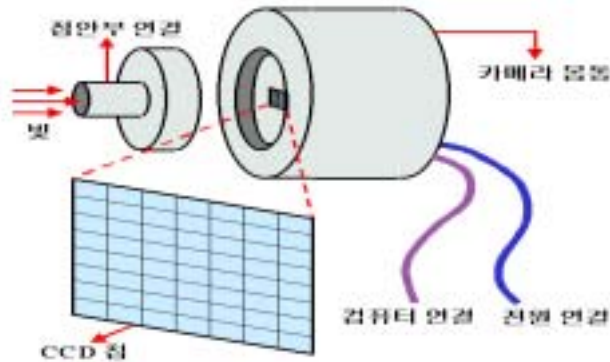


그림 1. CCD 카메라의 구조

디지털 카메라는 고해상도로서 Area Scan(한번 촬영 시 한 화면촬영) 방식과 Line Scan(다수의 라인을 합쳐 하나의 화면을 만듦) 방식으로 나눌 수 있으며 이러한 방식에 따라 주로 Camera Link 타입으로 연결되며, 거리에 따라 광케이블을 이용해 사용하기도 한다.

전송방식은 하나의 Frame을 2개의 Field로 나누어 주사하는 Interlace 방식이 있는데 주로 정지 및 저속 물체를 촬영하지만 고속으로 움직이는 물체의 촬영 시 화상이 깨진다는 취약점이 있다. 또 하나는 Progressive 방식으로서 하나의 Frame을 한 번에 받는 방식이다. 단, Interlace방식보다 고가의 제품이다. CCD 카메라의 전단부에는 렌즈를 부착하는 C-Mount, CS-Mount, F-Mount 형식의 나사산이 이뤄져 있어 각종 렌즈를 부착하도록 되어 있으며, CCD 카메라 사용 시 별도의 조명이 사용되어 촬영 시 영상의 선명도를 높이는데 사용되며, 주로 일반조명, LED, 스트로보 등이 사용된다.

3.3 영상측정(Vision) 알고리즘에 관한 이론

영상측정이라 함은 영상처리(Image Processing)를 이용하여 사물을 구분하는 것을 말한다. 좀 더 쉽게 표현하자면 현재 눈으로 보고 있는 것이 무엇인지 혹은 정상인지 불량인지를 Camera 및 컴퓨터를 이용하여 판단^[1]하는 것이다. 영상측정 알고리즘은 측정대상 물체를 CCD 카메라로 촬영하여 촬영된 물체의 이미지를 영상데이터로 추출하는 방법으로써, 영상데이터 영역을 검출하는 영역검출, 영상데이터를 소정의 색좌표로 변환하는 색좌표 변환부, 영상을 확산하여 필터링하는 확산필터링법, 카메라의 촬영각도에 따라 영상데이터를 기준좌표에 비교하기 위한 각도변환법, 영상데이터만 남기기 위해 에로드 필터링법 등 CCD 카메라로 촬영한 영상물체를 영상데이터로 복원하기 위해 위와 같은 여러 가지 알고리즘을 사용한다.^[2]

3.4 영상측정(Vision)을 위한 적용 알고리즘

본 비전시스템(Vision System)의 영상처리 부분을 위와 같은 방법의 알고리즘으로 분류하면 포인트 처리, 영역처리, 기하학적 처리, 프레임 처리 등 4가지 알고리즘을 이용하여 영상데이터를 처리한다. 위의 알고리즘을 다시 설명하면 포인트 처리는 영상물체를 검출하기 위해 화소의 원래 값이나 위치에 기반한 화소 값을 각각의 위치좌표 데이터로 변경한다.

영역처리는 화소의 원래 값과 이웃하는 화소의 값을 기반으로 하여 영상물체에 관한 기준 화소값과 촬영된 영상데이터의 위치를 변경된 최소의 영상데이터 영역으로 변경한다.

기하학적 처리는 화소들의 위치나 배열을 변화시킨다. 프레임 처리는 두개 이상의 영상들에 대한 연산을 기반으로 하여 화소값 들을 생성한다. 이미지 프로세싱은 아래와 같이 통상적으로 진행된다.

- ① 영상의 입력부 : 조명, 렌즈, CCD Camera를 통하여 검사 및 측정을 원하는 영상을 취득
- ② 영상 전처리를 실행 : 영상처리 전에 양호한 이미지를 위하여 노이즈 제거 및 밝기 조절
- ③ 영상분할 (Segmentation) : Threshold, Edge Based Segmentation, 각종 Filter 작업 수행
- ④ 특징추출(Feature Extraction) : Connectivity analysis(blob 등)
- ⑤ 물체인식 및 분류

상기의 흐름에서 사용되는 여러 가지 기법 중 비전기법으로 구분하자면, 취득한 영상을 의미 있는 부영상으로 분할하고 데이터를 취득에 목적이 있는 영상분할(Segmentation)^[5]과 물체의 패턴을 비교, 인식하는 패턴매칭(Pattern Finding Method)기법^[1]으로 나눌 수 있으며, 그 기법들은 아래와 같다.

① Threshold - Histogram 분포를 통한 임계치 설정과 물체와 배경을 분리하는 기법으로써 CCD 카메라로 찍은 이미지를 전처리 과정^[1]을 통하여 노이즈 제거 및 gray scale로 변환 후 그 image의 Histogram을 분석^[1]한다. Histogram에서 배경과 물체를 분리할 수 있는 threshold값을 추출 사용하여 Binary 영상으로 변경한다. 이런 처리를 거친 image에서 물체 영역을 찾아 gray image에서 물체를 분리하며 기타 여백을 처리하기 위해 마지막 gray image histogram을 다시 분석하여, 정확한 위치 영역을 추출하고, 마지막으로 image의 크기 normalize된 영상을 취득하는 기법을 말한다.

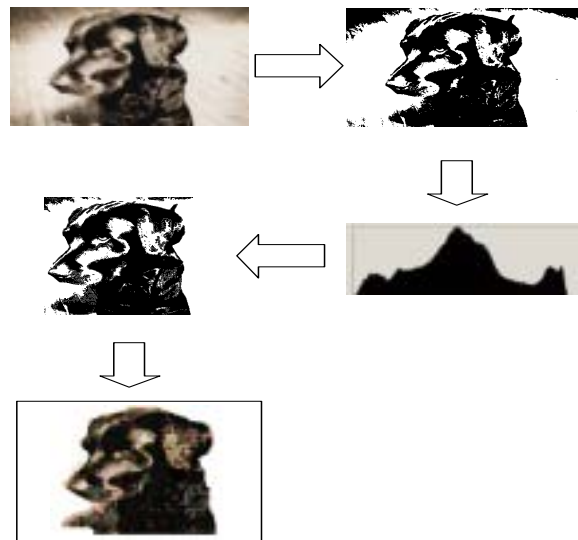


그림2. Threshold을 이용한 물체 분리

Threshold을 구현하기 위해 $f(x,y)$ 라는 임의의 좌표값을 기준값 T 를 식(3-1)과 같이 비교하여 $g(x,y)$ 를 결정한다.

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x,y) > T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{--- 식(3-1)}$$

gray scale로 변경한 이미지의 Histogram에서 보이는 기준값 T 를 이용하여 임의의 $f(x,y)$ 의 명암이 기준값과 비교하여 부호화하여 영역을 설정하는 목적이다.

② Edge-based segmentation - 계조도 변화가 급격한 부분의 데이터 취득하는 기법으로서, 신뢰성있는 에지추출을 위하여 다음과 같은 정의가 필요하다.

- 정확한 위치 : 에지는 공간적으로 특성불일치가 최대가 된 위치에 놓여졌을 때 가장 정확하다.
- 연속성 : 자연현상에서 나타나는 에지는 물리적 경계를 갖는 특성을 가져야 한다.
- 두께 : 특성불일치 영역을 가진 경계이므로 이상적인 가는 선으로 이뤄지는 것이 바람직하다.
- 길이 : 노이즈와 구분되는 길이를 갖는 에지를 이상적으로 본다.

