

차량탑재형 고소작업대의 재해분석을 통한 취약 구조부의 안전성 향상 방안에 관한 연구

유용태* · 서수은** · 유희재*** · 강경식****

*삼성물산(주) **유한대학교 산업경영과 ***한국토지주택공사 ****명지대학교 산업경영공학과 교수

A Study on the Safety Improvement of Structural Weakness Using Accident Analysis for Vehicle-Mounted MEWP

Yong-tae Yoo* · Su-eun Seo** · Hee-Jae You*** · Kyung-sik Kang****

*Samsung Construction&Trading Co.,Ltd

**Department of Industrial Engineering, Yuhan University, Pucheon

***Korea Land & Housing Corporation

****Department of Industrial Management Engineering, MYONGJI University

Abstract

The findings were summarized as follows. The safety check by manufacturer showed that 6 of 13 companies are over the average occurrence of defects. It was expected that there would be a difference between manufacturing technology capability and production system of each manufacturer. Consequently, manufacturers should institutionally improve and strengthen certification items for the upward standardization of safety certification before factory. Second, the safety check by year showed that the results of this study accord with those of previous studies on defect time. Consequently, manufacturers should classify the 3-year-old equipment for vehicle-mounted MEWP into a special check subject to do a nondestructive test according to proven results, and also reflect the test in a safety test system to do regular preventive activities of equipment defects. Third, the safety check by part showed that the boom and outrigger parts of vehicle-mounted MEWP have the most defects. Stress concentration resulted in defects as the boom part was most frequently operated in the structural parts for a real work. To prevent this, it is suitable to improve the hardness of boom materials. The outrigger part needs improvement in safety devices with materials. As an outrigger supports the overturning moment of equipment, it is most affected by its load based on the operating radius, resulting in fatigue crack.

Keywords : Mobile Elevated Work Platform, safety inspection, Equipment Defect

1. 서론

본 연구에서 다루고자 하는 차량탑재형 고소작업대는 건설기계관리법상 건설기계는 아니지만 건설현장에

서 외벽 도장 공사, 외부 유리설치 등 건축물 외부에서의 고소작업을 요구하는 곳에 폭넓게 사용되는 건설장비이며 화물차량에 고소작업대를 장착한 특수장비 장착 차량으로 건설현장에서 많이 사용된다. 차량탑재형

†Corresponding Author : Kyung-Sik Kang, Industrial and Engineering, Myongji University, Yongin 449-728, Korea

Received January 14, 2017; Revision Received February 18, 2017; Accepted February 23, 2017.

고소작업대는 붐의 형태에 따라 텔레스코프형과 관절지브형으로 구분되어 있는데 텔레스코프형은 일반적으로 고소에서 작업을 위해 보편적으로 사용되며, 관절지브형은 복잡한 도심의 형태와 건설디자인의 비정형화로 다양한 형태의 작업을 요구하는데 사용된다. 아울러 이러한 기능을 안전하게 수행하기 위해 수많은 안전장치가 설치되어 있고 지속적으로 개발되고 있음에도 불구하고 안전사고가 줄어들지 않고 지속적으로 증가하고 있다.

현재 차량탑재형 고소작업대는 주로 국내 기업에서 생산되고 있으며 일부 수입하여 사용하는 경우도 있으며 건물의 고층화가 이루어지면서 보다 높은 성능의 차량탑재형 고소작업대의 필요성을 더욱 요구받고 있다. 하지만 수요의 증가와 더불어 차량탑재형 고소작업대를 사용하는 근로자의 안전 불감증과 장비 자체의 낮은 신뢰에 따라 잦은 안전사고로 사고 방지를 위한 대안모색의 필요성이 보다 높아지고 있다.

2. 문제점

건설 산업에서의 차량탑재형 고소작업대의 개발 및 보급은 작업능률은 향상시키는 것은 물론이고 인력 시공이 어려운 공사를 수행하는 경우 대체 시공 등에 긍정적인 효과를 가져 온 것은 사실이다. 하지만 이에 비례하여 건축물의 복잡하고 다양한 설계의 개발과 고층화에 따른 높은 성능의 장비 개발로 새로운 위험요인이 더욱 가중되면서 재해는 줄지 않고 있다. 차량탑재형 고소작업대의 설비결함 재해원인을 크게 설계상의 오류나 제조공정상의 오류, 사용상의 오류로 분류할 수 있다. 그러나 이는 명확하지 않고 어떤 부분에서 어떻게 영향을 미쳐 발생되었는지를 찾아내기란 쉽지 않다. 아울러 대부분의 공사에서의 제품이나 서비스가 생산 또는 소비자에게 도달하기까지 수많은 경로와 환경을 거치기 때문에 초기 안전성을 확보하더라도 전 과정의 중간에 발생한 직·간접적인 결함 요인을 확인하여 조치할 수 없는 실정이다. 과정이 어떻게든 분명한 것은 모든 재해가 사용 중에 발생된다는데 문제의 심각성이 있다. 또한 차량탑재형 고소작업대 재해가 지속적으로 발생함에도 불구하고 재해 감소를 위한 연구는 아직도 매우 부족한 현실이다.

