

# 굴절링크 붐을 갖는 장비의 끝점 좌표 추적 알고리즘 개발에 대한 연구

## A Study on the Algorithm Development of End-point Position Tracking for Aerial Work Platform with Bend-linked Boom

오석형\*† · 홍 용\*\*  
Seok-Hyung Oh\*† and Yong Hong\*\*

(Received 8 May 2016, Revision received 2 June 2016, Accepted 2 June 2016)

**Abstract:** In this research work, an algorithm development on tracking end-point of aerial work platform with jib profile and bend-linked boom was carried out to find the X, Y and Z direction value using coordinate transformation matrix. This matrix consists of device status value(length and angle) based on camera position axis, which are sent from device controller PLUS+1 by CAN protocol. These values are used to measure the distance and angle from the camera to the end-point. Using these distance and angle value, monitoring system controls FAN/TILT/ZOOM status of camera to get an adequate scene of workplace. This program was written in Java, C# and C for mobile device. These results provide the information to the aerial work device for secure operation.

**Key Words :** Aerial work device, End-point tracking, Transfer matrix, OpenGL, Camera scene control, Pan angle, Tilt angle

### —기호설명—

$P_i$  :  $i$ 번째 붐의 링크 점  
 $l_i$  :  $i$ 번째 붐의 길이 [mm]  
 $\theta_i$  : 연결 붐이 이루는 각 [°]  
 $[T_R]$  : 변환행렬(Transfer Matrix)

### 1. 서 론

고층빌딩이나 구조물과 같은 곳에서 작업을 효

율적으로 수행하기 위해서는 고소작업을 위한 장비가 필요하게 된다. 이를 위해 상용트럭 차량의 기반 위에 복잡한 연결구조로 구성된 붐을 탑재한 장비를 이용하여 작업을 수행한다. 지금까지는 이 고소작업차량의 구조물 강도, 내구성능 등에 대한 연구가 주로 진행되고 있다. 그러나 최근 이 고소작업 장비의 작업중 사고의 발생이 빈번함에 따라 이에 대한 피해가 증대되고 있는 실정이다. 따라서 이러한 운전 과정에서 안전사고의 발생을 방지하기 위해 고소작업 장비의 운전엔 필요한 안전수칙을 제정하고 있다. 현재 영국(EN

\*† 오석형(교신저자) : 군산대학교 기계자동차공학부  
E-mail : osh@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-4721  
\*\*홍 용 : (주) 호룡

\*† Seok-Hyung Oh(corresponding author) : School of Mechanical Engineering, Kunsan National University.  
E-mail : osh@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-4721  
\*\*Ryong Hong : Horyong CO. LTD.

208\_2013)<sup>1)</sup>과 일본(JIS 9690\_2013) 등에서는 이 고소작업 장비의 안전 요구사항 및 검정방법에 대한 규정뿐만 아니라 구조설계 방법, 안전도 기준, 기구의 구성, 안전성 검사방법 그리고 위험인자 등에 대한 표준화를 수행하여 고소작업에서 발생하는 안전사고를 최소화하고 있다.

이 고소작업 장비에 관련된 지금까지 연구는 최근에 시작되었고, 주로 고소작업 장비 구성요소에 대한 강건성의 연구<sup>2,3,4)</sup>와 붐 요소의 단면형상에 따른 안전성<sup>5,6)</sup> 등에 대하여 연구되고 있으며, 구조물의 경량화와 소재특성에 따른 붐의 설계에 관한 연구<sup>7,8)</sup> 등과 같이 장비와 관련한 연구와 영상인식 등과 같은 연구<sup>9)</sup>가 수행되고 있으나, 운전자의 조작과정에서 안전사고를 방지하기 위한 연구는 부재한 실정이다.

Fig. 1과 같은 고소작업 장비는 여러 개의 붐이 연결되어 있고 굴절요소를 갖고 있다. 이와 같이 구조가 복잡하게 구성되고, 작업과정에서 복합링크의 상태가 변화되고 있는 굴절식 고소작업 장비 끝점의 영상을 카메라를 이용하여 운전자에게 전송하여 작업 중 안전성을 확보하기가 어렵다. 또한 굴절식 링크를 갖고 있어, 끝점이 설치물의 뒤쪽에 위치하여 보이지 않는 상태에서는 더욱 끝점 부근의 상황을 파악할 수 없기 때문에 작업 안전성 확보가 필요하게 된다.



Fig. 1 Aerial work device with bend-linked boom

따라서 본 연구에서는 여러 개의 굴절링크를 갖는 고소작업용 장비의 끝점 주변상태를 카메라를 이용하여 운전자에게 영상정보를 제공하여, 보다 안전한 운전을 수행하기 위한 제어를 개발하고자 한다. 운전과정에서 변화되는 각각의 굴절링크의 정보로부터 카메라의 zoom배율/pan각/tilt각을 제어할 수 있는 알고리즘을 개발하고 이를 적용하여 영상정보를 표시할 수 있게 한다.