에지 추출에 있어서 상기와 같은 조건들이 모두 부합되는 경우는 매우 드물다. 따라서 구조적 특성과 연관하여 진행하여야만 가능한 것이다.

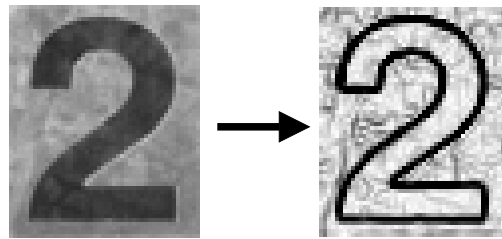


그림3. 에지 추출

에지검출의 알고리즘에는 기울기 연산자(Gradient operators), 라플라시안 연산자(Laplacian operators), 가우시안-라플라시안 연산자(Laplacian of Gaussian ; LoG) 등이 있으며, 주로 많이 사용되는 기울기 연산자(Gradient operators)에는 Roberts 연산자, Prewitt 연산자, Sobel연산자가 있다.

Roberts 연산자는 다른 마스크보다 크기는 작지만 효과적으로 사용할 수 있다. 이 연산자는 잡음에 매우 민감하다.

Prewitt 연산자는 대각 방향의 윤곽보다는 수평, 수직 윤곽에 더 민감하며 Sobel 연산자는 수평과 수직 윤곽보다는 대각선 방향에 놓여진 윤곽에 더 민감하다.

연산자 명	Gx	Gy
Roberts	0 0 0	0 0 0
	0 1 -1	0 1 0
	0 0 -1	0 -1 0
Prewitt	-1 0 1	1 1 1
	-1 0 1	0 0 0
	-1 0 1	-1 -1 -1
Sobel	-1 0 1	1 2 1
	-2 0 2	0 0 0
	-1 0 1	-1 -2 -1

표 2. 기울기 계산에 이용하는 미분 연산자

③ Region-based segmentation - 영상 균일성을 조사 후 영역의 분할/통합하는 기법이 있으므로, 분할의 목적은 영상을 영역(region)으로 나누는데 목적이 있다. R이 영상의 전체 영역이라고 할 때, R을 n개의 하위영역 R1, R2, R3,...Rn으로 구성되어 있다면, 아래와 같은 조건식이 이뤄진다.

$$\begin{aligned}
 & \text{(a)} \quad \bigcup_{i=1}^n R_i = R, \\
 & \text{(b)} \quad R_i \text{ is a connected region, } i = 1, 2, \dots, n, \\
 & \text{(c)} \quad R_i \cap R_j = \phi \text{ for all } i \text{ and } j, i \neq j, \\
 & \text{(d)} \quad P(R_i) = \text{TRUE for } i = 1, 2, \dots, n, \text{ and} \\
 & \text{(e)} \quad P(R_i \cup R_j) = \text{FALSE for } i \neq j,
 \end{aligned}
 \tag{3-2}$$

식(3-2)를 풀이 한다면,

(a) 분할이 완전하게 일어남을 표시, 즉 모든 화소는 한 영역 안에 있어야 한다.

(b) 영역 내의 점들은 연결되어 있어야 한다.(4-이웃화소, 8-이웃화소)

(c) 영역들은 분리되어 겹쳐 있지 않아야 한다.

(d) 분할된 영역 내의 화소가 꼭 만족해야 하는 성질을 나타낸다. (예를 들어, Ri 내의 모든 화소들이 같은 명암도를 가진다면 P(Ri) = TRUE)

(e) 서술자 P의 관점에서 영역 Ri와 Rj는 다르다.

이러한 기본적인 조건에 의해 파생된 방식은 2가지가 있는데, [그림 4] 와 같이 씨앗점(seed)들의 집합 으로부터 시작하여 각 씨앗점에 이와 비슷한 성질들(명암도, 질감, 칼라 등)을 가진 이웃 화소들을 덧붙 여 영역을 확장시키는 방법^[2]인 화소집성(Pixel Aggregation) 방식과 [그림 5]와 같이 영상을 초기에 임 의로 겹치지 않는 영역으로 분리하고, 앞의 기본 조건을 만족시키도록 그 영역들을 병합 또는 분리시키 는 영역분리 및 영역병합 (Region Splitting and Merging) 방식이 사용된다.

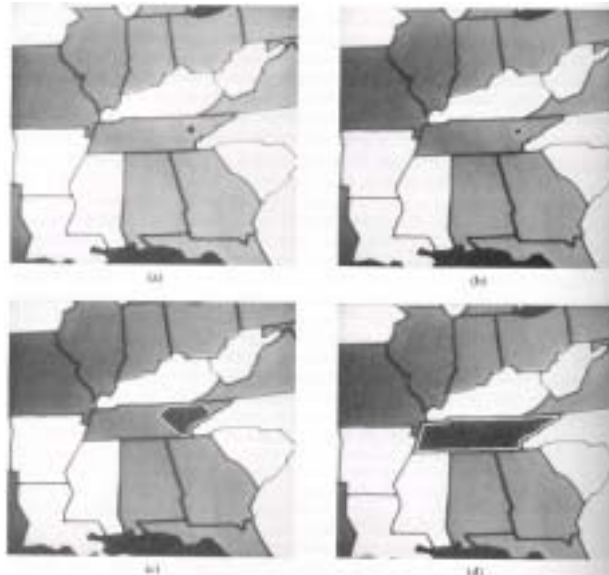


그림 4. 화소집성(Pixel Aggregation) 방식

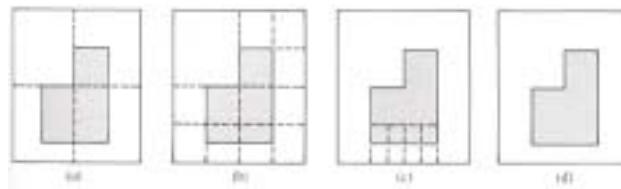


그림 5. 영역 분리 및 영역 병합 방식

④ Pattern Finding Method - 패턴매칭 기법에는 입력된 영상을 가지고 미리 기억하고 있는 패턴과 비 교하여 근접한 패턴을 찾아내는 Pattern Finding 단계가 있으며, 그 기법은 이미지와 등록된 패턴의 유 사도를 구하고, 입력된 패턴에 따라 잡음 제거, 확대, 축소, 회전 등을 하여 패턴을 정규화하는 Pattern Matching기법^[1]이 있다.

먼저 Pattern Finding 단계는 [그림 6]와 같이 카메라로부터 입력된 영상을 잡음 제거, 확대, 축소, 회전 과 같은 전처리과정을 통과하고, 패턴에 대해서 특징추출 과정을 통해 영상의 위치, 모양을 파악한 후 미리 기억하고 있는 Template과 패턴을 비교, 분석하여 가장 근접한 영상과 그 정보를 추출하는 단계를 말한다.



그림 6. Pattern Finding의 순서

Pattern Matching 기법에는 여러 가지가 있지만, 블록 매칭 기법에서는 MAD(Mean of Absolute Difference)^[1]를 일반적으로 널리 사용하며, 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$N-M-1$$

--- 식(3-3)

여기서 R()과 S()는 참조영상과 검사할 영상의 픽셀값이며, (u, v)는 현재 블록이 이동한 변위이다. 탐색구간에서 각각의 위치를 체크한 후 MAD가 최소가 되는 변위(u, v)가 움직임 벡터가 된다. 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$U = \arg \min_{\sum_{u=0}^{p-1} \sum_{v=0}^{p-1} |MAD(u, v)|} \quad \text{식(3-4)}$$

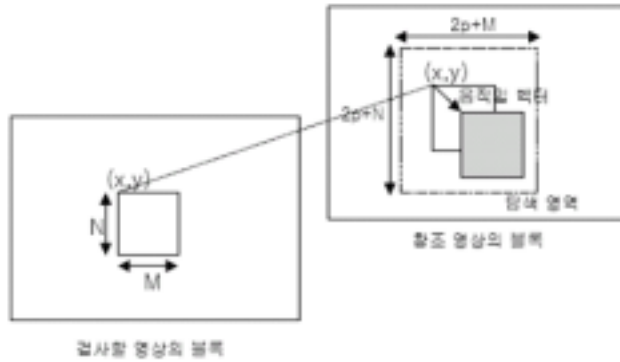


그림 7. 블록 매칭 기법

블록 매칭 기법의 단점은 영상의 밝기 변화에 따라 패칭의 신뢰성이 떨어진다는 것과 탐색구간의 크기가 문제가 된다. 따라서 이미지와 패턴의 평균값을 이용(Normalizing)한 Correlation 계수값을 취득하는 Fast Normalized Cross - Correlation 기법을 사용한다.

$$\sum_{x,y} |f(x,y) - \bar{f}| |g(x-u, y-v) - \bar{g}| \quad \text{식(3-5)}$$

식(3-5)에 의하여 r값을 구한다면, [그림 8]과 같이 빠른 시간내에 블록 매칭에 비해서 처리량이 작고, 밝기의 영향이 작으며, 피사체의 회전,크기에도 둔감하다.



