타워크레인의 기울어짐 측정 시스템 개발

신운철† · 홍용수*
한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 · *한국산업안전보건공단
(2010. 11. 12. 접수 / 2010. 12. 16. 채택)

The Development of the Slope Monitoring System(SMS) of the Tower Crane

Woon-Chul Shin† · Yong-Soo Hong*
Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency
*Korea Occupational Safety and Health Agency
(Received November 12, 2010 / Accepted December 16, 2010)

Abstract : The purpose of this study if to prevent dangerous accident of the overthrow of the tower crane in summer's hurricane. We develop the SMS in order to give automatic alarm system to operator within the dangerous range and to give a information of the exactly slope in the real time. The slope value of the tower crane is compose of direction, pitch by the front and rear, roll by the right and left and synthesis by the its pitch and roll. Especially, the synthesis eliminate the effect of the wall tie or wire bracing. So, this value should correctly indicate the actual slope. In this study, more applying field test should be applied with the SMS. In the future, a more measurement device can be applied to, and be able to feed more alarm criteria for the review of the risk in the field.
Key Words : tower crane, SMS(slope monitoring system), alarm system, actual slope

1. 서 론

최근 우리나라에서는 아파트, 오피스텔 등이 급속도로 고층화되고 있고 이러한 건축물 공사에서 건설기자재를 운반할 경우 대부분 타워 크레인을 이용하고 있다. 태풍 등과 같은 자연재해나 부적절한 중량물 운반 등과 같은 원인으로 인하여 타워크레인이 종종 전복되었으며 이로 인한 물적 및 인적 손실이 막대하였다. 그러므로 이에 대한 대책이 시급한 실정이다.

건축물이 고층화됨에 따라 타워크레인의 높이도 점점 높게 설치되면서 자립고 이상에서는 중간에 지지를 하여야 하나 지지에 의해 어느 한 측면으로만 기울어 질 수 있는 데 이를 감지하는 장치가 없는 것도 사실이다.

또한 타워크레인은 설치 시부터 어느 방향으로도 기울어짐이 없이 설치하여 안전성을 가져야 하지만 설치 시 사용하는 기포 수평계로는 수평을 정확히 잡지를 못해 어느 방향으로 편향이 발생하였는지 정확하게 확인하기 어려운 상태이므로, 대부분의 타워가 어느 방향으로든 약간씩은 기울어 질 수밖에 없고 이러한 현상으로 인하여 실제로 타워는 부분적으로 집중 응력을 받아 안전성에 문제가 발생할 수 있다.

고층 타워크레인일수록 바람에 의해 하중을 받는 타워크레인의 풍압 면적이 증가하고 높이도 증가하므로 이에 비례하여 풍하중의 크기도 증가한다. 바람의 영향성에 대한 안전장치로는 풍속계가 있지만 풍속계는 풍속계가 설치된 곳에서의 풍속만을 측정하는 계측기로 바람에 의해 타워크레인이 어느 정도 기울어지는지는 나타내지는 못 한다.

또한, 풍하중과 작업하중을 동시에 고려하여 합성 하중에 대한 기울어짐의 측정이 필요하나 종합적으로 고려하는 타워크레인 기울어짐 측정 장치가 없어 타워크레인의 안정성 여부를 정확하게 판정할 수 없는 실정이다.

타워크레인에 부착된 과부하용 판 스위치는 작업하중과 지브 거리의 곱에 비례하여 작동하도록 되

† To whom correspondence should be addressed.
s88119@kosha.net

어 있어 과부하에 의한 전도 위험성을 확인할 수 있도록 되어 있으나 현재 판 스위치의 설치 위치가 타워크레인의 탑부에 설치되어 구조적으로 타워 전체의 기울어짐에 대해 정확히 비례되지 않으므로 기울어짐을 정확하게 나타내지 못하는 단점을 가지고 있다.

이러한 이유로 타워크레인 운전자는 실제의 기울어진 정도를 모르고 안전 영역에 운전상태 인지를 모르는 불안감에 대한 심리적 큰 부담감을 갖고 있다.