## 2. 추적 알고리즘

### 2.1 끝점 추적 알고리즘

Fig. 2는 끝점 추적을 위한 형상모델이다. 공간상의 기준점(카메라 위치) P<sub>0</sub>에서 동일 평면상에 있지 않은 끝점 P<sub>4</sub>의 거리와 각을 계산하기 위하여 다음과 같은 단계로 계산한다. 실제적으로 고소작업 장비의 제어장치에는 각 붐의 길이와 각도만을 측정할 수 있는 센서가 설치되어 있다. 따라서 이 물리적인 값으로만 끝점을 추적해야 하는 제한적인 요소가 존재한다.

길이가 l<sub>4</sub>인 붐의 연결점 P<sub>3</sub>와 P<sub>4</sub>점을 원점으로 하는 기준축을 각각 생성한다. P<sub>4</sub>점의 X-축을 길이가 l<sub>4</sub>인 붐의 방향과 같도록 하고, P<sub>3</sub>점의 X-축은 길이가 l<sub>3</sub>인 붐의 방향과 같도록 한다. 이로써 끝점 P<sub>4</sub>를 P<sub>3</sub>점으로 l<sub>4</sub>만큼 이동하고, 두 기준축과 이루는 각(θ<sub>4</sub>)만큼 회전하면, P<sub>3</sub>점을 기준좌표로 하는 P<sub>4</sub>점의 좌표정보를 얻을 수 있다. 이를 위한 동차좌표계 변환행렬<sup>10,11)</sup>(Transfer Matrix)은 식 (1)과 같다.

$$[T_{R_{34}}]_z^{\theta_4} = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & \sin\theta_4 & 0 & 0 \\ -\sin\theta_4 & \cos\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ l_4 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

이 변환행렬에서 고소작업 장비 각각의 굴절링크 연결부의 특성 때문에 X, Y, Z-축에서 하나의 축이 고정된 상태로 회전하도록 되어 있다. 따라서 두 개의 붐 연결점에서 생성한 기준축에서 회전을 위한 고정축이 X-축인 경우 변환행렬은 식 (2)를 적용하

며, Y-축인 경우 변환행렬은 식 (3)을 이용한다.

$$[T_R]_{x}^{\theta_4} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_4 & \sin\theta_4 & 0 \\ 0 & -\sin\theta_4 & \cos\theta_4 & 0 \\ 0 & l_4 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[T_R]_{y}^{\theta_4} = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & 0 & -\sin\theta_4 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\theta_4 & 0 & \cos\theta_4 & 0 \\ 0 & 0 & l_4 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

이와 같이 끝점 P<sub>4</sub>을 기준축으로 표현된 좌표점의 정보를 P<sub>3</sub>점을 기준축으로 하는 좌표점의 정보를 표현할 수 있다.

위의 과정을 P<sub>3</sub> 끝점의 좌표를 P<sub>2</sub>의 축으로 변환하는 변환행렬을 구하고, 같은 방법으로 P<sub>2</sub> 끝점의 좌표를 P<sub>1</sub>의 축으로 변환하는 변환행렬을 구성한다. 최종으로 P<sub>0</sub>축으로 P<sub>1</sub>점으로 변환행렬을 각각 구성한다. 위의 과정에서 구성한 각 연결점을 기준으로 하는 변환행렬의 곱은 굴절식 링크로 구성된 고소작업 장비의 끝점 추적을 위한 변환행렬이며 식 (4)와 같다.

$$[T_R] = [T_{34}]_z^{\theta_4} \cdot [T_{23}]_z^{\theta_3} \cdot [T_{12}]_z^{\theta_2} \cdot [T_{01}]_z^{\theta_1} \quad (4)$$

식 (4)를 이용하여 Fig. 2의 끝점 P<sub>4</sub>점을 기준으로 표시된 점(x<sub>4</sub> = 0, y<sub>4</sub> = 0, z<sub>4</sub> = 0)를 P<sub>0</sub>점의 기준축 좌표로 변환하기 위해 식 (5)를 사용한다. 그 결과는 P<sub>4</sub>점을 P<sub>0</sub>점의 좌표계에서 각각의 x, y, z좌표 값으로 변환할 수 있고, 이 값으로부터 P<sub>0</sub>점에서 P<sub>4</sub>점까지의 거리와 각도를 계산한다.

$$[x \ y \ z \ 1] = [0 \ 0 \ 0 \ 1] [T_R] \quad (5)$$

즉, 식 (1), (2), (3)에서 알 수 있듯이 각 붐의 길이와 상호 연결각으로만 구성된 변환행렬을 이용하여 굴절형 고소작업 장치의 끝점 정보를 카메라의 위치로부터 알 수 있게 된다.