그림 8. Fast Normalized Cross-Correlation 기법

4. CCD 카메라를 이용한 판타그래프 습판마모 자동측정 시스템 개요

4.1 시스템 구성

[그림 9]는 CCD 카메라를 이용한 판타그래프 습판마모 자동측정 시스템 전체구성도의 예로서 다양한 구성과 형태로 설치됨을 보여주고 있으며 시스템은 크게 차량인식 및 습판마모 측정 등 센서부를 포함한 측정부와 이를 관리하는 관리부로 구분한다.

[그림 10]은 전체시스템 중 측정부를 보여주는 예로서 기본적으로 4대의 카메라와 스트로보가 앞, 뒤 방향에서 습판마모 상태를 측정하여 영상데이터를 검출되도록 설치되어 있으며, 트리거링 센서는 영상 촬영 시점을 결정하도록 중앙에 배치되어 있다.

스트로보는 열차 진행방향에 따라 습판마모 상태의 정확한 정지화상을 얻기 위한 조명으로 트리거 센서의 신호로 발광하도록 구성되어 있다.^{[3][6][7]}

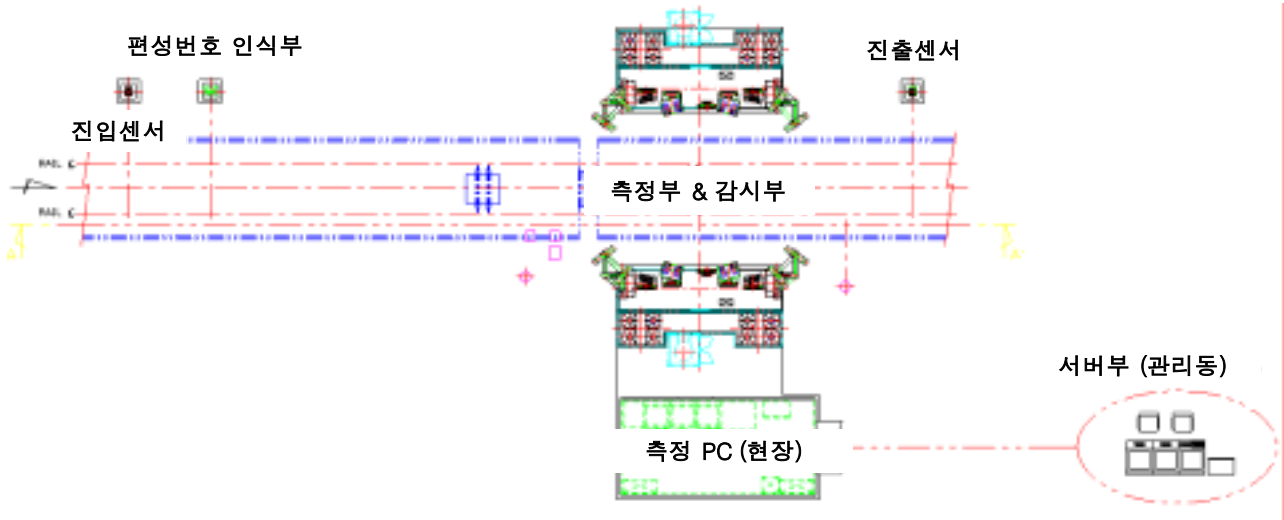


그림9. 판타그래프 습판마모 측정장치의 전체 시스템 구성도(창동 기지)

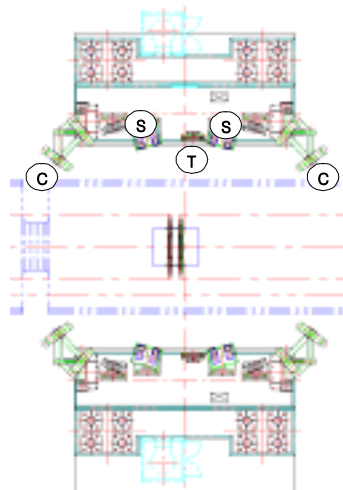


그림10. 판타그래프 습판마모 측정장치의 측정부(창동 기지)

[그림 10]에서 S는 스트로보의 위치이며, C는 카메라 위치로서 모두 습판을 기준으로 전방과 후방에 배치되어 있다. 또한, T는 트리거 센서로서 습판을 촬영하는 시점을 결정하도록 되어 있다.

차량이 진입하면, 습판의 통과를 감지하게 되고 그 신호를 시작으로 스트로보는 발광하고, 그와 동시에 카메라는 각각의 지점에서 촬영^{[3][6][7]} 되도록 되어 있다.

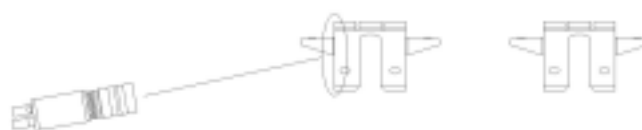


그림 11. 판타그래프 습판마모 측정장치의 측면도(기존 방식)

[그림 11]은 판타그래프 습판마모 측정장치의 측면도를 나타낸 그림이며 기본적으로 전방에 있는 카메라와 후방에 있는 카메라는 정면에서 보거나 혹은 아래쪽에서 위쪽을 향해 습판을 촬영하도록 되어 있다. 그 이유는 [그림 12]과 같이 판타그래프에는 습판체가 2개 있으며 4개의 습판과 2개의 고체윤활제가 습판체에 위치하고 있으며, 가이드혼 및 프로텍트와 같은 각종 부가장치가 붙어 있고^[4] 주변에 차량과 관계없는 물체들이 영상에 표시되어 기존의 시스템의 구성으로는 습판의 외곽을 추출하는데 있어 문제를 발생시키기 때문이다. [그림13]은 그 좋은 예라고 볼 수 있다.

따라서, 아래에서 상면을 촬영함으로써 습판의 윤곽이 하늘을 배경으로 촬영하게 되어 있으나, 이러한 시스템은 하나의 판타그래프에 위치한 4개의 습판을 모두 측정하지 못한다는 문제점을 내포하고 있다.

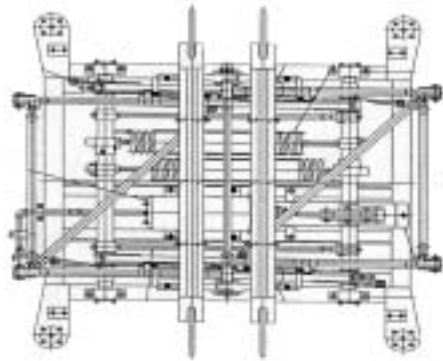


그림 12. 판타그래프 평면도



그림 13. 상면에서 촬영시 영상에 입력되는 습판외의 부가장비와 주변장치들

판타그래프 습판마모 자동측정 시스템은 [그림 14]와 같이 측정부와 관리부로 나뉘지며 측정부는 차량의 진출입, 편성번호 인식, 실체 촬영과 머신비전 기법을 이용한 영상처리 및 데이터 추출과 같은 작업을 하게 되며, 취득한 결과를 관리부로 전송하는 역할을 갖고 있다. 관리부에서는 취합된 데이터를 보관 관리하게 되며 사용자에게 시각적으로 디스플레이하는 역할을 갖고 있다.