3. 재해발생 현황 및 분석

안전보건공단 재해통계에 따르면 2008년부터 2012년까지 고소작업대로 인한 재해건수는 73건이며, 재해자 수는 99명에 달한다. 그 중 사망재해자 수는 82명

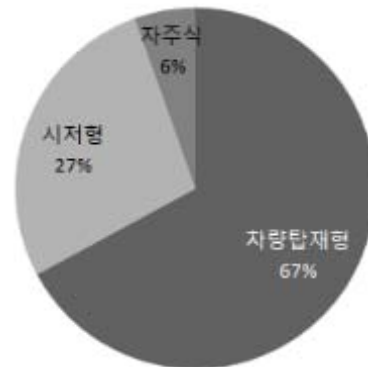
으로 사망대 부상비율을 볼 때 사망비율이 무려 82.8%의 아주 높은 수치를 나타내고 있다.

즉, 고소작업대에 의한 재해는 곧 사망재해로 이어진다고 해도 과언이 아니다. 최근까지도 재해는 줄지 않고 있는 실정이며 실질적인 대안을 마련하지 않는다면 보급률의 증가에 따라 재해도 증가할 것으로 판단된다. 연도별 재해발생 현황을 살펴보면 <Table 1>과 같다

<Table 1> MEWP-related industrial accidents by year

| Division | Total | 08 ye ar | 09 ye ar | 10 ye ar | 11 ye ar | 12 ye ar | |
|-------------------------------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----|
| Number of industrial accident | 73 | 12 | 13 | 10 | 22 | 16 | |
| Number of victim | Total | 99 | 17 | 17 | 18 | 28 | 19 |
| | Death | 82 | 12 | 14 | 15 | 23 | 18 |
| | Injury | 17 | 5 | 3 | 3 | 5 | 1 |

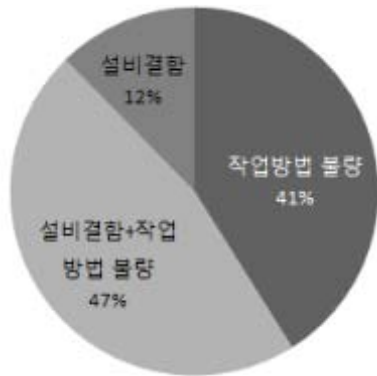
전체 73건의 재해 중 차량탑재형 고소작업대의 재해건수는 49건, 시저형 20건, 자주식의 경우는 4건이 발생하였다. 이와 같이 단순히 재해건수만 비교했을 때 차량탑재형 고소작업대의 위험도가 가장 높다고 할 수 있으며 형태별 재해발생 비율은 [Figure 1]와 같다.



[Figure 1] MEWP-related industrial accidents by type

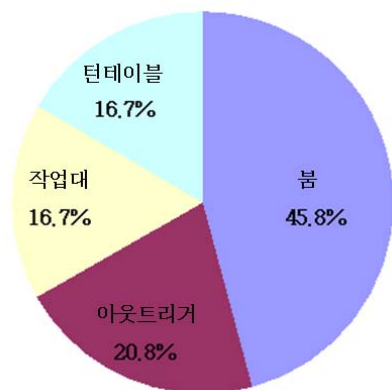
안전보건공단에서 분류한 고소작업대의 재해 원인을 보면 크게 붐대절단, 용접부 균열, 볼트 파단, 와이어로프 소선절단 등 기계적 원인에 의한 설비결함과 안전장치 무효화 상태에서의 상승, 아웃트리거 설치불량에 의한 넘어짐 등 사용자에게 의한 작업방법 불량 및 설비

결함 상태에서 운전자의 무리한 조작 등의 복합적인 원인으로 분류하였다. 이에따른 차량탑재형 고소작업대의 세부적인 재해현황을 살펴보면 설비결함의 영향으로 인해 발생한 재해는 9건, 작업방법 불량으로 인해 발생한 재해는 30건, 설비결함과 작업방법 불량의 복합적 원인에 의해 발생한 재해는 34건으로 원인별 재해발생 비율은 [Figure 2]와 같다.



[Figure 2] MEWP-related industrial accidents by cause

상기의 최근 5개년 고소작업대 재해발생 현황 자료 중 차량탑재형 고소작업대에 대한 49건의 재해내용을 발췌하고 재해석 하였다. 2008년부터 2012년까지 차량탑재형 고소작업대에 대한 중대재해와 관련한 장비의 원인별 상세 분류를 확인한 결과 작업방법 불량에 의한 재해는 11건, 작업방법 불량과 설비결함의 복합적 원인 재해는 29건, 설비결함 재해는 9건으로 나타났다. 이 중 설비결함에 의한 재해내용을 분석하여 어느 부위의 결함에 의해 재해가 발생했는지를 알아보기 위해 재해내용을 확인하고 결함발생 부위를 정리하였고 상세내용은 [Figure 3]과 같다.



| Division | Boom | Outri-ger | Work platfo-rm | Turnt-able | Total |
|-----------------|------|-----------|----------------|------------|-------|
| Nmber of defect | 11 | 5 | 4 | 4 | 24 |

[Figure 3] MEWP-related industrial accidents by defective location

재해내용에서 발생부위가 명확하지 않은 내용은 안전보건공단 자료 및 언론기사를 통해 재확인 후 분류하였으며 조사과정에서 설비결함에 의한 중대재해 외에도 수많은 일반재해 내용을 확인할 수 있었다. 5개년 중대재해 발생원인 분류에서 사고의 내용이 구체적이지 않아 안전보건공단 자료, 언론자료 등을 함께 조사하였으나 결함부위 분류가 어려운 재해 내용이 상당수 있었기 때문에 확인되지 않은 재해는 제외하고 각 구조부위별 결함 발생을 확인한 결과 붐대 11건, 아웃트리거 5건, 작업대 4건, 턴테이블 4건 순으로 이 부위들의 파단이나 파손 등에 의해 재해가 발생하였다. 즉 해당 부위들이 차량탑재형 고소작업대를 사용하여 작업을 할 때 해당 부위들에 힘이 많이 가해지거나 가장 취약한 부위임을 알 수 있었다.

