



# 건설기계 안전사고 예방을 위한 장애물 탐지적용 방안

대한산업안전협회 건설안전본부 김영화 대리



## I. 서론

건설산업은 기계화 시공을 통해 많은 이점을 이뤘지만 건설 기계로 인한 안전사고율의 증가로 사고사망률 또한 급속도로 증가하고 있다. 국내 산업현장에서 일어나는 재해로 인한 사망자 수는 2011년 노동부에서 발표한 산업재해현황 통계에 의하면 재해로 인한 사망자는 1,582명이었다. 그 중 건설 산업에서의 사망자는 총 453명으로 전체 산업의 28.6%를 차지하고 있으며 건설기계로 인한 안전사고가 굴삭기 35건, 지게차 18건, 로울러 8건, 불도저 4건, 로우터 2건으로 건설기계의 협착, 충돌로 인한 재해 발생률이 높았다. 따라서 건설 현장에서 일어나는 건설기계의 안전사고를 저감시키기 위한 대안으로 건설기계의 특성에 맞는 장애물 탐지 요소기술을 적용시켜 건설산업의 작업환경을 개선시킬 수 있을 뿐만 아니라 근로자의 안전사고를 미연에 방지할 수 있을 것으로 기대된다.

## II. 건설기계 관련 규정

(산업안전보건법 산업안전기준에 관한 규칙 제3편 제14장)

### 가. 구조

- (1) 차량계 건설기계의 정의(제215조)
- (2) 전조등의 설치(제216조)
- (3) 헤드가드(제217)

### 나. 건설기계의 사용에 의한 위험의 방지

- (1) 조사 및 기록(제218조)
- (2) 작업계획의 작성(제219조)
- (3) 제한속도의 지정(제220조)
- (4) 전도 등의 방지(제221조)
- (5) 접촉의 방지(제222조)
- (6) 신호(제223조)
- (7) 운전위치 이탈시의 조치(제224조)
- (8) 차량계 건설기계의 이송(제225조)
- (9) 승차석외의 탑승금지(제226조)
- (10) 안전도 등의 준수(제227조)
- (11) 주용도외의 사용제한(제228조)
- (12) 붐 등의 강하에 의한 위험의 방지(제229조)
- (13) 수리 등의 작업 시 조치(제230조)

## III. 건설기계 관련 재해

건설기계에 의한 재해 형태는 대부분 충돌·협착 사고가 가장 빈번하게 발생되고 있으며 다음으로는 낙하·비래, 추락, 전도 등의 순으로 발생되었다. 충돌·협착의 원인은 작업반경 내 근로자의 출입, 작업 시 신호·유도자 미배치, 후진 시 후방 근로자의 미확인 등이 있다. 발생 장소로는 아파트 공사현장, 지하철, 교량, 고속도로, 공장건축물, 채석장 등에서 재해가 빈번한 실정이다. 이처럼 대부분의 사고는 운전자의

전·후방 주시태만으로 인해 발생한 재해가 주원인이다.

### 가. 차량계 건설기계에 기인된 재해

- (1) 기계가 노건이나 경사지에서 전락하여 운전자가 압착하는 재해
- (2) 기계근처에서 작업자가 기계에 협착하거나 충돌하여 발생하는 재해
- (3) 기계의 점검 시 압식 등의 불의의 낙하에 의한 협착 또는 위험부분에 말려드는 재해
- (4) 버킷에 걸어든 와이어 로프가 빠져서 생기는 재해 등 주목적 외의 사용에 의한 재해

### 나. 차량계 운전하역기계에 기인된 재해

- (1) 짐을 너무 많이 싣고 선회하여 차량의 전도로 발생하는 재해
- (2) 기계구조상의 시야 불량으로 인한 접촉 재해
- (3) 불안정한 적재방법이나 미숙한 운전조작으로 인한 적재물 낙하재해

## IV. 건설기계 분류 및 분석

국내의 건설기계들은 건설기계 관리법시행령 제2조에 의거하여 분류 되어 있다. 건설기계에 장애물탐지 시스템을 적용하기 위해서는 우선 건설기계의 분류 및 분석이 중요하다. <표1>은 건설기계법에 의해 분류되어 있는 26종의 건설기계 중 사용빈도가 높은 7종류의 건설기계 등록 현황을 나타내고 있다.

<표2>는 최근 10년간 기인물별 사망재해 현황을 나타내고 있다. 두 표를 참고하면 사용빈도수가 높으면서, 동시에 사망재해도 많이 발생하는 기계들을 파악할 수 있다. 이러한 건설기계들은 안전사고를 줄이기 위해 장애물탐지 시스템 도입과 자동화가 요구된다. 우선 실시간 탐지가 가능해야 하고, 장애물과의 거리 측정 및 회피를 용이하게 할 수 있도록 건설기계와 장애물 간의 거리 측정이 가능해야 한다. 또한, 건설기계에 부착하는 탐지기가 환경적 특성으로 인해 이동이나 진동이 일어날 경우에도 작동이 이루어 질 수 있어야 한다.