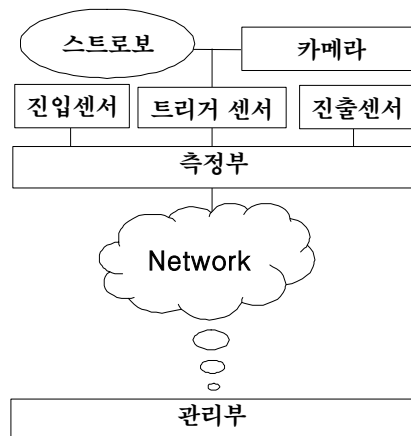


그림 14. 시스템 개략도

관리부의 데이터 관리는 측정결과 값과 그래프, 측정시 사용된 이미지가 표시되며, 다양한 검색 기능과 출력기능이 제공되고 있다.

4.2 비전측정 알고리즘(창동 기지)

비전측정에 있어서 카메라와 연동하기 위해 필요한 기술로는 [그림 15]과 같이 열차의 진행속도와 무관하게 원하는 위치에서 정확하게 촬영할 수 있는 트리거링 기술이 있어야 하며 영상처리에 있어서 명확한 정지화상을 얻기 위한 조명기술, 계측정밀도를 높이기 위한 머신비전(Machine vision) 설계 기술이 필요하다.^{[6][11]}

또한, 카메라로부터 얻은 영상에서 습판의 두께를 처리하기 위해 필요한 기술로는 측면에서 촬영하면 서도 정면에서 촬영한 것처럼 변환하는 원근변환기술이 필요하며, 영상의 축적을 실제 축적으로 변환하는 단위보정 기술, 판타그래프의 틀어짐과 습판체의 변형을 감지하고 계측의 신뢰성을 확보하는 위치정렬 기술, 카메라의 분해능보다 보다 높은 계측 정밀도를 높이는 보간기술, 조명과 외부여건에 영향을 최소화하는 측정기술이 필요하다.

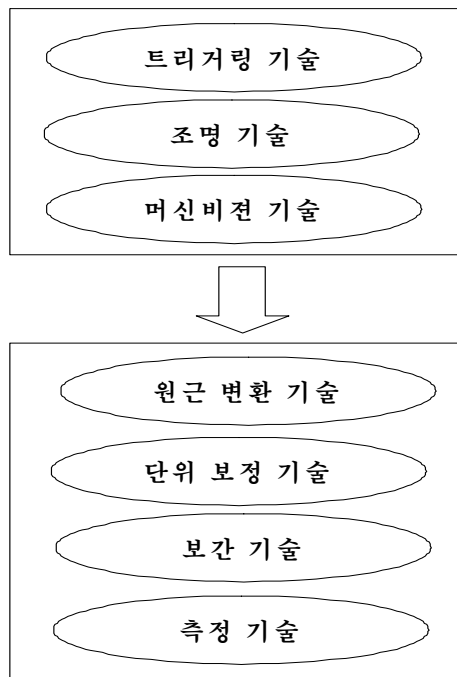


그림 15. 측정 기술 항목

트리거링 기술과 조명기술은 이미지 보드와 연결된 트리거링 센서가 습판의 통과를 1msec 이하의 속도로 감지하면 감지된 신호를 기준으로 스트로보 발광을 수행하도록 되어 있으며, 그와 동시에 카메라가 촬영하도록 하는 기술로써 정확한 위치와 명확한 이미지를 얻는데 필요한 기술이다. 이러한 이미지를 얻기 위해 부가적으로 전처리기술을 필요로 하는데, 전처리 과정에 사용되는 머신비전(Machine vision) 기술은 노이즈제거, 영역분할 등이 있다.^[6]

이러한 영상취득 과정이 끝나면, 촬영된 이미지를 가지고 본격적인 측정이 이뤄지는데 원근변환기술은 미리 캘리브레이션(Calibration)을 통해 알고 있는 [그림 16]과 같은 영상좌표를 이용하여 영상에서 나온 기술기를 정면으로 보정하는 변환기술을 사용한다. 따라서, Y축 방향으로 이뤄진 습판의 상면 윤곽과 기준선의 윤곽이 X축 수평방향으로 보정되고, 동시에 상면 마모선도 함께 따라간다.

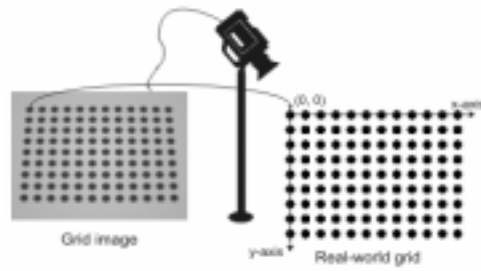


그림 16. 캘리브레이션 그리드(Calibration grid)

[그림 16]과 같은 그리드를 이용하여 원근변환이 끝나면, 측정기술을 통해 측정 영역 설정 및 에지추출 등이 이루어져 측정을 원하는 습판이미지의 영역을 구하게 된다. 단위보정기술과 위치정렬 기술을 통해 틀어짐과 휘어짐으로 발생된 기준선과 마모선의 변화를 파악하고 물리량으로 환산하고, 서브픽셀(Sub-Pixel)을 통한 보간기술로 측정의 정밀도를 극대화^[5] 하도록 되어 있고 [표 3]은 일련에 이미지 프로세싱 과정을 이미지를 이용해 순서대로 나열하였다.

표 3. 이미지를 이용한 프로세싱 과정

구분	이미지 예	적용 알고리즘
영상캡처		- 전후방 좌우측으로 위치한 카메라로 습판영상을 촬영
이미지 획득과 패턴매칭		- 블록 매칭 기법(MAD 사용) - 평균합을 이용한 상관계수 기법 (Fast Normalized Cross-Correlation)
원근변화		- Perspective Calibration (Tsai) 알고리즘(그리드 중심을 기준으로 좌변화)
보정과 보간		- Dilinear Interpolation기법 (차의 평균을 이용한 중간값 계측)
에지추출		- Roberts, Sobel, Prewitt 알고리즘
데이터 추출		- Sub-Pixel 알고리즘
이미지 합성		- 좌표축 회전에 대한 역행렬 사용

4.3 측정관련 시스템 사양(차동기지 적용사례 시스템)

4.3.1 사용환경(주위온도)

- 1) 판타그래프 진입 및 습판체 감지센서 : - 20℃ ~ 55℃
- 2) 열차 진입 및 편성, 차호 인식장치 : - 20℃ ~ 55℃
- 3) 데이터 처리장치 : - 20℃ ~ 55℃
- 4) 표시 및 관리장치(서버포함) : - 0℃ ~ 55℃
- 5) 습 도 : 90% 이하
- 6) 풍 압 : 동작시 초속 15ms 이하, 보존시 초속 30ms 이하를 견딜 것

4.3.2 설치조건

- 1) 차량 인식용 센서와 데이터처리 장치간 거리 : 50m 이하
- 2) 판타그래프 진입감지센서와 데이터처리 장치 : 50m 이하
- 3) 차량번호 감지센서와 데이터처리 장치간 거리 : 50m 이하
- 4) 습판체 측정용 센서와 데이터처리 장치간 거리 : 50m 이하
- 5) 편성 및 차호 인식부 : 차량기지내 또는 입출고선 각 1개소
- 6) 데이터 처리장치 : 차량기지내 또는 기지인근 입출고선 주변
- 7) 표시 및 관리장치(서버포함) : 지정 장소

4.3.3 기본사양

본 시스템의 기본적인 사양은 [표 4]에서 보여주고 있으며, 측정 및 하드웨어 부분만 기술하였다.