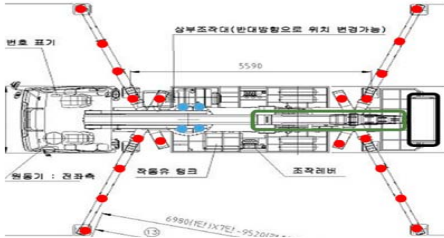
4. 취약 구조부위의 안전점검

과거 재해분석을 통해 확인된 취약 구조부위에 대한 점검을 위해 사업장에서 사용 중인 차량탑재형 고소작업대를 대상으로 안전점검을 실시하고자 한다. 차량탑재형 고소작업대 텔레스코프형, 관절지브형의 모든 유형을 대상으로 진행하였고 총 400대의 장비를 대상으로 점검을 실시하였으나 그 중 임대사 또는 운전원의 거부나 취소로 인한 45대를 제외하고 총 355대를 측정하였다. 대상 사업장은 무작위이며 공정상 차량탑재형 고소작업대를 많이 사용하는 사업장이다. 각 사업분야별로 분류하면 건축 25, 주택 24, 토목 9, 플랜트 6개 사업장으로 총 64개 사업장에 대해 점검을 진행하였다. 사용 빈도를 보면 근래 빌딩이나 아파트의 저층부 고급화로 인해 건축분야와 주택분야의 외부마감 공정에 차량탑재형 고소작업대가 상당히 많이 사용되는 것을 알 수 있다.

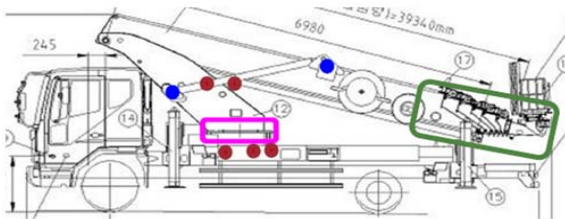
구체적인 측정 절차 및 방법은 다음과 같다. 점검순서는 먼저 전체적으로 육안검사를 실시하고 육안으로 확인된 결함의심 부위에 대하여 우선적으로 육안검사(VT), 자기탐상검사(MT)와 초음파탐상검사(UT)를 활용하여 비파괴검사를

실시하고 그 다음 주요 구조부의 취약부위를 대상으로 체크리스트에 따라 순차적으로 자기탐상검사(MT)를 진행하고 턴테이블 볼트 부위는 별도로 초음파탐상검사(UT)를 실시하였다. 검사를 완료한 후에 이력관리 D/B에 데이터를 지속적으로 기록하여 추적관리 및 재검도를 실시하였다.

이에 따라 구성된 간략한 검사부위 도해는 [Figure 4.1] 및 [Figure 4.2]와 같으며 각 부위별로 상세히 설명하였다.



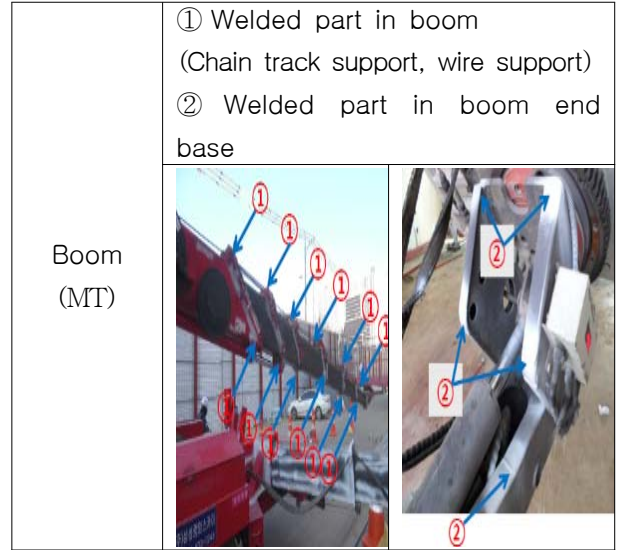
[Figure 4.1] Safety inspection diagram



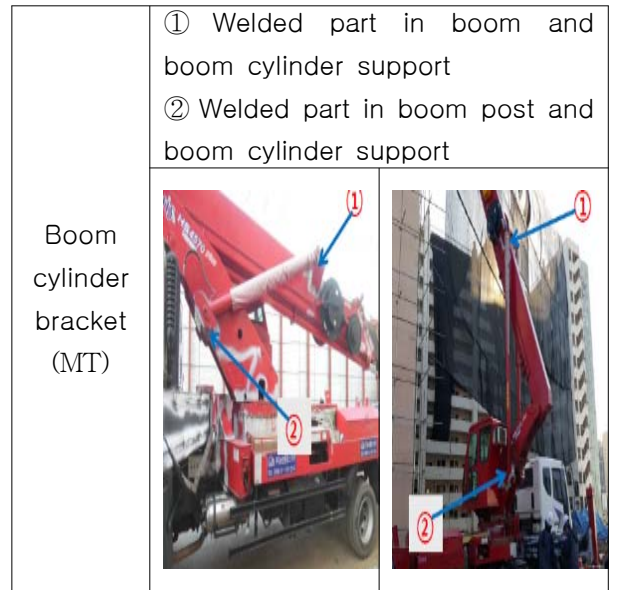
[Figure 4.2] Safety inspection diagram

4.1 붐(연장구조물 및 지브)