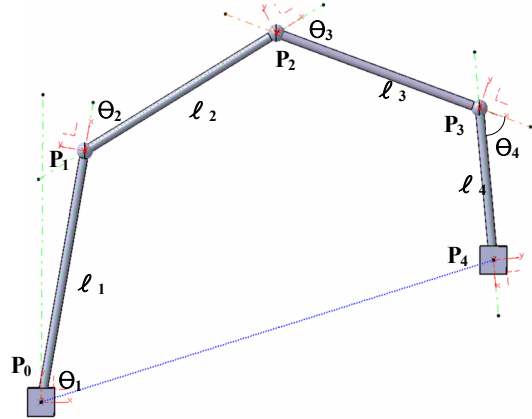


Fig. 2 Model for end point tracking

## 2.2 끝점 추적 알고리즘의 시뮬레이션

본 연구에서는 끝점 추적 알고리즘의 적용을 위해 구성해야 하는 실험장비의 공간적 요소와 운용의 안전에 대한 제한요소가 있어, 시뮬레이션을 수행하여 이 제한요소를 극복하고자 프로그램을 활용하였다. 굴절용 고소작업 장비의 구성요소인 각 단의 붐 길이와 연결각은 작업환경에 따라 변화하게 되며, 이는 운전자의 작동에 의해 결정된다. 따라서 장비의 조작에 따라 각 붐의 길이와 각도 정보를 측정할 수 있는 센서를 설치하여 이 정보의 입력에 따른 끝점 추적 알고리즘 구현을 위하여 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션에 사용한 도구는 Visual Studio 2012의 C#을 이용하여 프로그램을 작성하였다. 3D 시뮬레이션 구현을 위하여 OpenGL을 이용하였고, 이는 Open-source인 SharpGL Ver. 4.0을 이용하여 Fig. 3과 같이 프로그램을 작성하였다.

Fig. 4는 프로그램의 실행 예이다. 끝점 추적 알고리즘 계산과정에 필요한 각 붐의 길이와 연결각도로부터 생성한 식 (4)의 변환행렬을 프로그램에 적용하기 위하여 입력은 각 붐의 길이와 붐의 각도를 입력할 수 있으며, 네 번째 붐은 회전축을 변화시킬 수 있도록 설정하였다. 또한 카메라의 위치도 가변시킬 수 있도록 하였다.

각 붐의 길이 변화와 각도 변화에 따른 카메라의 위치를 기준좌표로 하는 원점으로부터 끝점의 거리와 각도를 정확히 추적함을 확인할 수 있

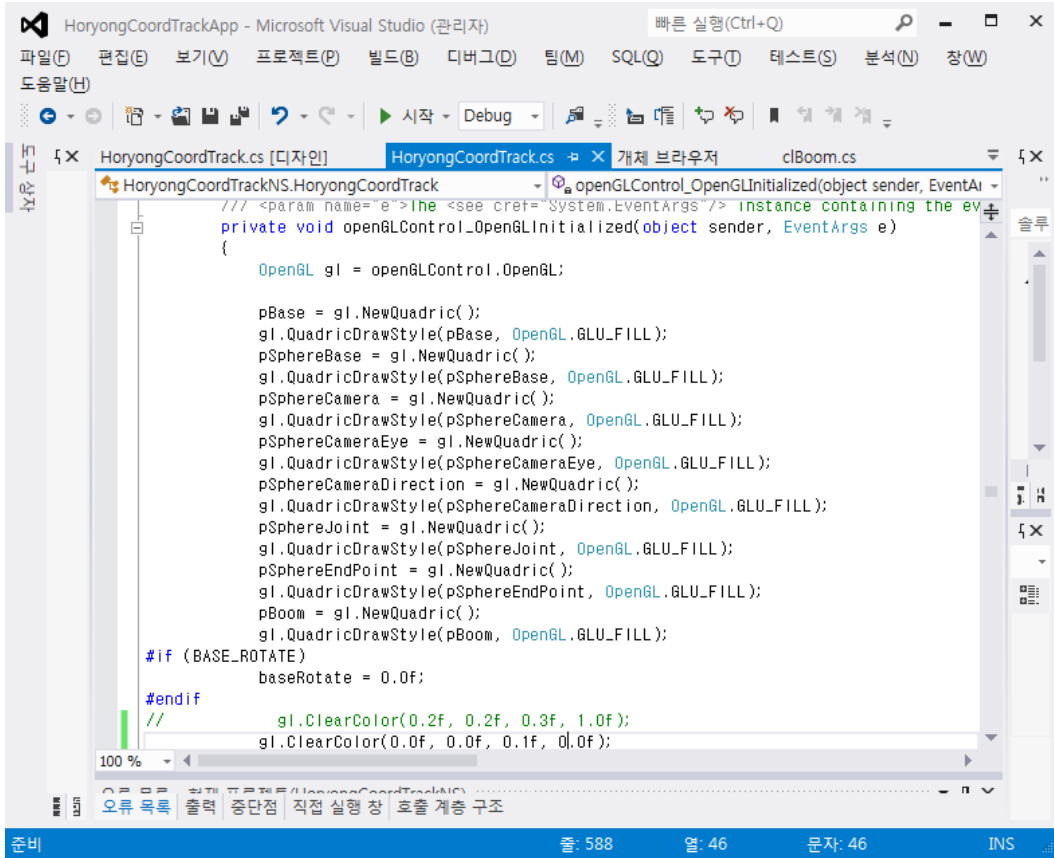


Fig. 3 Code segments of OpenGL program using C#.

