이중 링크 형식 수평 인입 집 크레인의 링크 구성 설계에 관한 연구(Ⅱ)

A study on the link composition design of a double link type level luffing jib crane (Ⅱ)

허철원 · 최명수 · 문덕홍

C. W. Hur, M. S. Choi and D. H. Moon

(접수일 : 2010. 11. 2, 수정일 : 2010년 12월 29일, 채택확정 : 2010년 12월 29일)

Key Words : LLC (수평 인입 크레인), Jib Crane (집 크레인), Link Composition (링크 구조 구성), Double Link Type(이중 링크 형), Crane Design(크레인 설계)

Abstract : It is very important to determine link composition of a crane in the basic design of the crane. There are many parameters in the design for the link composition of a double link type level luffing jib crane. We analyze the variation of link composition according to the variation of these parameters which are the angle of fixed link, the angle between the fixed link and backstay when the position of the crane is the maximum working radius, the ratio of fly jib length between two moving hinges to the total length of fly jib, the length of backstay, and the slewing radius. In this paper, we describe the application of the previous analysis program of the link composition design for a double link type level luffing jib crane

1. 서 론

집 크레인의 기본 링크 구성 설계에 있어 다양한 설계 변수 변화에 따른 링크 구성을 구하는 일은 집 크레인의 기본 설계중 매우 중요한 사항이다.

선행 연구¹⁾를 통해 저자들은 고정 링크(Fixed link)의 각, 최대 작업 반경에서 고정 링크와 백스테이(Back stay)가 이루는 각, 플라이집(Fly jib)의 유동 힌지간의 길이와 총 길이의 비, 백스테이의 길이를 매개 변수로 하여 이 매개 변수와 선회 반경 변화에 따른 플라이집 끝단의 인입 궤적 그리고 중간 무오차점에 따른 인입 궤적을 해석하였다. 해석프로그램은 도해적 합성법을 이용하였고 축소모델과 CAD에 의해서 검증하여 그 유효성을 확인한 바 있다.

이 논문은 이전 보고에서 개발된 해석프로그램을 이용하여 실제 실용 가능한 집 크레인에 대하여 여러 가지 설계조건의 변화에 대한 링크 구성 설계를

검토하여 해석프로그램의 유용성을 확인한다. 고정 링크의 각, 최대 작업 반경에서 고정 링크와 백스테이가 이루는 각, 플라이집의 유동 힌지간의 길이와 총 길이의 비, 백스테이의 길이를 매개 변수로 하여 이 매개 변수와 선회 반경 변화에 따른 주집의 각도, 백스테이의 각도, 플라이집의 각도 변화를 해석 고찰한다. 그리고 상기 매개 변수와 백스테이의 길이 변화에 따른 플라이 집 끝단의 높이, 백스테이의 길이, 선회 중심선에서 주집의 하부 힌지 중심까지의 수평 거리, 플라이집 중심선에서 주집의 상부 힌지 중심까지의 수직 거리, 주집(Main jib)의 길이 변화도 해석 고찰한다. 끝으로 매개 변수와 백스테이의 길이 변화에 따른 플라이집의 길이 변화를 고찰한다.

2. 설계 변수에 따른 링크 구성의 변화

Fig. 1은 해석 대상인 집 크레인의 프레임 모델을 나타내고 있다. 여기서, L_1 은 고정 링크 길이, L_2 는 주집의 길이, L_3 는 유동 힌지 중심간 거리, L_4 는 백스테이의 길이, L_5 는 플라이집의 길이, L_7 은 플라이

문덕홍(교신저자) : 부경대학교 기계시스템공학과
E-mail : dhmoon@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6190
허철원 : (주)금원엔지니어링
최명수 : 전남대학교 해양경찰학과

집의 중심선에서 주집의 상부 힌지 중심까지의 수직 거리이다. X_1 은 선회 중심선에서 주집의 하부 힌지 중심까지의 수평 거리이고, X_4 는 선회 중심선에서 백스테이의 하부 힌지 중심까지의 수평 거리이다. H 는 주집의 하부 힌지 중심에서 플라이집 끝단까지의 수직 높이이고, W_p 는 최소 선회 반경에서 중간 무오차점까지의 거리이다. β 는 플라이집의 유동 힌지간의 길이와 총 길이의 비이고, θ_1 는 고정 링크의 각, θ_{14} 는 최대 작업 반경에서 고정 링크와 백스테이가 이루는 각이다.

Fig. 1 Frame model of crane

Fig. 2 Link composition of crane

Fig. 2는 4R(revolution) 메카니즘²⁾인 이중 링크 형식 수평 인입 집 크레인의 링크 구성을 나타내고 있다. 여기서, θ_2 는 주집의 각도, θ_4 는 백스테이의 각도, θ_5 는 플라이집의 각도이다.