<표1> 건설기계 등록 현황 (단위 : 대)

| 종류      | 연도 | '06     | '07     | '08     | '09     |
|---------|----|---------|---------|---------|---------|
| 1. 굴삭기  |    | 104,521 | 107,860 | 110,312 | 113,284 |
| 2. 지게차  |    | 101,188 | 107,476 | 113,409 | 118,631 |
| 3. 덤프트럭 |    | 51,120  | 51,916  | 51,586  | 53,161  |
| 4. 레미콘  |    | 23,419  | 23,771  | 23,530  | 23,036  |
| 5. 로우더  |    | 15,057  | 15,306  | 15,590  | 16,113  |
| 6. 기중기  |    | 8,335   | 8,328   | 8,508   | 8,531   |
| 7. 러올러  |    | 6,178   | 6,192   | 6,090   | 6,061   |

<표2> 기인물별 최근 10년간 사망재해 현황 (단위 : 명)

| 순번 | 기인물      | 사망자 | 순번 | 기인물     | 사망자 |
|----|----------|-----|----|---------|-----|
| 1  | 전기설비     | 498 | 7  | 운반특장차량  | 141 |
| 2  | 크레인      | 401 | 8  | 승강기     | 131 |
| 3  | 계단 및 사다리 | 395 | 9  | 용접장치    | 117 |
| 4  | 지게차      | 284 | 10 | 컨베이어    | 116 |
| 5  | 운반·굴착기계  | 226 | 11 | 리프트     | 94  |
| 6  | 휴대용 기계기구 | 197 | 12 | 공작·절단기계 | 87  |

### (1) 굴삭기

굴삭기는 <표1>에서와 같이 많이 사용되는 건설기계로서, 토공 현장에서 생산성을 극대화시키는 매우 중요한 역할을 한다. 굴삭기의 경우 다른 건설기계와는 달리 능동적으로 지형을 변화시키며 작업을 진행하고, 상부회전체가 360° 회전할 수 있어 다른 장비에 비해 비교적 작업 반경이 넓기 때문에 공간 확보의 문제점을 가지고 있다. 주위사람이 장비에 협착·충돌 할 수 있으므로 장비를 주행, 선회 및 운전 전에 주위에 알려져서 대피 할 수 있도록 한다.

### (2) 지게차

지게차는 이동이 많은 건설기계로 작업반경이 크고, 중량물을 옮기는 등의 작업을 한다. 지게차의 경우 운반 작업 시 운전자의 시야가 좁아지는 경우가 발생한다. 정면의 시야 확보가 어렵기 때문에 운전 시 충돌에 대한 위험성이 매우 크고 실제 충돌 관련 안전사고가 많이 발생하고 있다. 작업장 주위에 사람이 있으면 경고등을 켜거나 경음기를 사용하도록 한다.

### (3) 덤프트럭

덤프트럭은 적재용량 12톤 이상의 것을 건설기계라 하지만 12톤 이상 20톤 미만의 것으로 화물운송에 사용하기 위하여 자동차관리법에 의해 자동차로 등록된 것은 제외된다. 화물 및 골재 등의 원거리 수송에 효율적으로 사용 할 수 있도록 원거리 수송, 토목, 건축공사 등에서 자주 편하게 사용하는 장비이다. 덤프트럭의 경우는 후진 시 장애물에 대한 탐지가 불가능하여 충돌이 발생하게 된다. 장비의 주행로나 작업 반경 내부에는 근로자가 출입해서는 안 되며, 부득이 출입할 경우는 트럭운전자, 근로자, 신호수간에 정확한 신호를 정하여, 상호간에 신호를 주고받으며 작업을 수행해야 한다.

### (4) 콘크리트 믹스트럭

콘크리트 믹스트럭은 콘크리트 운반을 위해 필수적으로 필요하다. 운반 시 생콘크리트를 믹서에 투입시켜 굳지 않도록 혼합하면서 현장에 운반한 뒤 배출하는 역할을 한다.

콘크리트 믹스트럭은 작업시간이 길지 않고 이동이 많아 이동시 충돌이 많이 일어난다.