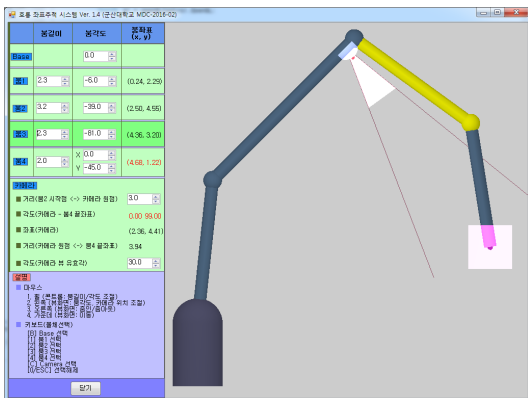


Fig. 4 Simulation result of end-point tracking execution

있고, 또한 여러 종류의 붐 길이와 연결각으로 부터 MatLab을 이용하여 식 (5)를 구성하는 행렬 계산한 결과와 시뮬레이션의 계산결과가 잘 일치하

고 있는 것을 비교 검증하였다. 이로써 굴절붐을 갖는 고소작업 장치의 끝점 추적이 가능함을 확인하였다.

### 3. 장치구성 및 프로그래밍

#### 3.1 끝점 추적 제어기 구성

Fig. 5는 본 연구에서 개발한 끝점 추적 알고리즘을 적용하기 위해 사용한 장치는 굴절용 고소작업 장비(SKY-750N)이다. 그 장비에는 다수의 유압요소 및 작동기와 여러 개의 센서 등에서 정보를 취득하여 장비의 최적제어가 이루어질 수 있도록 PID제어를 구현할 수 있으며, 장비의 동작 상태를 통신을 통하여 외부의 시스템에 전달할 수 있는 PLUS+1(DANFOSS사) 제어를 장착하고

있다. 이 제어기는 특장 장비분야의 제어에서 이미 적용에 신뢰성이 확보되어 사용되고 있다. 끝점 추적 장치는 이 PLUS+1으로부터 고소작업 장치의 상태 정보를 연속적으로 전달 받아 끝점을 추적하여 모니터링을 수행하기 위한 제어기(UDOO Dual<sup>12)</sup>, 끝점 추적 제어기에 의해 zoom 배율, pan각 그리고 tilt각을 제어할 수 있는 IP Camera (SNP-3120 VHN)로 구성된 실험장치이다. 여기서 PLUS+1과 모니터링을 수행하기 위한 제어기는 CAN(Control Area Network)에 의해 상호 통신하고, 모니터링 제어기와 IP Camera는 TCP/IP 통신을 기반으로 상호 정보를 전달하게 구성되어 있다.

### 3.2 끝점 추적 주 제어장치

장치개발을 위해 고소작업 장비의 공간적 제한으로, 실험을 위하여, PLUS+1에 고소작업 장비 제어프로그램을 입력하여 고소작업 장비의 제어를 모의화할 수 있도록 구성하여 이를 사용하였다.

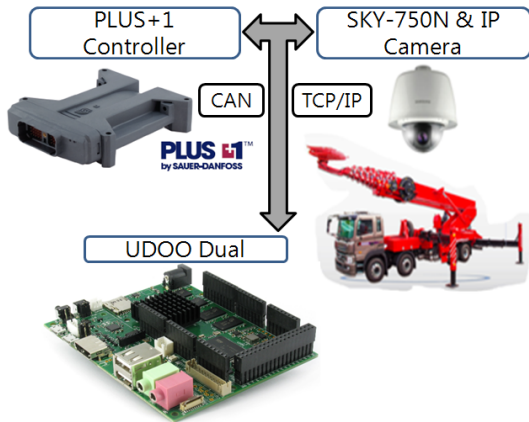


Fig. 5 Schematic diagram for end point tracking

Table 1은 끝점 추적 제어기로 사용한 장치의 사양이다. 임베디드 기기에 많이 사용되고 있는 RISC형 ARM Cortex-A9 CPU와 GPIO(General Purpose I/O) 기능을 위한 Atmel사의 SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU 등 두 개의 프로세서로 구성되어 있다.