따라서 본 연구는 여름철과 같이 태풍이 자주 발생할 때 바람 등에 의한 타워크레인의 기울어짐을 정확하게 나타내고 기존의 풍속계가 타워크레인의 기울어짐을 근원적으로 감지하지 못하는 단점을 개선하여 운전자에게 실시간으로 정확한 기울어짐 정보를 제공함과 동시에 위험 범위 내에서는 자동으로 경보하는 시스템을 개발하여 현장에 적용할 수 있도록 하고자 하였다.

2. 기울어짐 측정 시스템

2.1. 시스템 구성

Fig. 1은 기울어짐 측정 시험에 사용한 측정 시스템(SMS)을 보여주는 그림이며, Fig. 2는 측정 시스템 구성 Diagram이다. 측정 모듈은 각종 센서가 장착되어 있고 측정값은 연결선인 RS232C 등을 통하여 표시장치인 컴퓨터에 전송되도록 구성하였다. 현장 시험의 경우 측정모듈과 컴퓨터 사이의 거리가 수십 m을 초과하는 경우가 있어 통신 방식을 485 통신으로 변경하여 사용할 수 있도록 하였다.

Fig. 3은 타워크레인에 SMS를 설치하여 지브(jib)의 기울어짐과 회전 정도를 측정할 수 있는 센서를

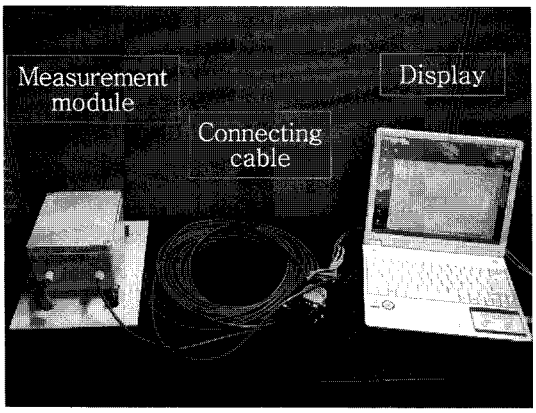

Fig. 1. Tilt measurement module and Monitoring system.

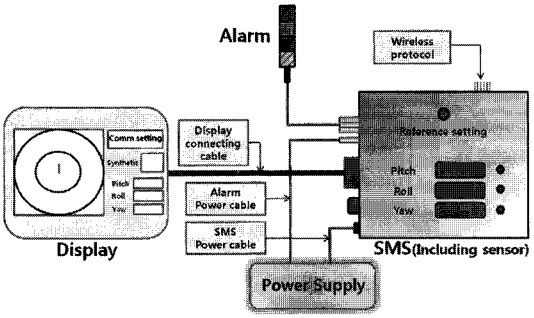

Fig. 2. Slope monitoring system diagram.

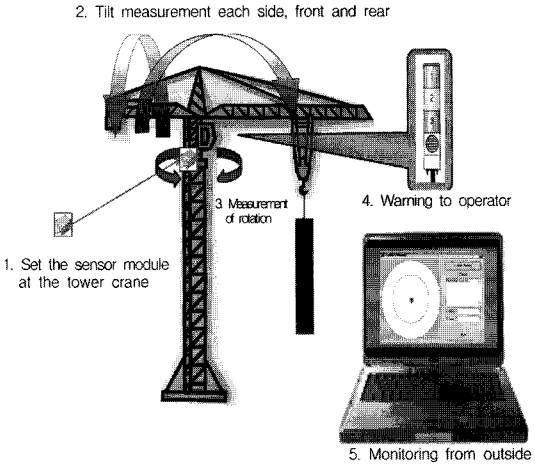

Fig. 3. Tower crane tilt measurement system.

통해 측정하고 측정된 자료를 기존에 설정된 안전 범위와 비교하여 운전자에게 경보로 알려주거나 외부 모니터로 나타낼 수 있도록 시스템을 구축하였다.