최근 5개년 재해분석 결과에서도 알 수 있듯이 붐대의 파단, 절단 등으로 인한 설비결함 재해가 가장 많이 발생하였다. 붐은 작업위치에 따라 작업대를 전, 후로 이동시키기 위한 설비로 차량탑재형 고소작업대 전체 구조부위 중 가장 많이 작동되는 부위중 하나이다. 그만큼 손상이 많이 발생되고 작업대를 지탱해 주는 힘을 작용시키기 때문에 상당한 응력이 발생하며 검사하고자 하는 붐의 용접부는 [Figure 5.1]과 같다. 또한 붐의 연결부위로서 작업대를 상, 하로 이동시에 작동되며 붐과 동일하게 작업 시 가장 많이 작동되는 부위중 하나로 붐에 작용되는 힘을 지탱해주는 역할을 하며 붐 실린더의 용접부는 [Figure 5.2]와 같다.



[Figure 5] Boom inspection location



[Figure 6] Boom cylinder bracket inspection location

4.2 아웃트리거(안정기)

차량탑재형 고소작업대의 전복사고를 방지하여 안정된 작업을 위해 좌우의 전도모멘트를 지탱할 수 있도록 부착한 장치로써 아웃트리거의 용접부는 [Figure 6]와 같다.

| | |
|-------------------|---|
| Outrigger (MT) | ① Welded part in front/rear outrigger Support Post and extended post ② Welded part in Front/rear outrigger expansion ③ Welded part in outrigger box and the front/rear side of the main chassis |
| | |

[Figure 7] Outrigger inspection location

4.3 턴테이블(선회장치)

차량탑재형 고소작업대의 회전운동을 할 수 있도록 하는 역할이며 작업 시 이동을 위해 주로 작동되는 부위이다. 턴테이블의 연결 볼트는 체결된 상태의 결함을 확인하기 위해 초음파 탐상검사를 통해 검사를 진행하고 해당 부위는 [Figure 7]와 같다.

| | |
|-----------------------|---|
| Turntable (MT, UT) | ① Welded part in turntable under the main chassis frame(MT) ② Welded part in main chassis frame and boom post joint bolts (UT) |
| | |

[Figure 8] Turntable inspection location

4.4 작업대

사람 또는 필요한 공구 및 자재를 싣고 작업위치로 이동하여 그 안에서 작업이 수행될 수 있는 곳을 말하며 턴테이블과 마찬가지로 회전운동을 한다. 붐과 턴테이블의 작동을 통해 작업위치에 도달하여 미세한 조정이 필요한 경우에 작동하며 작업 상황에 따라 작업대 하부의 연결 부위가 중심점에서 벗어나는 경우가 발생하여 편하 중에 의한 집중응력이 발생하는 부위이다. 아울러 사람이 탑승하여 작업을 수행하는 장소이기 때문에 안전난간대가 설치되어 있고 난간대는 접이식 또는 탈착식으로 되어 있어 운반 또는 설치과정에서 손상이 많이 발생하는 부위이며 용접부는 [Figure 8]과 같다.

| | |
|------------------------------------|--|
| Handrail, Work platform (MT) | ① Welding joint between work platform and boom's end base ② Welded part in work platform handrail |
| | |

[Figure 9] Work platform inspection location

5. 점검 결과 및 분석

안전점검 실시 결과 총 400대 중 45대는 사용자의 거부나 취소에 의해 점검이 불가능하였고 나머지 355대에 대하여 점검을 진행하였다. 점검을 진행한 차량탑재형 고소작업대 중 240대에서 결함이 검출되었으며 나머지 115대는 문제가 없는 것으로 확인되었다. 비율로 보면 결함 장비는 67.61%이며 정상적인 장비는 32.39%에 불과하였다. 정상적인 장비 중에서도 62대는 제조된 지 1~2년이 채 안된 2015년, 2016년식의 최신 장비임을 감안하면 건설사업장에 반입되는 차량탑재형 고소작업대 10대 중 8~9대는 결함이 내재되어 있어 위험성이 있다고 할 수 있다. 점검결과를 규격, 형식, 연식, 제작사, 임대사에 따라 측정결과 값을 분류하고자 하였으며 분류과정에서 조건이 타당하지 않아 형식별, 임대사별 분류는 제외하고 규격, 연식, 제작사별 분류만 진행되었다. 형식별 분류에서 텔레스코프형과

관절지브형 두가지로 분류가 가능한데 관절지브형이 5대 밖에 되지 않아 모수의 차이가 상당하였고, 임대사별 분류에서는 각 지역별 다양한 임대사가 건설사업장에 임대사업을 하고 있어 전체적으로 임대사의 모수가 적은 점을 감안하여 제외하였다. 따라서 각 점검부위의 결함 발생치를 제작사별, 연식별, 규격별로 구분하여 분석하였고 또한 종합적으로 점검부위별 분류에 따른 결과값을 살펴보면 다음과 같이 시사점을 제시하였다.

수의 모수가 균등하지 못해 신뢰성이 떨어져 제작사별 분류에 따른 설비결함 발생의 시사점을 제시하기에는 한계가 있다. 하지만 제작사별 제조 기술능력 및 생산 체계는 그 규모나 자체기준 등에 따라 분명한 차이를 나타낼 것으로 판단되며 이는 출고 전 안전인증 과정에서 안전성 향상을 위한 제도적 강화를 시행을 통해 개선될 수 있다고 본다. 특히나 중대재해 발생시 원인 조사에서 제작사의 설계나 기술능력에 문제가 있다고 판단되면 해당 제작사를 대상으로 특별감독을 시행하는 등의 조치를 하여 근본 원인 개선에 힘써야 한다. 아울러 사고, 결함 통계 등이 매년 조사 수집되고 세분화된 자료 분석을 통해 제작, 설계기준에 반영된다면 차량탑재형 고소작업대의 신뢰성 향상에 도움이 될 것으로 기대된다. 점검을 통한 결함건수 및 발생율을 제작사별로 분류한 결과는 <Table 2>와 같다.