Table 1 Specifications of UDOO Dual

Item	Specification
CPU1	Freescale i.MX 6 ARM Cortex-A9 Dual core 1GHz
CPU2	Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU
RAM	DDR3 1GB
GPIO	62 digital + 14 digital/analog
DISPLAY	HDMI and LVDS + Touch
USB	2 Micro USB (1 OTG type a+b)
Ethernet	RJ45 (10/100/1000 MBit)
WIFI	WiFi Module

ARM A9 프로세서는 두 개의 코어를 갖고 있으며, SAM3X8E ARM 프로세서는 단일 코어를 갖고 있다. 특히 GPIO는 다양한 형태의 디지털 신호(SPI, I2C, I2S, PWM, UART and CAN)의 입출력에 적합하여 프로그램에서 신호의 형태를 지정하고 사용할 수 있다는 특징이 있다. UDOO의 사양에서 제시한 바와 같이 두 개의 CPU가 이 GPIO를 공유하고 있으며, SAM3X8E 마이크로컴퓨터에서는 ARDUINO 프로그램언어가 지원되어 일반적인 ARM 프로그램 도구를 구입하기 위해 많은 비용이 필요한 반면, UDOO의 프로그램을 위한 도구는 무료로 쉽게 구할 수 있으며 범용적인 특징이 있다. 따라서 임베디드 기기와 결합하여 쉽게 프로그램을 작성할 수 있다는 장점이 있어 끝점 추적 제어기 개발의 연구에 적용하였다.

### 3.3 CAN Shield 구성과 프로그래밍

이 UDOO(CPU board)는 고소작업 장비를 제어하는 PLUS+1과 통신하기 위하여 CAN Shield를 구성해야한다. Fig. 6은 UDOO용 CAN 변환장치를 보여주고 있다. TI사의 SN65HVD234 디바이스를 사용하였고, 이는 SAE J1939 표준이 지원되는 CAN Transceiver이며, UDOO의 GPIO 핀 정보를 확장하여 UDOO의 소켓(socket)에 장착할 수 있도록 Fig. 6과 같이 설계·제작하였다.

제작한 CAN Shield를 이용하여 SAM3X8E CPU의 프로그램을 작성하였다. PLUS+1과 통신 프로그래밍은 Fig. 7과 같이 ARDUINO Ver. 1.6.1<sup>13)</sup>을

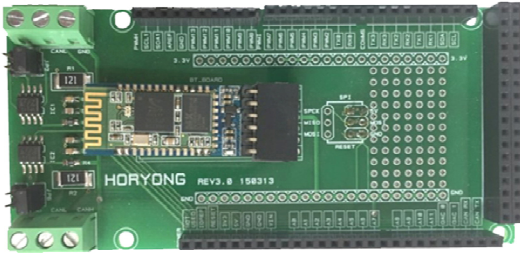


Fig. 6 CAN Transceiver Shield board for UDOO

이용하여 C로 작성하였고, UDOO Dual의 두 번째 CPU인 RM Cortex-M3에서 실행하게 하였다.

고소작업 장비의 상태정보는 각각의 요소에 해당하는 정보마다 규약(protocol)을 설계하여 고유 PID를 부여하여 PLUS+1에 설정하였고, 설계된 규약에 의해 정보를 주기적으로 전송하도록 프로그램 되어 있어, SAM3X8E 컨트롤러의 프로그램에 GPIO에 CAN data를 연결할 수 있게 설정하고, 타이머 인터럽트기능을 구현하여 100 msec마다 일정한 속도로 PLUS+1로부터 CAN data를 취득하여 제어기의 ARM A9 CPU에 전달하게 프로그램을 작성하였다.

### 3.4 끝점 추적 제어기 프로그램

다음은 끝점 추적 제어기의 주 기능에 해당하는 ARM Cortex-A9의 프로그램을 작성한다. 이 CPU는 안드로이드(Android)와 리눅스(Linux) 플랫폼을 지원하고 있다. 최근 모바일 기기에서 안드로이드가 운영체제를 이용하고 있어, 본 연구에서도 이를 사용한다. 표시부에도 모바일 기기와 같게 터치스크린 기능이 가능하며 해상도가 800×480인 7인치 LVDS(Low-Voltage Differential Signaling) LCD를 사용하였다. 안드로이드용 파일 시스템(Kernel)은 ANDROID 4.4.2 KitKat이고 기본적인 기능의 응용프로그램만 제공되며, 범용의 모바일에서 제공되는 다양한 보조기능은 제공하지 않는다.

프로그램 도구는 모바일 기기의 프로그래밍에 주로 사용되고 있는 Eclipse Ver. 4.4.2<sup>14)</sup>를 이용하여 Java로 프로그램을 작성하였다. 프로그램의 구성은 크게 세 부분으로 구성된다. 첫째는 카메라

제어와 관계된 부분을 담당하고 있는 프로그램 부분이며, 두 번째는 GPIO로부터 CAN data의 송수신과 관련된 내용으로 구성된 프로그램 부분이고, 세 번째는 위의 두 기능을 상호 지원하고, 사용자에게 정보를 전달하고 표시하기 위한 메인 프로그램부로 구성되었다.