Fig. 4는 측정 표시에 있어 각 모듈의 기능을 나타낸 것으로 타워크레인의 운전자를 기준으로 좌/

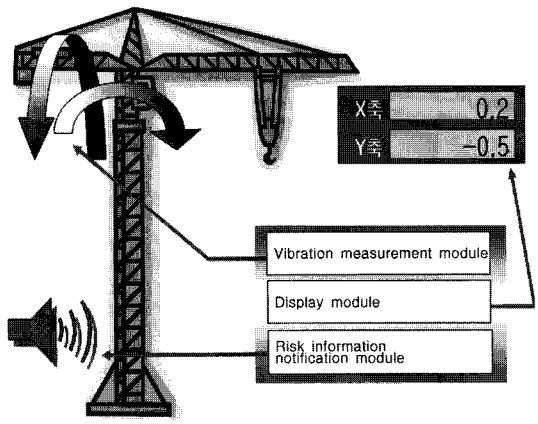

Fig. 4. Display modules.

우는 x축으로 설정하고 메인지브가 기울어지는 전/후를 y축으로 하였으며 마스트의 길이방향을 z축으로 설정 하였다. 표시는 측정 모듈로부터 x, y축의 기울어짐의 각도와 선회 방향의 방위각을 나타내고 있다.

2.2. 기울어짐 측정기의 사양

현장의 타워크레인이 바람과 작업하중 등에 의해 y축의 기울어짐이 일반적으로 수평을 기준하여 10°를 넘지 않고 있으므로 기울어짐에 의한 Full scale를 10°로 정하였다. 타워크레인의 x, y 방향의 기울어짐 측정을 위해 스팩트론사의 2축 전해질을 이용한 기울기 센서와 기울기 센서의 출력 신호 확인을 위한 hi-Line사의 2축 신호 확인 모듈인 SA 40011은 분해능이 0.02°인 것을 이용하여 Full scale 0.05~2° 내에서 5% 미만의 정확성을 나타내도록 시스템을 구현하였다.

현장 시험은 국내의 타워크레인에서 대표 기종인 290HC를 대상으로 무부하시에 z축이 대략 1.0° 이내의 기울어짐을 가지고 있으며 시험에 사용된 타워크레인의 y축으로는 0.8°로 기울어져 있다.

개발한 제품의 신뢰성을 확인키 위해 비교 시험에 사용된 기준 기울어짐의 각도는 최소 목측 분해능이 0.01°인 Fig. 5와 같은 고니오메타(Gonio meter)를 이용하여 고니오메타의 기준 값과 개발된 제품의 출력치를 비교하였다.

비교 시험에서 고니오메타 위에 개발 제품을 올려놓고 정면 우측에 부착된 손잡이(knob)를 수동으로 돌려 임의 기울어짐 값을 줄 수 있도록 하였다.

또한 초기 무부하 또는 부하 시에도 기울어짐을 측정할 수 있고 이를 세팅 하는 것 또한 쉽게 조정할 수 있게 측정 시스템을 구성하여 모든 타워크레인에 적용이 가능하도록 하였다.

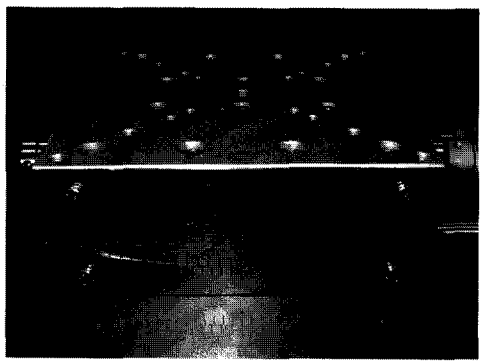

Fig. 5. Gonio meter.

2.3. 선회 방향 측정기의 사양

선회 방향은 일반적으로 타워크레인 운전자가 이해하는 정도로 어느 방향성만 알면 운전에는 크게 문제가 없다.

선회 방향 측정용 센서 KMZ 51은 얇은 퍼멀로이 박막(Thin-film Permalloy)의 자기저항 효과를 이용한 필립사의 자기장 센서이다[1,2]. 센서 내부는 하나의 자기저항 휘스톤 브리지(Magnetoresistive wheatstone)와 측정된 방위를 초기화하기 위한 set/reset 코일과 출력 발생을 위한 전류궤환 루프 및 자기장 측정을 위한 포상 코일로 구성되어 있다[3].