**(5) 로우더**

로우더는 적재 기계로써 적재 외에 재로운반, 비탈면 정형, 정지, 구굴, 제설작업 등에 광범위하게 사용된다. 사용목적에 따라 여러 가지 버킷을 부착하여 사용하고 버킷은 유압 조작에 의해 작동된다. 로우더는 작업 시 몸체의 선회, 전·후진 등 움직임이 쉬워 주변의 장애물 탐지가 중요한 요건이 된다. 로우더로 작업할 때에는 근로자가 운전 중인 건설기계에 접촉되어 사고가 발생하지 않도록 작업장소에 근로자의 출입을 금지시키거나, 유도자를 배치하여 근로자에게 위험을 미치지 않도록 차량계 건설기계를 유도하는 등 접촉방지조치를 해야 한다.

**(6) 기중기**

기중기는 건설공사 중 다양한 분야에서 사용되는 기계이다. 중량물을 들어 올리거나 내리기, 다른 작업 장치를 이용한 파쇄작업 등을 수행한다. 기중기의 중량과 붐의 길이에 따라 작업 영역이 넓게 나타난다. 이동식 기중기는 작업 시 지지대에 의해 고정이 되지만 붐의 움직임에 따라 작업 반경이 변화가 된다. 이동시와 붐의 움직임에 대한 충돌이 발생한다. 기중기 이용한 중량물 인양 작업 시에는 정격 하중을 준수해야 한다. 또한 전방작업 범위에서의 작업은 지양하고, 부득이할 경우 정격 총 하중의 25%만 인양하도록 한다. 중량물의 취급작업 시 작업계획서 내용 작성 등을 철저히 준수해야 한다.

**(7) 로울러**

로울러의 경우 포장면 또는 지면을 다지기 위한 건설 기계로써, 작업 시 일정한 외력을 가하면서 연속적인 작업을 한다. 작업영역 안에서 전후진의 반복적인 작업이 이루어지고, 작업속도가 다른 기계에 비해 느리다. 기계의 전후진시의 충돌에 대한 대비가 필요하다. 타이어 로울러 등 차량계 건설기계를 사용하여 작업하는 때에는 무면허 운전자에 의해 운행되지 않도록 관리감독을 철저히 하여야 하고, 유도자를 배치하여 일정신호에 따라 운행되도록 하며, 법면 단부에서는 전도 방지턱 등 차량전도방지를 위한 조치를 하여야한다.

[그림] 건설기계 작업



(1) 굴삭기



(2) 지게차



(3) 덤프트럭



(4) 콘크리트믹스트럭



(5) 로우더



(6) 기중기



(7) 로울러

위에 설명된 7종류의 건설기계는 건설현장에서 많이 사용되고 있는 기계로써, 지속적으로 변화하는 토공 현장과 같은 외부 환경에서 사용되고 기계의 움직임이나 회전에 의해 작업 반경이 크게 나타난다. 사용 빈도가 높은 만큼 건설기계로 인한 안전사고도 많이 발생하고 있다. 안전사고 중 건설기계로 인해 일어나는 충돌사고를 저감시키는 방안으로 장애물 탐지가 요구된다.

**V. 장애물 탐지기술 적용방안**

안전사고 저감 방안으로 장애물 탐지 요소기술을 제시하였고, 건설기계의 조건에 맞는 요소기술을 선정하기 위해 건설기계의 작업 형태에 따라 요구되는 탐지조건을 분석하였다. 요소기술은 실시간탐지, 탐지거리, 탐지형태, 작업/이동 시 작동, 작업 환경/악천후 영향을 기준으로 비교·분석하여 <표3>과 같이 나타냈다. <표4>는 건설기계에서 요구되는 탐지조건을 나타낸 것이다.

〈표3〉 요소기술

| 종류       | 조건      | 실시간 탐지 | 탐지 거리             | 탐지 형태  | 작업/이동시 작동 | 작업환경/악천후        | 기타 특징      |
|----------|---------|--------|-------------------|--------|-----------|-----------------|------------|
| 거리 센서 기술 | 레이저 센스  | 가능     | max 100m          | 라인 탐지  | 가능        | 영향 없음           | 고속 탐지      |
|          | 초음파 센스  | 가능     | 6m                | 음파 확산  | 가능        | 분진먼지에 의한 오작동 우려 | 중저가        |
|          | 적외선 센스  | 가능     | 실외 60m<br>실내 120m | 직선 탐지  | 불가능       | 온도에 의한 오작동 우려   | 저가 고정 시 사용 |
| 시각 센서 기술 | CCD 카메라 | 가능     | 10m이하             | 형상 탐지  | 가능        | 영향없음            | 전력소비가 심함   |
|          | 레이저 스캐너 | 불가능    | 15~1000m          | 3D 스캐닝 | 충격에 민감    | 오작동 우려          | 고가         |
|          | 스테레오 비전 | 가능     | 10m이상             | 3D 스캐닝 | 가능        | 빛에 민감하여 오작동 우려  | 가상현실 구현가능  |