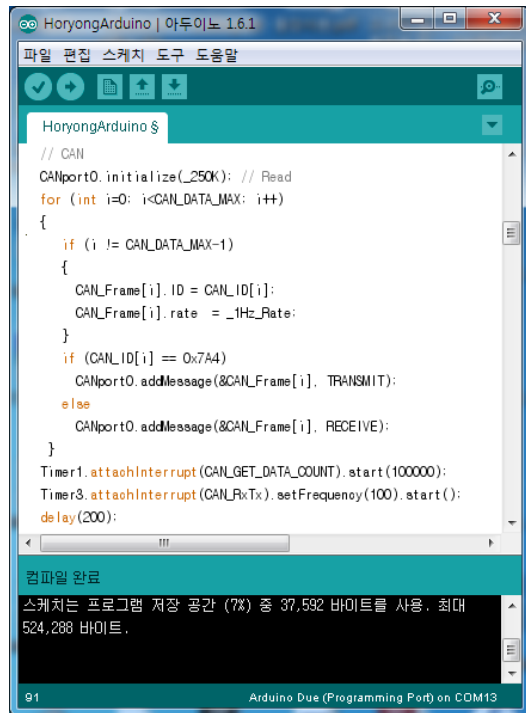


Fig. 7 Code segments of CAN data process using ANDROID

#### 3.4.1 카메라 제어 및 프로그램

카메라 제어부는 프로그램의 메인부에서 끝점 추적 알고리즘에 의해 계산된 결과로부터 카메라 뷰의 zoom/pan/tilt를 제어할 수 있는 기능을 주로 수행하고 있다. Table 2는 본 연구에 사용한 IP Camera의 사양이다. 뷰잉각의 수직방향은 42°이고 수평방향은 54°이다. Zoom 배율은 12배를 최대로 하였다. Pan각은 제한 없이 회전이 가능하며, tilt각은 180° 회전이 가능하다. 이미지의 해상도는 640×480으로 설정하였다. 이미지 해상도가 높은 경우 전송속도의 제한에 따른 영상의 지연문제가

Table 2 Specifications of IP Camera

Item	Specification
Model	SNP-3120VHN
Zoom Ratio	3.69 ~ 44.32mm(12X)
Aperture Ratio	F1.65(Wide)/F2.01(Tele)
Angular View	H : 54.44° ~ 4.62° V : 42.32° ~ 3.58°
Digital Zoom	16X
Pan Range	360° Endless
Tilt Range	-5° ~ 185°
Ethernet	RJ-45(10/100BASE-T)
Video Format	H.264, MPEG4, MJPEG
Resolution	704x480, 640x480, 352x240

발생하여, 지원이 최소가 되는 최적의 해상도를 설정하였다.

이 카메라는 TCP/IP통신 기반으로 설정하였고, 고유 IP를 설정하였다. 화면 해상도를 초기화 과정에서 설정하게 하였고, 상하 이동의 경우 pan각 제어를, 좌우이동의 경우 tilt각 제어를 그리고 거

리에 따른 zoom 배율의 정도를 설정하여 설계된 기능에 의해 메인 프로그램에서 제어를 각각 수행한다. Fig. 8은 카메라의 제어를 위해 작성된 Java 프로그램의 일부이다.

### 3.4.2 제어기(UDOO) 프로그램

한편, 다수의 컴퓨터에서 상호 데이터를 공유하며 R/W가 이루어지는 경우, Over Run이 발생하게 된다. 본 연구에서는 이를 방지하기 위해 데이터를 주고받기 위한 메모리 큐(Queue)를 설정하고, 제어기의 두 번째 CPU는 프로그램에서 타이머 인터럽트(IRQ)를 이용하였고, 첫 번째 CPU에서는 프로그램에서 스레드(Thread)를 이용하여 주기적으로 프로그램을 수행하게 하여 Over Run을 방지할 수 있도록 프로그램을 작성하였다. Fig. 9는 스레드 수행을 위한 제어기 프로그램 코드의 일부이다.