5.1 제작사별 점유율 분석

제작사별 분류에서는 D사가 67.20%로 사용이 많은 만큼 결함 발생율도 가장 크게 나타났고 1대당 평균 결함건수는 B사, C사, G사, H사, K사, M사가 평균치 이상으로 높게 나타났다. 그러나 각 제작사의 점검대

<Table 2> Defect count by manufacturer

| Manufacturer | Quantity | Boom | Outrigger | Turntable | Work platform | Bolt | Other part | Total | Ratio(%) | |
|--------------|----------|------|-----------|-----------|---------------|------|------------|-------|---------------|-------------------------------|
| | | | | | | | | | Total average | Average defect count per unit |
| A | 10 | 7 | 21 | 1 | 2 | 0 | 0 | 31 | 2.78 | 3.10 |
| B | 2 | 5 | 7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 13 | 1.16 | 6.50 |
| C | 53 | 79 | 52 | 77 | 2 | 0 | 0 | 210 | 18.82 | 3.96 |
| D | 247 | 330 | 290 | 95 | 31 | 3 | 1 | 750 | 67.20 | 3.04 |
| E | 19 | 18 | 12 | 21 | 2 | 0 | 0 | 53 | 4.75 | 2.79 |
| F | 3 | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0.72 | 2.67 |
| G | 4 | 5 | 8 | 3 | 0 | 0 | 0 | 16 | 1.43 | 4.00 |
| H | 2 | 7 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0.81 | 4.50 |
| I | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.09 | 0.50 |
| J | 6 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.18 | 0.33 |
| K | 3 | 3 | 5 | 0 | 2 | 0 | 0 | 10 | 0.90 | 3.33 |
| L | 3 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0.45 | 1.67 |
| M | 1 | 0 | 2 | 0 | 6 | 0 | 0 | 8 | 0.72 | 8.00 |
| Total | 355 | 461 | 406 | 200 | 45 | 3 | 1 | 1116 | 100 | 3.14 |

5.2 연식별 점유율 분석

연식별 분류에서는 2013년식 차량탑재형 고소작업대가 23.12%, 2012년식이 20.52%를 차지하였으며 1대당 평균 결함건수는 2010년식~2013년식이 평균치 이상으로 가장 높게 나타났다. 2009년 식의 모수가 적은 점을 감안하면 연식이 오래될수록 결함 평균치가 높은

것을 확인 할 수 있었다. 차량탑재형 고소작업대의 연식별 결과에서 3년 이후인 2013년식부터 이전 연식들이 결함 발생율이 높게 나타났고 점차 결함 발생율이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 3년이 경과한 장비에 대해서 특별한 점검관리 또는 정비관리가 이루어져야 한다는 것을 시사하며 3년이 경과한 장비는 비파괴검사를 반드시 실시하는 것이 바람직하다고 본다.

16년 8월부터 시행된 안전검사 제도에 따르면 최초 장비 출고 후 3년이내 안전검사를 받도록 되어있다. 안전검사 기준에 비파괴검사 의무화를 반영한다면 취약 구조부위 관리에 효과가 있을 것으로 판단된다. 도장, 도색 등으로 인한 장비 외관상의 상태로만 장비의 상태를 판단해서는 안되며 연식이 오래될수록 부품이나 구조부위의 노후화로 인한 강도저하, 피로파괴 등을 불러일으켜 설비결함에 취약할 수 밖에 없는 점을 인식하고 더욱 세밀한 점검과 관리가 필요하다. 또한 이와 반대로

최신 장비는 오래된 장비보다 안전하다는 고정관념에서 탈피하여 해당 장비의 사용빈도를 주축으로 유지보수성, 주 사용환경, 사고이력 등이 고려되어 잔존수명을 예측함으로써 이에 적합한 점검 수준을 적용하는 것이 바람직하다. 연식별 측정결과의 상세내용은 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Defect count by age

| Age | Quantity | Boom | Outrigger | Turntable | Work platform | Bolt | Other part | Total | Ratio(%) | |
|-------|----------|------|-----------|-----------|---------------|------|------------|-------|---------------|-------------------------------|
| | | | | | | | | | Total average | Average defect count per unit |
| 2009 | 3 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0.63 | 2.33 |
| 2010 | 6 | 15 | 12 | 10 | 0 | 0 | 0 | 37 | 3.32 | 6.17 |
| 2011 | 30 | 102 | 61 | 31 | 3 | 0 | 0 | 197 | 17.65 | 5.97 |
| 2012 | 42 | 83 | 84 | 55 | 5 | 2 | 0 | 229 | 20.52 | 5.20 |
| 2013 | 55 | 74 | 118 | 52 | 13 | 0 | 1 | 258 | 23.12 | 4.45 |
| 2014 | 72 | 76 | 61 | 31 | 6 | 1 | 0 | 175 | 15.68 | 2.40 |
| 2015 | 80 | 68 | 38 | 16 | 12 | 0 | 0 | 134 | 12.01 | 1.54 |
| 2016 | 47 | 37 | 31 | 5 | 6 | 0 | 0 | 79 | 7.08 | 1.55 |
| Total | 335 | 461 | 406 | 200 | 45 | 3 | 1 | 1116 | 100 | 3.14 |