〈표4〉 건설기계 장애물 탐지 조건

| 종류           | 작업 특성에 의한 장애물 탐지 조건                            |
|--------------|--|
| 1. 굴삭기       | 실시간 탐지, 360°전방위, 10m 원거리 센싱, 진동 시, 야외작업(분진)    |
| 2. 지게차       | 실시간 탐지, 전후방 탐지, 약 5m 센싱, 실내, 야외작업              |
| 3. 덤프 트럭     | 실시간 탐지, 전후방 탐지, 약 10m 원거리 센싱(고속 이동), 분진        |
| 4. 콘크리트믹스 트럭 | 실시간 탐지, 전후방 탐지, 약 10m 원거리 센싱(빠른 움직임), 진동 시, 분진 |
| 5. 로우더       | 실시간 탐지, 좌우후방 탐지, 2~3m 근거리 센싱(빠른 움직임), 진동 시, 분진 |
| 6. 기중기       | 실시간 탐지, 360° 전방위 탐지, 약 8~10m 원거리 센싱, 진동 시, 분진  |
| 7. 로울러       | 실시간 탐지, 전후방 탐지, 2~3m 근거리 센싱(저속 작업), 진동 시, 분진   |

요소기술과 건설기계를 비교·분석한 결과를 통해 건설기계의 탐지조건에 맞는 요소기술을 선정하였다.

그 결과 건설기계에 부착이 적합하지 않은 센서는 적외선 센서와 레이저 스캐너이다. 적외선 센서는 이동하는 물체에 부착하여 사용할 경우 이동시 마다 센서가 반응을 나타내기 때문에 건설기계에 사용이 불가능하고, 레이저 스캐너는 실시간 탐지가 불가능하여 건설기계에 적용시키기에는 부적합하다.

굴삭기의 경우 10m 이상의 원거리 센싱이 필요하기 때문에 원거리 탐지가 불가능한 초음파 센서와 CCD 카메라의 적용은 불가능하다. 스테레오 비전의 경우는 전방위 탐지가 불가능하여 적용이 부적합한 요소기술이다. 이로써 굴삭기에 적합한 요소기술은 탐지거리가 10m 이상이고 전방위 탐지가 가능한

레이저 센서가 선정되었다.

지게차의 경우는 근거리 탐지가 주로 요구되는 장비이기 때문에 레이저 센서와 스테레오 비전은 선정에서 제외되었다. 또한 움직임이 빨라 형상 탐지 가능한 CCD 카메라 보다는 탐지 속도가 빠른 초음파 센서가 적합하다.

덤프트럭, 콘크리트 믹스터럭과 기중기의 경우는 고속이동을 하지만 작업 시에는 저속 운행하거나 정지한 상태로 하는 작업이 많아 고속탐지가 가능한 레이저 센서 보다는 스테레오 비전이 적합하다. 그리고 근거리 탐지가 가능한 초음파 센서와 CCD 카메라는 원거리 탐지가 불가능하여 선정에서 제외되었다.

로우더의 경우 작업 시 몸체의 선회, 전후진 등의 움직임이 빨라 고속 탐지가 중요시되기 때문에 레이저 센서가 적합하다.

로울러는 저속운행을 하기 때문에 고속탐지가 가능한 레이저 센스와 스테레오 비전은 경제성을 고려해 제외하였다. 또한 지면을 다지기 위한 기계로써, 작업 시 분진과 먼지가 많이 발생하기 때문에 초음파 센서는 적당하지 않다. 그 결과 로울러의 경우는 CCD 카메라를 가장 적당한 요소기술로 선정하였다.

〈표5〉 요소기술 선정 견과

| 건설기계 종류  | 굴삭기     | 지게차 | 덤프 트럭 | 콘크리트 믹스터럭 | 로우더 | 기중기 | 로울러 |
|----------|---------|-----|-------|-----------|-----|-----|-----|
| 거리 센서 기술 | 레이저 센스  | ●   |       |           |     | ●   |     |
|          | 초음파 센스  |     | ●     |           |     |     |     |
|          | 적외선 센스  |     |       |           |     |     |     |
| 시각 센서 기술 | CCD 카메라 |     |       |           |     |     | ●   |
|          | 레이저스캐너  |     |       |           |     |     |     |
|          | 스테레오 비전 |     |       | ●         | ●   | ●   |     |

## VI. 결론

건설기계의 안전사고를 저감시키기 위한 방안으로 충돌사고를 방지할 수 있는 장애물 탐지기술이 필요하다. 이미 대형 건설사로부터 큰 호응을 받고 있는 건설기계용 후방카메라는 전 토목 현장에 도입되었고 안전관리 계획을 철저히 수립하여 각 건설기계의 특성에 맞는 장애물 탐지 기술이 개발 되어야 할 것이다. ☺