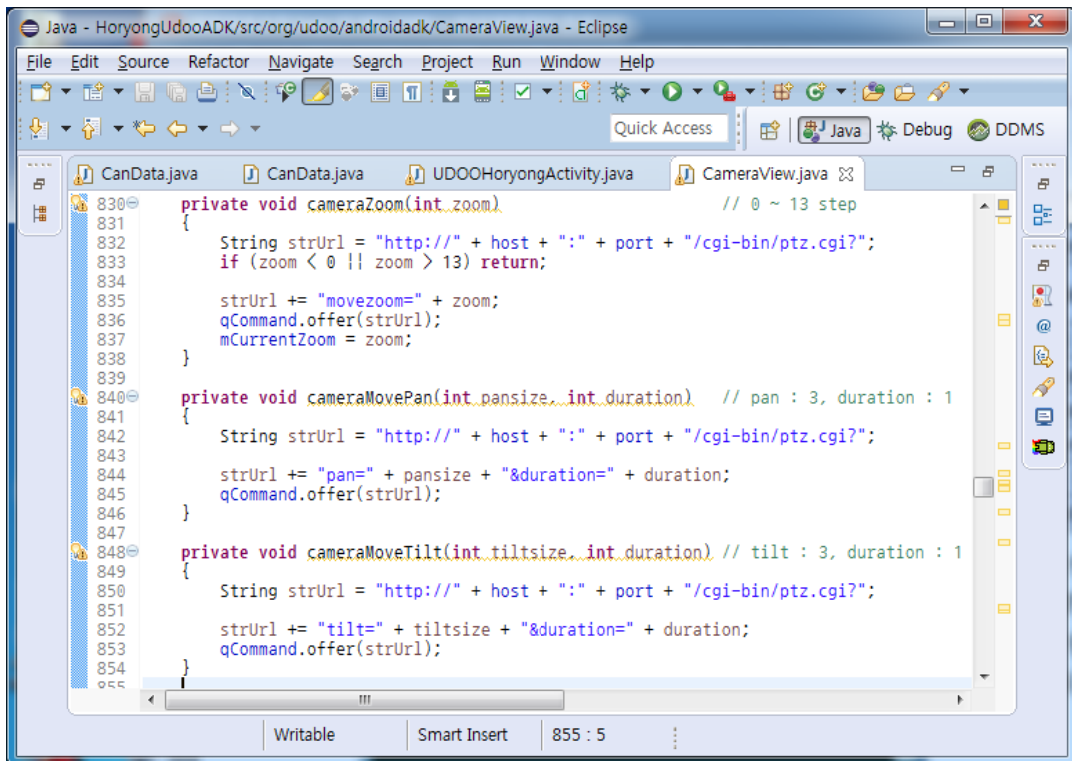


Fig. 8 Code segments of IP camera control using Java





Fig. 10은 끝점 추적 알고리즘을 적용하여 안드로이드 기반의 제어기에 사용할 수 있도록 작성한 프로그램의 실행 결과이다.

프로그램의 구성은 CAN통신을 통해 장비의 제어장치인 PLUS+1로부터 전송된 각 요소의 정보를 좌측에 표시하고, 장비의 안전 상태를 표시하게 하였다.

자동추적 모드에서는 장비의 제어장치가 100 ms마다 전송한 각 요소들(붐 길이와 붐의 연결각)의 값으로 식 (4)의 변환행렬을 구성한다. 이를 식 (5)에 대입하여 끝점 좌표를 계산하고 카메라를 제어하여 이로부터 전송된 영상정보를 우측에 표시하게 하였다. 고소작업 장치의 연결 요소 정보의 변화에 따라 끝점 추적 알고리즘이 적용되어 카메라를 제어하여 영상이 표시되는 것을 확인할 수 있었다.

수동 모드에서는 운전자가 모바일 기기를 사용하는 것과 같은 동작으로 화면을 조작하거나, 화면에 표시된 부분을 터치하면 이에 해당하는 제어명령을 카메라에 전송하며, 그 결과의 영상을 표시할 수 있도록 프로그램을 작성하였다. 또한 일반적인 모바일기기의 운용에서 사용되는 기능을 구현할 수 있도록 프로그램을 작성하여 수동 모드에서 모바일 기기의 사용에 익숙한 운전자가 화면조작 패턴정보로부터 카메라의 zoom배율과 상하좌우 이동을 제어할 수 있도록 하였다. 자동 추적 모드와 수동 모드에서 어느 시간동안 화면 터치가 없으면 보조명령 스크린은 감춰지게 된다.

#### 4. 결과 및 고찰

끝점 추적 알고리즘을 적용한 제어기 기능의 정확성을 확보하기 위하여 기존의 CAN정보 모니터링 시스템을 PLUS+1의 CAN 연결단자에 병렬로 연결하여 본 연구에서 개발한 제어기의 결과를 비교한 결과 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 CAN Shield의 H/W와 프로그램이 정상적으로 작동하여 고소작업 장비의 각 요소정보를 개발된 제어기에 정확하게 전달되며, 이 값을 기반으로 굴절붐을 갖는 고소작업 장비의 끝점 좌표 추적이 가능함을 알 수 있다.

추적된 공간상의 좌표값을 이용하여 끝점과 카메라 사이의 거리와 각도를 계산하고, 이를 카메라 뷰의 제어에 사용이 가능함을 확인하였다.

#### 4.1 카메라 뷰포트 제어

자동추적 모드에서 제어가 구동하면 매 순간 100 ms마다 장비 운전조건의 변화에 따라 카메라에 pan각과 tilt각 제어명령이 전송되어 화면의 조정이 지속적으로 발생하여 화면의 안정성에 문제가 발생한다. 따라서 Fig. 11과 같이 뷰포트를 설정하고, 이 현재의 좌표 계산결과가 설정한 범위 밖에 있을 경우에만 카메라에 이 제어명령을 전송하게 함으로써 전송된 이미지의 안정성문제를 해결할 수 있다.