5.3 규격별 점유율 분석

규격별 분류에서는 65M, 43M, 40M, 75M, 27M, 29M, 16M급 장비가 평균치 이상의 결함율을 나타내었으며 각 규격별 결과가 일정한 분포나 상, 하향되지 않고 다양한 측정 값을 나타내고 있어 설비결함 발생에 대한 시사점을 제시하기에는 어려움이 있다. 다만 점검 대상에 있어서 45M급이 가장 많이 포함되었으며 실제 45M급 차량탑재형 고소작업대의 보급률이 가장 높은 것으로 확인되었고 제품개발이 얼마 되지 않은 75M급이 사용빈도가 많은 것은 예상외의 결과였으나 이 점을 미루어 볼 때 현대의 건설산업이 날이 갈수록 고층화되고 있다는 것과 고소작업에 용이한 차량탑재형 고소작업대의 최대 작업높이에 대한 지속적인 개발이 요구하고 있다는 것을 알 수 있었다. 규격별 측정결과의 상세내용은 <Table 4>과 같다.

<Table 4> Defect count by size

| Size | Quantity | Boom | Outrigger | Turntable | Work platform | Bolt | Other part | Total | Ratio(%) | |
|-------|----------|------|-----------|-----------|---------------|------|------------|-------|---------------|-------------------------------|
| | | | | | | | | | Total average | Average defect count per unit |
| 15 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 16 | 2 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0.72 | 4.00 |
| 17 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.18 | 2.00 |
| 18 | 3 | 0 | 5 | 0 | 6 | 0 | 0 | 11 | 0.99 | 3.67 |
| 20 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.09 | 0.50 |
| 24 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0.36 | 2.00 |
| 25 | 11 | 8 | 18 | 1 | 3 | 0 | 0 | 30 | 2.69 | 2.73 |
| 26 | 2 | 4 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 6 | 0.54 | 3.00 |
| 27 | 13 | 30 | 14 | 12 | 1 | 0 | 0 | 57 | 5.11 | 4.38 |
| 28 | 25 | 43 | 16 | 7 | 1 | 0 | 0 | 67 | 6.00 | 2.48 |
| 29 | 1 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 4 | 0.36 | 4.00 |
| 30 | 11 | 22 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 31 | 2.78 | 2.58 |
| 35 | 2 | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0.54 | 3.00 |
| 38 | 3 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0.45 | 1.67 |
| 40 | 3 | 13 | 4 | 5 | 1 | 0 | 0 | 23 | 2.06 | 7.67 |
| 42 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0.36 | 2.00 |
| 43 | 2 | 4 | 3 | 9 | 0 | 0 | 0 | 16 | 1.43 | 8.00 |
| 45 | 199 | 236 | 168 | 112 | 22 | 0 | 0 | 538 | 48.21 | 2.53 |
| 65 | 2 | 9 | 14 | 2 | 0 | 0 | 0 | 25 | 2.24 | 12.50 |
| 75 | 48 | 76 | 154 | 40 | 4 | 3 | 1 | 278 | 24.91 | 5.45 |
| Total | 335 | 461 | 406 | 200 | 45 | 3 | 1 | 1116 | 100 | 3.14 |

5.4 부위별 점유율 분석

부위별 결함 점유율은 붐 41.31%, 아웃트리거 36.38%, 턴테이블 17.92%, 작업대 4.03%, 볼트 0.27%, 기타 0.08% 순으로 붐 부위에서 가장 많은 결함이 검출되었다. 이 점으로 미루어볼 때 그 원인으로 용접개소가 많고 응력집중 발생 부위로 피로균열의 기점이 된다고 볼 수 있다. 실제 작업 시 각 구조부위 중에서 가장 빈번하게 작동되는 부위이기 때문에 응력이 집중되어 결함이 발생되었다고 판단된다. 이를 방지하기 위해서는 붐 소재의 강성을 확보하거나 제작기술을 개선하여 용접부위를 최소화 하는 것이다. 하지만 용접부위를 최소화 한다는 것은 붐의 최대 인입길이가 길어지거나 붐 길이의 제한이 필요한데 현실적으로 어려운 것을 감안하면 붐 소재의 강성을 개선하는 것이 적합하다고 할 수 있다. 장비의 설계단계에서 붐의 항복강도를 증가시키면서 응력 계산을 통해 최적설계 반

영으로 제한된 소재나 획일화된 설계의 기준을 제도화하여 안전성을 확보해야 한다. 붐 부위 다음으로 결함 발생이 높은 아웃트리거의 경우는 소재의 개선과 더불어 안전장치의 개선이 필요하다. 장비의 전도모멘트를 지탱하는 역할로 작업 반경에 따른 하중에 의한 영향이 가장 크고 피로균열로써 발생한다고 할 수 있다. 현재의 차량탑재형 고소작업대의 아웃트리거 안전장치 기능은 아웃트리거를 설치하지 않으면 붐의 조작이 불가능하도록 제어하고 있다. 그러나 아웃트리거 인출량에 관계없이 설치만 되어 있다면 붐의 인출은 최대로 사용이 가능하도록 되어 있어 이 부분의 제어장치가 필요한 실정이다.

안전장치의 개선을 통해 아웃트리거 인출량에 따라 작업반경이 제어된다면 아웃트리거가 받는 전도 모멘트를 줄여 피로균열에 의한 결함의 감소 또는 지연 효과를 불러올 수 있다고 본다. 부위별 측정 결과의 상세 내용은 <Table 5>와 같다.