표 4. 시스템의 기본적인 사양

품 명	사 양	수량	용 도
CCD 카메라	Type : SVS4020, 해상도 : 2048×2048, 셔터속도 : 1/10~1/14000	4	영상취득
트리거링 센서	형 식 : 적색LED 센서, 응답속도 : 1mSec이하	1	촬영시점 결정
스트로보 조명	발광에너지 : 100J/F, 노출시간 : 9~35μs	4	조 명
영상처리기	모델명 : Meteor2-CL, 칩셋 : 32bit, 33MHz	8	영상처리
카메라 렌즈	모델명 : SM50NC, 방식 : Auto iris	4	카메라 초점
산업용 PC	프로세서 : 듀얼CPU, 메모리 : 4GB, 하드용량 : 200GB	1	측 정

※ 상세사양은 별첨1 자료 참조

5. CCD 카메라를 이용한 비전 측정과 운영방식의 문제점 및 개선방향

5.1 기존 비전측정에 대한 문제점 및 개선방향

국내에 도입되고 있는 CCD카메라를 이용한 판타그래프 습판마모 자동측정 시스템은 다양한 구성과 형태로 설치되어 활용하고 있지만 비전측정에 있어서 몇 가지 문제점을 내포하고 있으며, 그것은 국내현실에 맞지 않거나 검사를 누락하는 원인을 제공하고 있다.

① 카메라의 촬영 위치로 인한 문제점 및 대책

[그림 11]과 같은 위치에서 판타그래프에 부착되어 있는 습판을 촬영하게 되면[그림 17]와 같이 B와 C에 대한 측정과 고체운활제 a와 b는 측정이 곤란한 결과를 초래하고 검사항목을 누락시켜 국내실정에 맞지 않는 상태의 시스템이 된다. 부분적으로 습판A, D의 마모가 B, C의 마모량과 동일하다면 문제점을 해소할 수 있으나 실제 판타그래프의 습판체 조건은 [그림 18]와 같이 열차 진행방향에 따라 습판체의 기울기가 발생하므로 항상 습판A, D의 마모가 B, C의 마모량과 동일할 수가 없다^[4]. 이러한 상태의 기울기에 의한 습판마모 상태를 정밀하게 측정하여야 하는 대책이 필요하게 되었다.

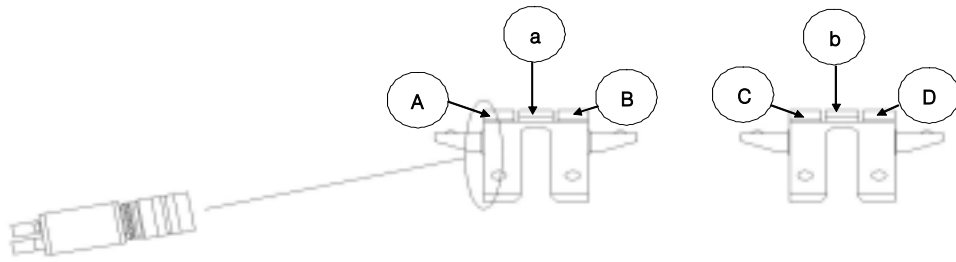


그림 17. 습판에서 (B),(C),(a),(b)의 측정 누락 현상(기존방식)

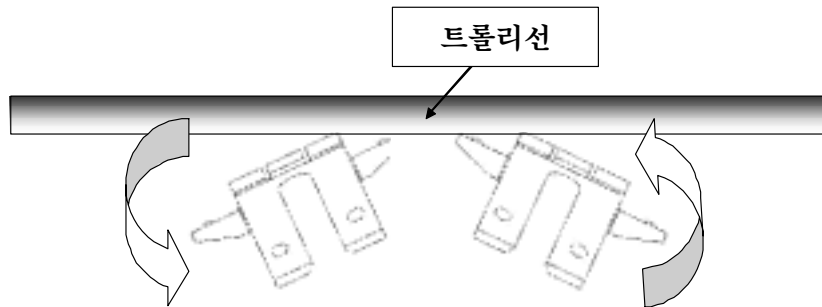


그림 18. 습판체의 기울기 현상으로 인한 습판별로 서로 다른 마모량 발생

따라서 [그림 19]와 같은 구성으로 카메라 배치가 필수조건이며, 더불어 기존의 머신비전 알고리즘에서 패턴매칭(Pattern Matching) 기술의 템플릿(Template)을 확대하여 주변부착물에 간섭이 없도록 구성해야 하며, 스트로보 조명의 광도를 높이거나 수량을 늘리고 카메라 셔터 스피드를 1/5000~14000 sec사이를 유지한다면, [그림 20]과 같은 이미지 처리를 할 수 있다.

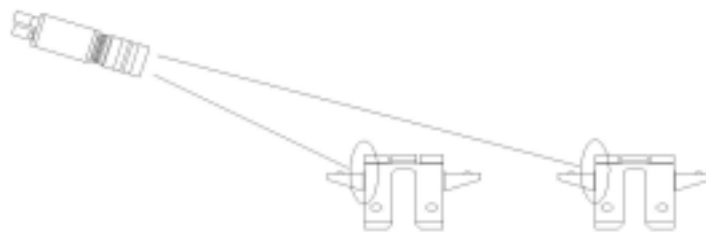


그림 19. 카메라 위치 변경으로 측정누락 방지(창동기지)

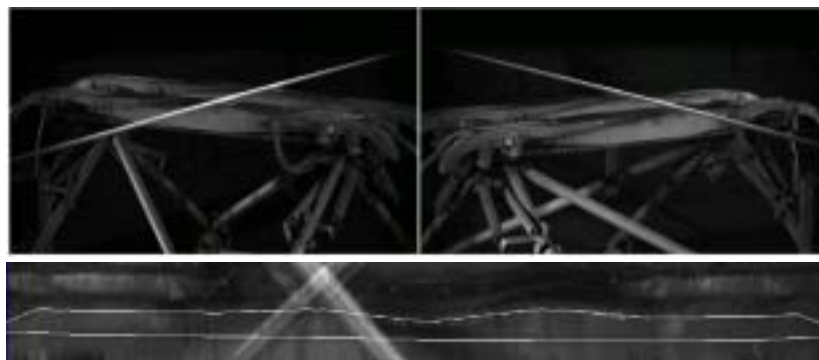


그림 20. 실제 상면에서 촬영된 이미지와 그 이미지로 측정하여 변환된 이미지 (창동기지)

② 최대 마모량에 대한 문제 및 개선 방향

기존 적용 시스템에서는 측정된 최대 마모량에 대한 분석은 일반적으로 습관중심이 0일 때 $\pm 50\text{mm}$ 범위를 최대 마모량으로 설정되어 있으나 전동차 검수규정상의 마모한계 범위를 벗어나는 범위가므로 실현성이 없는 측정범위로 적용하기는 곤란한 범위이다. 따라서 전동차 운행시 습관의 진동범위와 측정결과 마모한계 범위와의 변동범위 내에서 된다 하더라도 최대 마모량은 좌우측 어느 부위든 편마모 발생확률이 높아 일률적으로 대응하기는 곤란하다.^[4]

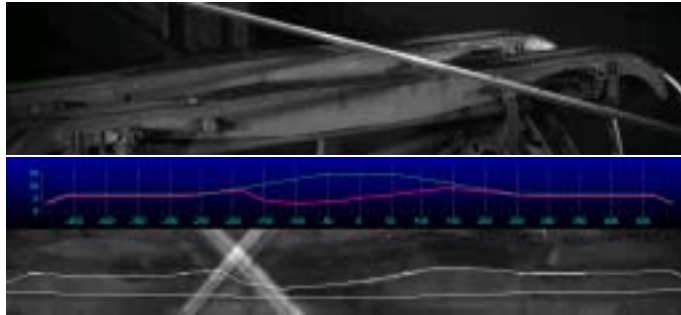


그림 21. 실제 촬영된 이미지와 데이터 그래프 및 측정된 이미지 (창동기지)

[그림 21]은 전동차 습관마모 상태를 촬영한 영상이미지와 영상데이터로 변환한 상태 이미지를 보여준다. 파란색의 프로파일은 원형상태의 습관의 기준이며, 빨간색의 프로파일이 실제 편마모가 일어난 습관의 상태를 나타낸다. 이와 같이 습관 중심에서 벗어난 측방향의 마모가 마모한도를 벗어난 상태가 많아 측방향의 마모상태를 전방위 측정이 가능한 시스템으로 구축되어야 하며, 원형 프로파일에서 실제 프로파일을 뺀 값이 가장 큰 값으로 최대 마모량을 산출하여야 한다.