이와 같은 전자나침반 센서로 0.5° 미만의 분해능과 ±1.5°의 정확성을 갖는 타워크레인 회전 정도 측정 시스템을 구현 하였다[4].

3. 시험 및 결과

3.1. 기울어짐 및 결과

기울어짐 시험은 고니오메터의 상부에 개발품을 올려놓고 x, y축을 대상으로 고니오메터를 0.02°(5회 반복 측정), 0.1°, 0.3°, 0.5°씩 각각 증분하며 고니오메타의 각도와 개발된 제품의 출력 값을 비교하여 나타낸 그림이다.

전체적으로 4.25°까지 개발된 제품과 고니오메타의 읽음 값이 매우 잘 일치하고 있으며 0.25° 이하의 범위에서도 잘 일치하게 나타났다.

고니오메터를 참값(Y)으로 하고 개발된 제품에서

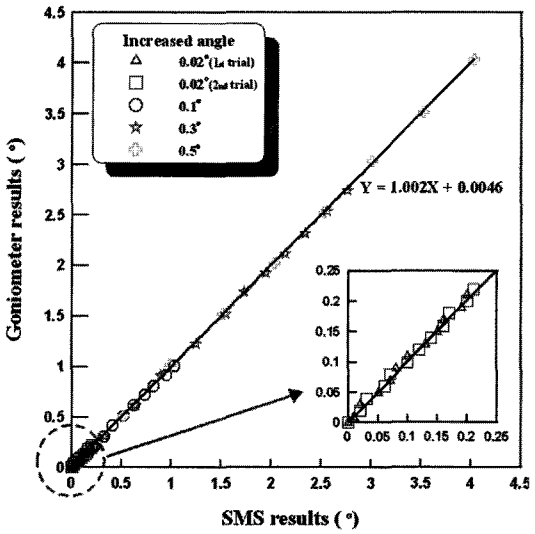

Fig. 6. Comparison of measurement results about Goniometer and developments.

출력되는 기울어짐 값을 비교 값(X)로 하였을 때 참 값과 비교 값은 식 (1)과 같은 관계를 나타내었다.

$$Y = 1.002X + 0.0046 \quad (1)$$

x, y축상으로 시험한 결과는 식 (1)과 거의 같게 나타났다. 또한 x, y축상에서 기점을 기준하여 위·아래의 측정차도 거의 같게 나타났다.

Fig. 6에서 나타난 것과 같이 고니오메타의 읽음 값과 개발된 제품의 출력 값은 1차 선형관계를 매우 잘 유지하고 있으며 선형화된 식의 기울기는 1.002로 두 값 사이에 큰 차이가 없음을 보여준다.

전체 시험된 범위에서 0° 부근이 가장 오차가 많이 발생하나 오차의 값이 0.01° 수준으로 최소 읽음 값인 0.02° 미만이어서 측정 오차에 거의 영향을 주지 않고 있으며 더욱이 1°에서 4° 사이에서는 매우 잘 일치하였다. 그러므로 사용상 타워크레인의 한계치가 1° 이상인 경우에서는 사용에 무리가 없을 것으로 사료된다.

3.2. 현장시험

현장 적용 시험으로 국내 건설현장에서 가장 많이 사용하는 대표 기종(290HC)을 보유한 부천시 소재 D 아파트 재건축 건설 현장에서 수행하였다. 개발품에 대한 시제품(Prototype)제작 시부터 최종 완성품이 나오기 까지는 H 교육원에 있는 체험 교육용 타워크레인을 이용하여 시험을 실시하였다.

290HC는 국내에 대략 4,000대 정도 있으며 이중 약 3,000대가 사용 중인 것으로 파악되고 있다.

이 기종은 전기 용량이 65kW로써 중간에 와이어가잉(wire guying)의 지지를 실시한 타워크레인으로 시험 대상 타워크레인의 명세는 Table 1과 같다.

시험 중 풍속은 7~10m/s로 불었고 풍향은 수시로 변동되고 있었다. 기온은 11월초의 90m 상공으로 10℃ 내외였다. 시험은 선회, 무부하, 부하시 순으로 측정하였다.