<Table 5> Defect count by location

| Division | Boom | Outrigger | Turntable | Work platform | Bolt | Other part | Total |
|--------------|-------|-----------|-----------|---------------|------|------------|-------|
| Defect count | 461 | 406 | 200 | 45 | 3 | 1 | 1116 |
| Ratio(%) | 41.31 | 36.38 | 17.92 | 4.03 | 0.27 | 0.08 | 100 |

6. 분석결과에 따른 안전성 향상 방안

제작사별 분류에서 13개사 중 6개사가 결함 발생을 평균치를 웃돌았다. 각 제작사의 제조 기술능력 및 생산체계는 차이가 있을 것으로 보고 출고 전 안전인증시 상황평준화를 위해 인증항목의 제도적 개선과 강화를 지속적으로 시행해야 한다. 또한 재해발생시 재해원인 조사를 면밀히 진행하여 제작사의 설계 또는 기술 능력에 검토가 필요한 경우 해당 제작사를 대상으로 특별감독 등을 통해 근본원인을 개선하고 조치함으로써 제조단계에서의 초기 안전성 효과를 기대한다.

점검결과의 연식별 분류를 통해 분석한 결과 결함발생 시기에 대한 선행연구 결과와 일치함을 검증하였다. 검증된 결과에 따라 차량탑재형 고소작업대는 3년이 경과한 장비에 대해서 특별 점검대상으로 분류하고 비파괴검사를 시행하는 것을 권장한다. 아울러 안전검사 제도에 명확한 부위의 비파괴검사를 반영하여 정기적인 설비결함 예방을 위한 관리를 실시해야 한다. 또한 사용빈도, 유지보수성, 주 사용환경, 사고이력 등을 고려하여 잔존수명 예측에 따른 차등 점검관리가 필요하다.

부위별 분류를 통해 차량탑재형 고소작업대의 붐과 아웃트리거 부위가 가장 많은 결함이 발견되었고 실제 작업 시 각 구조부위 중에서 가장 빈번하게 작동되는 부위이기 때문에 응력이 집중되어 결함이 발생되었다고 판단된다. 이를 방지하기 위해서 붐과 아웃트리거 소재의 강성을 개선하는 것이 적합하다고 할 수 있다. 또한 아웃트리거의 경우는 소재의 개선과 더불어 안전장치의 개선이 필요하다. 장비의 전도모멘트를 지탱하는 역할로 작업반경에 따른 하중에 의한 영향이 가장 크고 피로균열로써 발생한다고 할 수 있다. 안전장치의 개선을 통해 아웃트리거 인출량에 따라 작업반경이 제어된다면 아웃트리거가 받는 전도 모멘트를 줄여 피로균열에 의한 결함의 감소 또는 지연 효과를 불러올 수 있을 것이다.

넷째, 고소작업대의 안전성 확보와 전국 고소작업대의 제반정보 전산화를 통해 유지, 보수, 검사 등의 추적관리와 결함사전인지를 위해 고소작업대 이력관리의 활용을 제안한다. 이를 바탕으로 차량탑재형 고소작업대의 점검이력을 위해 작업이 이루어지는 작업장명과 타입별 형식 분류 및 차량년식, 규격, 제작업체의 형식별 특징, 점검년월일, 점검부위, 상태, 조치내용, 점검자 기능개조 여부를 DB화 시켜 관리 할 것을 제안한다. 아울러 준비단계에서 체크리스트에 의한 과거결함 이력 데이터의 1차 결함 점검과 이들 이력 항목의 확인과 부위 상태별 조치를 확인케 하고 안전점검에서 이력데이터를 중심으로 점검을 실시하여 결과기록 및 운전원의 사실 확인을

통해 사후 관리가 되도록 점검프로세스의 적용을 권고한다. 이는 차량탑재형 고소작업대의 점검 결과에서도 붐, 아웃트리거, 턴테이블, 작업대, 볼트 등에서 기계적 결함이 발견됨을 볼 때 획일적 관리 점검에 의한 점검 관리에서 벗어나 작업 기기별 장비 점검관리 기준을 새롭게 마련하고 적용해야 함을 시사한다.