4개의 습관은 각각 기울기(Tilting)가 가능한 핀(Pin)으로 조립된 구성^[4]으로 되어 있고, 차량의 진행 상태와 진동이 트롤리선과 습관에 영향을 주어 각각 다른 마모량을 갖고 진행^[4]됨으로써 기존의 CCD 카메라의 하부배치로 전면과 후면만 촬영하여 중간 습관의 두께를 예측하던 시스템은 측정 포인트의 누락이 발생할 수 있다. 따라서 판타그래프 습관마모 자동측정 시스템에서 4개의 습관을 측정하기 위해서는 스트로보의 발광량의 증가와 카메라 셔터 스피드 줄여 위에서 아래로 촬영하는 것이 바람직하다.

또한, 트롤리선과 습관의 마찰은 습관의 중앙에서만 발생하는 것이 아니며 보조습관을 포함한 전면에서 발생되며 불규칙 형상을 형성^[4]함으로써 기존의 습관의 중간 지점을 최대 마모량으로 잡는 시스템의 측정방식에 대해서는 문제점을 발생시킬 수 있다. 따라서 전면에 대한 측정과 동시에 원형 프로파일과의 비교를 통해 최대 마모량을 검사하는 방안이 적합하다.

5.2 운영방식의 문제점 및 개선방향

① 캘리브레이션(Calibration) 및 유지보수에 대한 편의성

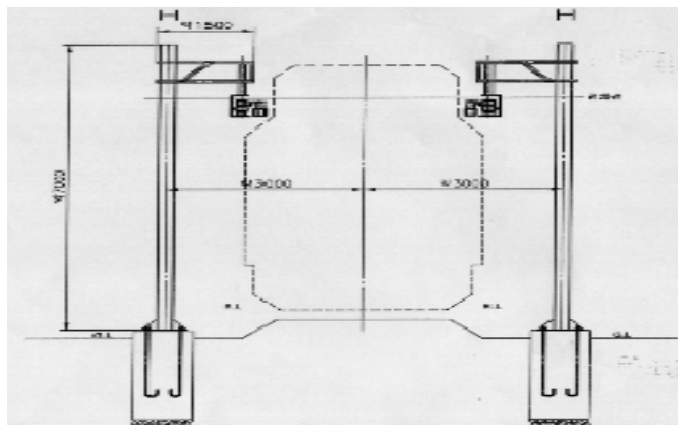


그림 22. 카메라 설치 기둥(기존 방식)

[그림 22]와 같이 카메라는 기둥 위에 설치되어 있으며, 일반적으로 장비의 캘리브레이션 및 유지보수 시 5m 높이의 기둥 상부에 위치한 카메라 및 스트로보를 교체 및 확인하여야 하는데, 트롤리선의 단선 시간에 작업을 한다고 해도 그것은 작업자의 생명에 위협이 되는 조건이며 유지보수의 편의를 생각하지 않는 방식이다. 또한, 캘리브레이션 셋팅(Calibration Setting) 작업에 있어서도 그리드판 혹은 원형습판을 촬영해야 하는 과정이 있다면 실제 열차의 판타그래프 높이만큼 셋팅 도구를 올려야 한다는 문제점이 발생한다. 따라서 본고에서는 리프트(Lift)장치를 판타그래프 습판 자동측정 시스템에 도입함으로써 캘리브레이션(Calibration) 및 유지보수에 대한 편의성을 극대화하고 작업자의 안전을 최우선하는 시스템을 구축하고자 한다. 보통 리프트는 물류와 주차 시설에 많이 사용되지만 테이블 리프트의 안전성과 편의성이 우수하므로 [그림 23]과 같은 테이블 리프트에 스트로보 조명 셋트, 카메라 셋트, 센서류들을 셋팅하여 유지보수 및 캘리브레이션(Calibration)시 장비자체를 하강하여 작업하고 차후 상승시켜 시스템을 운영하도록 한다.



그림 23. 테이블 리프트(창동 기지)

② 개방적 시스템의 전환 필요

본 논문은 데이터베이스 서버 혹은 웹서버를 이용한 개방적 시스템의 구축을 언급하고자 한다.

기존의 시스템에 대한 네트워크 구성은 [그림 24]과 같은 방식으로 측정부와 관리부로 나뉘어져 있다. 이는 국내 여건상 데이터의 출력과 검수는 검수고에서 많이 이루어져 시스템의 안전성을 위하여 관리부가 별도의 룸(Room)으로 구성^{[6][7]}되어 있거나, 건물위치가 다른 곳에 있다면 업무의 효율과 신속한 판단 및 조치가 어렵다. 또한 본사와 기지 및 운영기관의 연계 서비스가 미흡한 것이 사실이다.

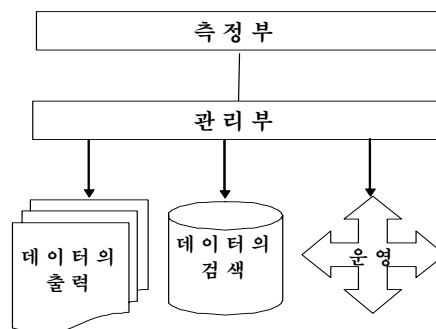


그림 24 폐쇄적 시스템

따라서 기본적으로 운영기관 내에서는 공간적 제약없이 사용할 수 있는 클라이언트용 소프트웨어를 배포해야 하며 [그림 25]와 같이 측정부의 데이터를 취합한 관리부는 허가된 Client에게는 데이터의 출력과 데이터의 검색 서비스를 사용할 수 있도록 해야 한다. 또한 PHP 혹은 ASP를 이용하여 허가된 사용자가 공간적, 지리적 제약없이 웹에서 데이터를 볼 수 있도록 해야 한다. 개방적 시스템은 데이터의 외부 노출 우려되는 문제점이 있으나 방화벽(firewall) 프로그램에서 지원하는 여러 가지 포트 IP, 계정감시서비스를 활용하면, 충분히 구현 가능하므로 보안상의 이유로 폐쇄적인 시스템으로 구성하는 것은 개선할 필요가 있다. 차후 PDA와 연동한다면, 사용자의 편의를 극대화 할 수 있다.

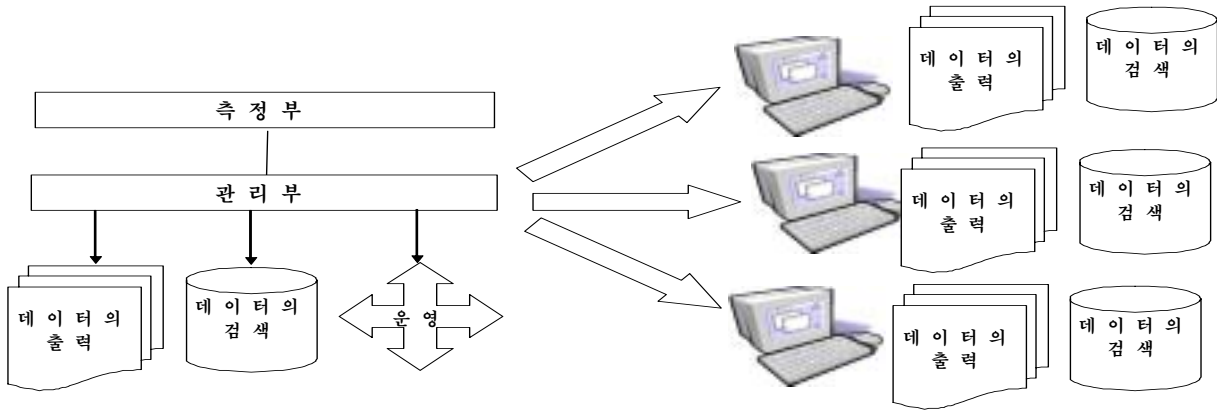


그림 25 개방적 시스템(창동 기지)

6. 결 론

산업계의 요구사항인 역동성 및 국제 경쟁력 확보를 유지하기 위한 교통수단으로서의 철도분야는 각 운영기관에서 지속적인 경영합리화 실현으로 국가 경쟁력 제고에 기여하여야 할 것이다. 이와 같은 철도분야 경영개선에 의한 교통 및 물류비용 저감을 통한 국제경쟁력 확보는 철도관련 분야의 모든 종사자가 각각의 역할에 충실함으로써 효율성 제고를 통한 경영개선을 실현하여야 할 것이다. 이에 고비용 저효율 요소인 차량 검수정비 분야에 최첨단 장비도입 및 활용을 통한 효율적 관리로 생산성 향상을 도모하고 나아가 그 일환으로 관련업체의 첨단장비 제조기술력 제고 등 장비의 신뢰성 확보와 검수자의 작업안전성 확보 등으로 운영기관의 경영개선을 달성할 수 있을 것이다.