타워크레인의 무부하 및 부하시의 시험 결과를 Fig. 7과 8에 나타내었다.

무부하시는 풍하중과 자중에 의한 초기 기울어짐을 확인할 수 있는 상태가 되어 타워크레인의 안전성을 판단하는 기준이 될 수 있는 조건이다.

Table 1. 290HC Tower crane details (unit: meter)

Model	Capacity (ton)	Length of main jib	Length of counter jib	Free standing	Field set height
290HC	12	70	23.3	66.2	92

무부하시의 측정된 결과를 보면 전후의 기울어짐인 Pitch가 -0.84°로 나타나고 있다. 이 값은 타워크레인이 카운터 지브 측으로 0.84° 기울어졌음을 나타낸다.

이 값은 타워크레인의 기울어짐 정도를 비교하기 위한 기준이 될 수 있으므로 이 초기 기울어짐의 각도를 안정성의 판정 기준 각도로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

또한 Roll인 값이 -0.025°로 나타나 좌측을 음의 값으로 정의하였기 때문에 좌측으로 기울어진 것을 의미한다. 현재 이 값은 무부하 상태이므로 풍압에 의한 기울어짐을 의미한다. 따라서 현재 바람이 우측에서 좌측으로 부는 것으로 이때의 풍속은 7~8m/s이었다.

부하시는 Fig. 8에서 보듯이 전후의 기울어짐인 Pitch가 -0.127°로 나타나고 있고 Roll은 -0.198°로 대략 10m/s의 바람이 불었다.

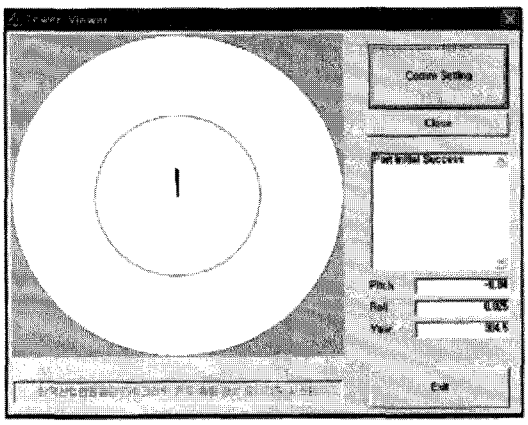

Fig. 7. Using SMS to measure at unloading.

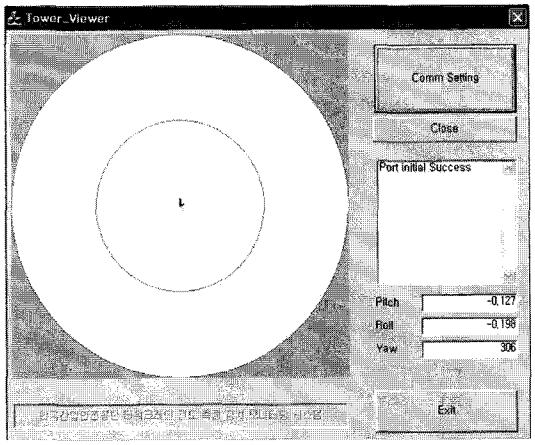

Fig. 8. Tilt output window of Tower crane with load.

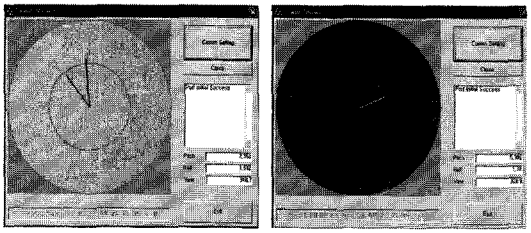

Fig. 9. If the tilt is 2° or 5° at front and rear.

실제로 타워크레인의 기울어짐은 풍하중과 작업하중의 합성력에 의해 나타나고 있기 때문에 두 하중의 벡터 합성으로 구하여야 한다.

부하 시 풍하중에 의한 기울어짐과 작업하중에 의한 기울어짐을 합성한 결과 기울어짐이 -0.235°로 나타났다. 이 결과는 메인 지브의 기울어짐만을 고려한 것과 비교할 때 풍하중을 고려한 측면방향의 기울어짐을 고려함으로서 타워크레인이 약 185%가 더 기울어진다는 것을 이번 연구를 통해 알 수 있었다.