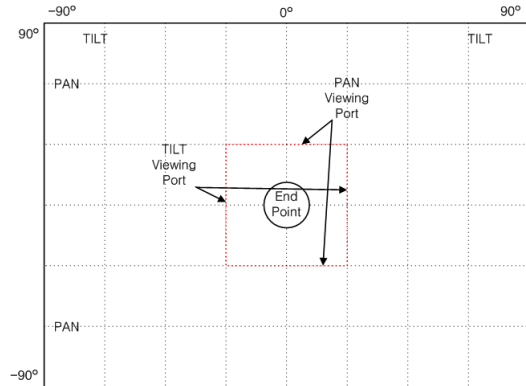


Fig. 11 Diagram of viewing port for camera scene control

또한 zoom배율의 경우도 설정한 범위 안에 끝점이 위치하는 경우에는 카메라에 zoom배율 제어 정보를 전송하지 않아 화면의 변화 없이 끝점 좌표 부근의 상태를 안정적으로 모니터링 할 수 있다.

#### 5. 결론

굴절붐을 갖는 고소작업 장비의 끝점을 연속적으로 추적하고, 카메라를 이용하여 그 지점의 주변상태를 운전자가 확인할 수 있게 하여 장비의 운전 안정성을 확보하기 위한 장비를 개발함에 있어 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 굴절뿔을 갖는 고소작업 장비에서 카메라가 위치한 좌표축을 기준으로 장비의 끝점 좌표를 계산할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

(2) OpenGL을 구현하여 알고리즘의 적용 가능성에 대한 시뮬레이션을 수행하였고, 각 뿔의 길이와 연결각으로부터 끝점 추적이 가능함을 확인하였다.

(3) 굴절뿔 장비 요소들에서 얻은 정보를 이용하여 계산된 끝점의 좌표정보로부터 환산된 직선 거리와 각도를 계산하고, 그 위치의 영상정보를 카메라를 이용하여 얻기 위해 제어할 수 있는 프로그램을 작성하였다.

(4) 카메라로부터 얻은 영상정보를 표시하는 과정에서 뷰포트 제어가 필요하며, 이를 적용한 끝점 추적 제어를 개발하였다.

현재 시스템 개발환경이 모바일 기기의 플랫폼 기반에서 수행되었고, TCP/IP 유선기반의 영상전송을 적용하고 있다. 개발된 로직은 무선전송의 속도가 개선되면 모바일의 WiFi에 의해 실행이 가능하여 장비의 사용에 대한 장소적인 제한요소로부터 자유로울 것으로 기대되고, 여러 개의 카메라에 적용하면 작업 주변에 대한 다양한 영상정보를 운전자에게 전달함으로써 장비조작의 안전성을 제공할 수 있을 것이다.

## 후 기

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술평가관리원이 지원하는 우수기술연구센터사업으로 수행된 연구결과입니다(과제번호 10045886).

## References

1. EN 280\_2013(standard of design rules for cranes). Mobile elevating work platforms. Design calculations. Stability criteria. Construction. Safety, Examinations and tests.
2. G. Sun and J. Liu, 2006, "Dynamic responses of hydraulic crane during luffing motion", Mechanism and Machine Theory, Vol. 41 No. 11, pp. 1273-1288.
3. X. Kong, Z. Qi and G. Wang, 2015, "Elastic instability analysis for slender lattice-boom structures of crawler cranes", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 115, pp. 206-222.
4. Y. Hong, S. J. Yu, S. H. Hwang, J. J. Lee, B. G. Lee and D. P. Lee, 2011, "Study on Optimization Technique for the Design of Aerial Lift Boom", Journal of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 10, pp. 207-207.
5. Y. S. Kim and K. S. Lee, 2013, "FEM Analysis of the Boom Structure of an Aerial Lift Truck Considering Contact Condition on the Pad Attached between the Booms", Computational Structural Engineering Institute of Korea, pp. 454-457.
6. J. Yao, X. Qiu, Fu Yuqin, F. Xing and E. Zhao, 2015, "Buckling failure analysis of all-terrain crane telescopic boom section", Engineering Failure Analysis, Vol. 57 pp. 105-117.
7. Y. J. Lee, 2014, "Establishment of optimal friction stir weldment condition for Al6061-T6 by small punch test", M. S. Thesis, Chonbuk National University.
8. D. Derlukiewicz and G. Przybyłek, 2008, "Chosen aspects of FEM strength analysis of telescopic jib mounted on mobile platform", Automation in Construction, Vol. 17, pp. 278-283.
9. H. Kawai, Y. B. Kim and Y. W. Choi, 2010, "A Study on Skew Measurement Technique for the Crane Spreader using a Camera", Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol. 14-4, pp. 76-81.
10. J. K. Kim and S. H. Oh, 2008, "Application of the New Calibration Algorithm of a Straight-Type Five-Hole Pressure Probe", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers(B), Vol. 32, No.11, pp. 863-869.
11. J. K. Kim and S. H. Oh, 2008, "A New Calibration Algorithm of a Five-Hole Pressure Probe for Flow Velocity Measurement", Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol. 12-4, pp. 18-25.
12. <http://www.udoo.org/>
13. <https://www.arduino.cc/>
14. <https://www.eclipse.org/>