본 논문은 기존의 CCD 카메라에 의한 판타그래프 습판마모 자동측정 장치 구성과 측정방법상의 불편 또는 부적합한 사항, 누락 검사항목, 측정값 오차발생, 유지보수시의 안전 및 기술적 요인과 사용기피 원인이 되는 관리상의 문제점에 대해 국내운영기관 실정에 적합토록 시공간상의 제약없이 측정결과를 확인할 수 있는 개방적 시스템으로 개선하여 웹서버 설치, C/S 환경 극대화, 초정밀 센서에 의한 측정정밀도 및 신뢰성 확보, 원격관리에 의한 편의도모 및 관리자의 안전확보 등 대책제시 및 시스템 구성을 제안하여 국내·외 도시철도 운영기관에서 도입함으로써 경영개선의 일익을 담당할 수 있을 것이라고 예측된다.

7. 참고문헌

- [1] 이영아, 박우석, 고성제, 고려대학교 전자공학과(2003), "패턴 매칭을 이용한 실시간 PCB 비전 검사", 대한전자공학회 하계종합학술대회, 제26권, 제1호, 대한전자공학회, pp.2-3
- [2] 히로시 이이즈카(2001), "번호판영상 추출장치 및 방법", pp.2-4
- [3] 김봉택(2003), "전동차 판터그래프 이상검지장치", pp.3-5
- [4] 오혜원(2003), "전동차 판터그래프 습판 마모의 측정분석에 관한 연구", 공학석사학위 논문, pp.2-3, pp.18-31
- [5] 김선기, 김현철, 백열민, 박종국, 심재원, 장경영, 김희율(2006), "스테레오비전을 이용한 전차선 높이 및 편위 정밀 측정", 한국정밀공학회지, 제23권, 제10호, 한국정밀공학회, pp.3-5
- [6] 김동섭(2003), "열차의 판터그래프 습판상태 검지 시스템 및 그 방법", pp.6-10
- [7] 김봉택(2003), "철도차량 차륜 및 판터그래프 이상검지장치", pp.3-6
- [8] 박일용, 조진호, Pierre Miche, 진경찬, 손병기(1999), "CCD 카메라 얼굴 영상에서의 SVD 및 HMM 기법에 의한 눈 패턴 검출", 한국센서학회
- [9] 한인우(1996) "광학 적외선 천문관측 시스템 개발", 한국천문연구원
- [10] 후루야 게이조(1996), "멀티스크린 디스플레이 장치 및 스크린 부착 구조체 "
- [11] 이승(1991), "입체영상의 기록과 재생"

【별첨1】

1. 시스템 초기화 모듈 (System Initializing Module)

No	품 명	사 양
1	초음파 센서	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 2sets - 제조원 : Omron (일본) - 모델번호 : E3A-3K - 종류 : 초음파방식 - 검출거리 : 0.3 ~ 최소 3m 가변
2	RFID 리더 & 안테나	<ul style="list-style-type: none"> - 형 식 : ID 방식 - 제조원 : Tag Master - 종류 : Active Type - 안테나 송수신 주파수 : 2.45GHz±0.1GHz - 송신전력 : 10mW급 - 통신거리 : 최대 4m
3	RFID 태그	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 2ea/편성 - 제조원 : Tag Master - 사용 주파수 : 2.45GHz - 케이스 (Case) : 내환경 강화 Type(IP67) - 사용온도 : -40℃~+85℃
4	포토센서	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 4sets - 제조원 : Omron (일본) - 모델번호 : E3S-CT11-M1J - 종류 : 적색 LED 광전센서 - 전원전압 : DC10~30V - 응답시간 : 1msec 이하 - 검출거리 : 최대 30m
5	속도연산보드	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 1set - 채널 (Channel) : 4 - 통신 (Communication) : EtherNet (TCP/IP)
6	데이터 처리 컴퓨터	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 1set - CPU : 펜티엄4 3.0GHz - RAM : 4GB DDR RAM - HDD : 200GB (7,200RPM) - 보조기억장치 : FDD 3.5" 1.44MB - 랜카드(Lan Card), 실드 케이블(Digital Shield Cable) 등 부착 - 키보드 : 106 Keys - 모니터(Monitor) : 21" Color LCD Monitor (삼성) - 마우스 (Mouse) : 광마우스

2. 판타그래프 측정모듈 (Pantograph Measuring Module)

No	품명	사양
1	흑백 디지털 CCD 카메라	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 4sets - 제조원 : SVS-VISTEK - 모델번호 : SVS4020 - 종류 : 1" 인터라인 방식 (프로그래시브방식) - 유효화 소수 (Effective Pixel) : 2048 (h) x 2048 (v) - 셔터링 속도 (Shutter Speed) : 1/10~1/14,000 - 해상도 (Resolution) : 2048 (h) x 2048 (v) - 렌즈 마운트 (Lens Mount) : C-Mount, M-42 Mount - DC 전원 : DC 12V, 케이블 5m이하
2	카메라 하우징	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 4sets - 제조원 : (주)유진시스템 - 모델번호 : YOH-620 - 종류 : 전천후형, 이중구조 - 외 각 : 전면방수, 선실드(Sun Shield) 부착
3	카메라 팬틸트	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 4sets - 제조원 : (주)유진시스템 - 모델번호 : EPT-5000S - 재 질 : 알루미늄 다이캐스팅 - 동작각도 : 좌/우 355°, 상/하 -90° ~ +20° - 적재하중 : 20kg 미만 - 위치제어 : Preset Position Feedback - 사용전원 : AC 220V, 60Hz
4	스트로보 조명	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 8sets - 노출시간 : 9~35μs - 재충전시간 : 0.3sec 미만 - 리플렉터 (Reflector) : 방물형상 난반사 - 사용전원 : AC 220V \pm 5%, 200W
5	스트로보용 전원부	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 8sets - 단발 발광에너지 : 100J/F 이상 - 발광동기 : 외부동기, 신호폭 10μm - 사용전원 : AC 220V \pm 5%
6	스트로보 조명용 팬틸트	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 4sets - 제조원 : (주)유진시스템 - 모델번호 : OPT-201 - 재 질 : 알루미늄 다이캐스팅 - 동작각도 : 좌/우 355°, 상/하 -90° ~ +30° - 적재하중 : 30kg 미만 - 사용전원 : AC 220V, 60Hz

No	품명	사양
7	투과형 포토 센서 (Triggering Sensor)	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 4sets - 제조원 : Omron (일본) - 모델번호 : E3S-CT11-M1J - 종류 : 적색 LED 광전센서 - 전원전압 : DC 10~30V - 응답시간 : 1msec 이하 - 검출거리 : 최대 30m
8	전동 줌 렌즈	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 4sets - 제조원 : Optart - 모델번호 : SM50NC - 렌즈규격 : Auto Iris방식, Video/DC, 동작제어 Focus Reset 방식 - Focus : Motorized - Zoom : Motorized - 사용전원 : DC 12V
9	데이터 처리 보드	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 1set - 제조원 : Data Translation (USA) - 모델번호 : DT335 - 채널 (Channel) : 32
10	영상처리기	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 4sets - 제조원 : Matrox - 모델번호 : Meteor2-CL/32 - 물리적 사양 : 싱글슬롯, 32bit, 33MHz, PCI카드 - 메모리 : 싱글슬롯 16M - 비디오 입력 : 디지털, 카메라 링크 - 사용전원 : AC 220V, 60Hz
11	낙뢰 방지기	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 1set - 제조원 : 진화전기통신 - 형식 : UL승인품(UL-E204335형) - 접지방식 : 절연접지, 공통접지 방식 (1종 내지 2종접지)
12	네트워크 허브	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 1set - 종류 : Ethernet - 속도 : 100Base-TX/FX 10/100, AUTO - 최대전송거리 : 2km (full duplex) - 소비전력 : 100W 속도 - 10Mbps 이상