Fig. 9는 타워크레인의 과부하시의 프로그램에 나타난 시험 결과를 보여주는 그림이다.

Fig. 9의 좌측은 과부하에 의해 합성 기울기가 2°를 넘는 경우를, 우측은 5°를 넘는 경우를 나타내고 있다. 타워크레인의 종류나 형태가 다양하기 때문에 편의상 구별하기 위해 2°와 5°를 기준 값으로 표현하였다. 그러나 현재 개발된 SMS는 현장 조건에 맞는 값으로 설정이 가능하므로 설계도서 등을 근거로 하여 1차와 2차의 경보 각도를 설정할 필요가 있다.

3.3. 선회방향

360°를 선회하면서 SMS가 나타내는 방위각을 20회 측정한 결과 기준 값과 비교하여 평균 5.2°의 오차로 1.4%의 오차율로 나타났다.

그러나 타워크레인에서 선회동안 발생하는 방위각의 오차는 전체 기울어짐의 방향 결정에 큰 영향을 주지는 않는다.

Fig. 7에서 무부하시 타워크레인의 방위각(Yaw)을 나타내는 것으로 현장 시험 시 표시가 304.5°로 나타난 것은 메인 지브의 위치가 자북에 대해 304.5°로 놓여 있다는 것을 말한다.

4. 결 론

이 연구는 여름철 태풍이 자주 발생할 때 바람에 의한 타워크레인의 과도한 기울어짐을 예방하고 이로 인한 전도 위험성을 사전에 경보하기 위하여 수행되었다. 기존의 풍속계가 타워크레인의 전도 위험성을 근본적으로 예방할 수 있는 장치가 되지 못하기 때문에 기울어짐을 근원적으로 감지하여 운전자에게 실시간으로 정확한 기울어짐 정보를 제공함과 동시에 위험 범위 내에서는 자동으로 경보하는 시스템을 개발하고자 하였다. 이러한 목적을 달성하기 위해 측정 장치(SMS)를 개발하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 개발된 측정 장치의 분해능은 0.02°이며, 합성한 기울어짐 값은 고니오메타로 비교 시험한 결과 전체 측정 범위에서 2% 이내의 오차범위 내에서는 잘 일치 하였고 표준편차는 0.33으로 나타났다.

둘째, 개발한 기울어짐 측정 시스템(SMS)은 선회방향각에 대해 분해능 0.5°의 정도를 갖고 있으며 현장 시험에서 전체 360도에 대해 약 5°의 오차로 오차율은 1.4%이었다.

셋째, 현장시험에서 290HC 타워크레인에 대한 무부하시의 기울어짐은 0.84°이었다. 부하시는 -0.127°이었고 시험 당시의 풍속이 10m/s이었을 때 타워크레인의 기울어짐은 -0.198°로 나타났으며 합성 기울어짐은 -0.235°로 되어 메인 지브의 기울어짐만을 고려한 것과 비교할 때 풍하중을 고려한 측면방향의 기울어짐을 고려함으로서 타워크레인이 약 185%가 더 기울어지는 것으로 나타났다.

넷째, 타워크레인의 운전상 안전에 대한 위험의 경보 기준에서 가장 안전한 경보 기준은 무부하의 기울어짐을 기준하여 정하는 것도 한 가지 방법이 될 수 있다.

참고문헌

1) Knoepfel, Heinz E., "Magnetic Fields", Wiley, 1993.
2) 염민수, "Permalloy/Cu 다층막 자화반전의 미세구조", 한국자기학회지, 제11권, 제5호, pp. 179~183, 1999.
3) 조현정 등 4명, "자기 컴퍼스(EMC-10)의 성능과 그 개선에 관한 연구", 1999년도 춘계 수산관련학회 공동학술대회 발표요지집, 제2권, pp. 81~85, 1999.
4) Ripka (ed), Pavel, "Magnetic Sensors and agnetometers", Measurement Science and Technology, 2002.