그리고 본 연구를 통해 검증된 세밀한 관리가 요구되는 사항들에 대해 사업장에서의 구체적인 안전성 향상 방안을 제시하면 다음과 같다. 차량탑재형 고소작업대의 사용계획 수립 단계에서 의무사항인 안전인증, 안전검사, 자동차검사 등의 의무사항 이행의 확인과 반입 예정된 장비의 기본정보 이력과 과거 결함이력 등의 정보를 확인하고 이러한 이력정보를 통하여 파악된 과거 문제점 발생에 대한 부분의 결함 소지여부를 가늠하여 조치 확인 및 확인사항에 대한 내용을 제공자에게 사전 통보한다. 이 과정에서 필요시 정비이력 및 사진 등의 조치 근거 자료들을 요구하여 확인하는 것도 바람직하다. 차량탑재형 고소작업대의 사업장 반입 후에는 자료 및 정보수집 과정에서 파악된 내용이 적절하게 조치되었는지 여부를 확인해야 한다. 첫째, 준비단계에서 확인된 내용을 토대로 점검진행 사항과 방법 및 소요시간을 피수검자에게 전달하여 협조를 요구한다. 피수검자인 운전원 및 탑승 근로자, 관리자가 내용을 인지하고 점검자의 일방적 전달방식이 아닌 관계자가 모두 참여할 수 있도록 유도해야 한다. 특히 운전원을 통해 과거 또는 현재 결함 및 개조 등의 이력에 대한 사실을 재확인토록 하고 발생된 문제점에 대해서는 1차적으로 안전성 및 조치가능 여부를 평가하여 사용여부를 판단하여야 한다. 다음으로 점검 체크리스트에 의한 순차적 점검을 실시하도록 하며 표준점검체크리스트에 의한 기능상태, 안전장치 등을 먼저 점검하고 비파괴검사 기술을 활용하여 각 구조부 용접부위에 대한 검사를 실시한다. 이는 안전점검 요인의 실측을 통해 시사된 비파괴검사의 주기를 설정하여 관리할 수 있다. 본 연구에서 제시된 설비결함 발생율이 증가되는 사용연수는 3년이나 차량탑재형 고소작업대의 특성상 주로 일 단위의 임대 사용을 하기 때문에 사용 과정에서 수많은 경로를 통해 어떠한 환경을 거쳐 왔는지가 불명확하다. 따라서 매 사용 전 비파괴검사를 실시하는 것을 권장하고 연속작업인 경우에는 최초 사용 전 실시 후 적절한 주기를 지정하여 실시하는 것이 효율적이라고 판단된다. 점검을 통해 기능의 불량이나 결함이 확인된 장비는 그 정도에 따라 현장조치 또는 사용제한 등을 판단할 수 있을 것이나 경험적, 기술적인 판단의 필요가 있기 때문에 반드시 전문가의 의견을 들어야 한다. 안전점검 과정에서는 체크리스트에 점검자, 점검

결과, 조치결과 등을 명확히 기록하여 사후관리에 효과적으로 기여할 수 있도록 해야 한다.

안전점검의 결과로써 파악된 해당 차량탑재형 고소작업대의 이력 데이터 관리를 위해 별도의 D/B를 생성하여 구체적인 기록을 실시하고 본 연구에서 도출된 점검 대상 고유성질 요인인 제작사, 임대사, 연식, 규격, 형식, 부위에 따라 정보를 분류하여야 한다. 이러한 절차에 따라 수집된 데이터는 제공자인 임대사, 제작사에 정보를 제공하여 향후 개선관리를 요구하여야 한다. 제작사, 임대사별 분류에서 상대적으로 불량률이 현저하게 높게 나타나는 회사는 특별관리를 요구하여야 한다. 제작사 측면에서는 제조공정에서의 설계 또는 재질개선, 사전 정비서비스를 통해 개선될 수 있을 것이다. 임대업자 측면에서는 종업원이나 사업주에 대해 자체적으로 정비 및 안전점검 교육과 조종 훈련을 통해 철저히 안전작업에 임할 수 있도록 하고 사용자는 필요시 안전의식이 부족한 운전원에 대해 조치를 요구하여야 한다. 이러한 프로세스를 통해 순환식의 안전관리가 시행된다면 차량탑재형 고소작업대의 안전성 향상에 매우 도움이 될 것으로 기대된다.

7. References

- [1] Byung-kwon Kang, (2014), "The reliability verification related with Non-destructive testing methods of the composite blades for wind power generation", Namseoul University
- [2] Hee-yang Go, (2015), "Prediction of system component reliability based on the types and distributions of failure", Kyonggi University
- [3] Kwan-young. Kim, (2007), "A Study on the Improvement of the Dangerous Machines, Implements and the Equipment Inspection Systems", Korea National University of Transportation
- [4] Sang-yeol Kim, (2008), "Residual Life Estimation for Crane via Propagation Analysis of Fatigue Crack", Pusan National University
- [5] Yong-chul Min (2015), "A Study on the Improvement of Safety Working Procedure for Scissors Type Mobile Elevated Work Platform (MEWP)", Eulji University
- [6] Yong-jin Oh, (2013), "Analysis of Lifetime of a Truck Crane", Chungnam National University
- [7] Jung-ho Cho, (2014), "A Empirical Study on Safety Improvement for Vehicle-mounted Elevated Work Platform", Myongji University
- [8] Man-chul Han, (2014), "A study on securing safety to prevent safety related accident of MEWP(Mobile elevated work platform)", Seoul National University of Science and Technology
- [9] Kyung-goo Han, (2015), "A Basic Study on the Evaluation of Reliability of the Construction Equipments in Korea(Focused on the Damage Cases of Excavators)", Seoul National University of Science and Technology

저자 소개

유 용 태



명지대학교 산업대학원 산업경영
시스템공학과 석사 취득. 명지대학
교 일반대학원 산업경영공학과 ·박
사 취득. 현재 삼성물산 재직 중.
관심분야 : 건설안전, 산업안전,
기계안전, 안전경영 등

강 경 식



인하대학교 산업공학과에서 학사
석사박사와 연세대학교경희대학
교에서 경영학 석사박사 취득.
North Dakota State Univ.에서
Post-Doc과 Adjunct Profes
sor 역임. 현재 명지대학교 산업
경영공학과 교수로 재직 중.
관심분야 : 생산관리, 물류관리,
안전경영 등

서 수 은



서울과학기술대학 철도전문대학원
철도건설 석사 취득. 세종대학교
토목환경공학과 도로포장 석사 수
료. 명지대학교 산업경영공학과 건
설안전 박사 취득. 현재 유한대학
교 재직 중.
관심분야 : 건설안전, 도로 및 공
항, 철도건설, 토목시공

유 희 재



강원대학교 건축공학과 학사 졸
업, 강원대학교 산업대학원 건축
공학과 석사 졸업. 현재 한국토지
주택공사 전문위원(1급) 재직 중.
관심분야 : 건설안전, 재해조사
등