No	품명	사양
13	무정전전원장치	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 1set - 제조원 : (주)대농엔지니어링 - 용량 : AC 220V, 1Ø - 입력·출력전압 : AC 160~280V, 1Ø - 공칭전압 : AC 230V, 1Ø - 기능 : 자동 전압 조정기(AVR) 내장 - 사용전원 : AC 220V±5%, 60Hz
14	전원부	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 1식 - 제조원 : LS산전 - 입력전압 : AC 220V, 1Ø - 출력전압 : DC 24V, 5A
15	DVD CD-ROM	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 1set - 제조원 : 삼성 - 모델번호 : TS-H552B - 종류 : DVD-RW - 백업용량 : 4.7GByte
16	프린터	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 1set - 제조원 : HP - 종류 : Laser Jet - 해상도 : 9600dpi - 출력크기 : A4용
17	데이터 처리 컴퓨터	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 1set - CPU : 펜티엄4 3.0GHz - RAM : 4GB DDR RAM - HDD : 200GB (7,200RPM) - 보조기억장치 : FDD 3.5" 1.44MB - 랜카드(Lan Card), 실드 케이블(Digital Shield Cable) 등 부착 - 키보드 : 106 Keys - 모니터 (Monitor) : 21" Color LCD Monitor (삼성) - 마우스 (Mouse) : 광마우스

3. 판타그래프 감시 모듈 (Pantograph Monitoring Module)

No	품명	사양
1	컬러 디지털 CCD 카메라	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 4sets - 제조원 : SVS-VISTEK - 모델번호 : SVS285 - 종류 : 2/3" 인터라인 방식 (프로그래스브 방식) - 유효화 소수 (Effective Pixel) : 139만화소 <1,360(h)x1024(v)> - 해상도 (Resolution) : 1360 (h) x 1024 (v) - 셔터링속도 (Shutter Speed) : 1/10~1/14,000 - DC 전원 : DC 12V - 렌즈마운트 (Lens Mount) : C-Mount - 통신방식 : 영상전송 RGB, 제어전송 RS-232
2	전동 줌렌즈	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 4sets - 제조원 : SpaceCom - 모델번호 : S6X-11M-2 - 렌즈규격 : Auto Iris, Video/DC, 동작제어 Focus Reset 방식 - Focus : Motorized - Zoom : Motorized - 사용전원 : DC 12V
3	카메라 하우징	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 4sets - 제조원 : (주)유진시스템 - 모델번호 : YOH-620 - 종류 : 전천후형, 이중구조 - 외 각 : 전면방수, 선실드(Sun Shield) 부착
4	카메라 팬틸트	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 4sets - 제조원 : (주)유진시스템 - 모델번호 : OPT-201 - 종류 : 실외형 - 판(Pan) 회전각범위 : 355° - 틸트(Tilt) 회전각범위 : -60° ~ +30° - 탑재중량 : 최대 30kg - 사용전원 : AC 220V, 60Hz
5	투광기	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 4sets - 제조원 : (주)한진매입조명 - 모델번호 : HJ-1006 - 종류 : 실외형 - 램 프 : 1kW - 사용전원 : AC 220V, 60Hz

No	품명	사양
6	영상 처리기	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 4sets - 제조원 : Matrox - 모델번호 : Meteor2-CL/32 - 물리적사양 : 싱글슬롯, 32bit, 33MHz, PCI카드 - 메모리 : 싱글슬롯 16M - 비디오 입력 : 디지털, 카메라 링크 - 사용전원 : AC 220V, 60Hz
7	데이터 처리 컴퓨터	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 1set - CPU : 펜티엄4 3.0GHz - RAM : 4GB DDR RAM - HDD : 200GB (7,200RPM) - 보조기억장치 : FDD 3.5" 1.44MB - 랜카드(Lan Card), 실드 케이블(Digital Shield Cable) 등 부착 - 키보드 : 106 Keys - 모니터 (Monitor) : 21" Color LCD Monitor (삼성) - 마우스 (Mouse) : 광마우스

4. 시스템 관리 모듈 (서버부 / System Managing Module)

No	품명	사양
1	파일서버 PC	<ul style="list-style-type: none"> - 제조원 : 삼성 - 모델번호 : Samsung SMART Server 120 - CPU : 펜티엄4 제온 3.0GHz - Main Memory : ECC DDR 4GB - HDD : 160GB - FDD : 3.5" 1.44MB - 키보드 (Keyboard) : 106 Keys - 모니터 (Monitor) : 21" Color LCD Monitor (삼성) - 마우스 (Mouse) : 광마우스 - 모뎀 (Modem) : 광통신 LAN, 100BaseTX/FX급 2Mbps
2	DB서버 PC	<ul style="list-style-type: none"> - 제조원 : 삼성 - 모델번호 : Samsung SMART Server 120 - CPU : 펜티엄4 제온 3.0GHz - Main Memory : ECC DDR 4GB - HDD : 160GB - FDD : 3.5" 1.44MB - 키보드 (Keyboard) : 106 Keys - 모니터 (Monitor) : 21" Color LCD Monitor (삼성) - 마우스 (Mouse) : 광마우스 - 모뎀 (Modem) : 광통신 LAN, 100BaseTX/FX급 2Mbps
3	웹서버 PC	<ul style="list-style-type: none"> - 제조원 : 삼성 - 모델번호 : Samsung SMART Server 120 - CPU : 펜티엄4 제온 3.0GHz - Main Memory : ECC DDR 4GB - HDD : 160GB - FDD : 3.5" 1.44MB - 키보드 (Keyboard) : 106 Keys - 통신포트 : Serial 2포트 및 Parallel 1포트 - 모니터 (Monitor) : 21" Color LCD Monitor (삼성) - 마우스 (Mouse) : 광마우스 - 모뎀 (Modem) : 광통신 LAN, 100BaseTX/FX급 2Mbps
4	프린터	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 1set - 제조원 : HP - 종류 : Laser Jet - 해상도 : 9600dpi - 출력크기 : A3, A4 겸용

No	품명	사양
5	DVD CD-ROM	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 3sets - 제조원 : 삼성 - 모델번호 : TS-H552B - 종류 : DVD-RW - 백업용량 : 4.7GByte
6	방화벽	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 1set - 제조원 : 시그엔 - 모델번호 : isec 1000 Gateway (Firewall) - LAN : 10/100 Base-TX, RJ-45 3Port
7	네트워크 허브	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 1set - 모델번호 : 3C16470 - 종류 : Ethernet - 속도 : 100 Base-TX/FX 10/100, Auto - 최대전송거리 : 2km (full duplex) - 소비전력 : 100W 속도 - 10Mbps 이상
8	전원부	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 1식 - 입력전압 : AC 220V, 1Ø - 출력전압 : DC 24V, 5A - 사용온도 : -20℃~+ 50℃
9	중계 유니트	<ul style="list-style-type: none"> - 전원 연결기 (Power Connector) - 통신용 연결기 (Communication Connector)
10	무정전전원장치	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 (Q'ty) : 1set - 제조원 : (주)대농엔지니어링 - 용량 : AC 220V, 1Ø - 입력·출력전압 : AC 160~280V, 1Ø - 공칭전압 : AC 230V, 1Ø - 기능 : 자동전압 조정기(AVR) 내장 - 사용전원 : AC 220V±5%, 60Hz