이 연구에서는 도해적 합성법³⁾을 이용하여 규정한 3개의 무오차 점을 통과하는 경로 발생에 대해 주집의 하부 힌지 중심의 위치가 설정한 고정 링크

의 기울기 상에 존재하도록 링크를 구성한다. Fig. 1에 주어진 모델에서 수평 인입 집 크레인의 작업 영역인 최대 선회 반경은 35m, 최소 선회 반경은 10m(플라이집 끝단의 최대 및 최소 선회 반경은 로프 리빙을 감안하여 각각 34.775m 및 9.775m로 함), 선회 중심선에서 백스테이의 하부 힌지 중심까지의 수평 거리(X_4)는 5.3m로 두고, 링크 구성을 다양한 매개 변수 변화에 따라 가상 위치법⁴⁾으로 수치 계산하여 링크 구성의 변화를 해석한다.

2.1 주집의 각도 변화

Fig. 3는 매개 변수(θ_1 , θ_{14} , β , L_4)와 선회 반경 변화에 따른 주집의 각도(θ_2) 변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 3로부터 상기 매개 변수 변화에 따른 주집의 각도 변화를 정리해 보면 다음과 같다.

- (1) β 및 θ_{14} 가 증가할수록 θ_2 는 증가한다.
- (2) 최소 선회 반경 쪽으로 갈수록 L_4 가 증가함에 따라 θ_2 는 감소하지만, 최대 선회 반경 쪽으로 갈수록 L_4 의 변화에 대한 θ_2 의 변화는 거의 없다.
- (3) 최대 선회 반경 쪽으로 갈수록 θ_1 이 증가하면 θ_2 는 감소하지만, 최소 선회 반경 쪽으로 갈수록 θ_1 의 변화에 대한 θ_2 의 변화는 작다.

Fig. 3으로부터 플라이집 끝단의 인입 궤적의 진폭 범위가 양호한 링크 구조 구성의 경우, 주집의 각도는 최대 선회 반경에서 약 40° 내외, 최소 선회 반경에서 약 75° 내외가 됨을 알 수 있다.

2.2 백스테이의 각도 변화

Fig. 4는 매개 변수(θ_1 , θ_{14} , L_4)와 선회 반경 변화에 따른 백스테이의 각도(θ_4) 변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 4에서 기호 ●는 L_4 의 길이가 23.0m인 경우이고, 기호 ▲와 ■는 각각 길이가 23.5m와 24.0m인 경우이다. Fig. 4로부터 상기 매개 변수 변화에 따른 백스테이의 각도 변화를 정리해 보면 다음과 같다.

- (1) θ_4 는 최소 선회 반경 쪽으로 갈수록 L_4 의 길이 증가에 따라 감소한다.
- (2) θ_4 는 θ_1 에 의해 링크 구성에 매우 제한된 범위의 값을 가지게 되고, 최대 선회 반경 쪽에서 θ_1 이 클수록 작아진다.

2.3 플라이집의 각도 변화

Fig. 5는 매개 변수(θ_1 , θ_{14} , L_4)와 선회 반경 변화에 따른 플라이집의 각도(θ_5) 변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 5에서 기호 ●는 L_4 의 길이가 23.0m인

(a) $\Theta_1=110^\circ$, $\Theta_{14}=99^\circ$

(b) $\Theta_1=110^\circ$, $\Theta_{14}=100^\circ$

(c) $\Theta_1=120^\circ$, $\Theta_{14}=83^\circ$

(d) $\Theta_1=120^\circ$, $\Theta_{14}=84^\circ$

Contour	●	■	⊙	⊠	⊕	⊗
β	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3
L_4 (m)	23.0	23.0	23.5	23.5	24.0	24.0

(e) symbols

Fig. 3 Main jib angle for slewing radius by parameters Θ_1 , Θ_{14} , β and L_4

(a) $\Theta_1=110^\circ$, $\Theta_{14}=99^\circ$

(b) $\Theta_1=110^\circ$, $\Theta_{14}=100^\circ$

(c) $\Theta_1=120^\circ$, $\Theta_{14}=83^\circ$

(d) $\Theta_1=120^\circ$, $\Theta_{14}=84^\circ$

Fig. 4 Backstay angle for slewing radius by parameters Θ_1 , Θ_{14} and L_4

경우이고, 기호 ▲와 ■는 각각 길이가 23.5m와 24.0m인 경우이다. Fig. 5로부터 상기 매개 변수 변화에 따른 백스테이의 각도 변화를 정리해 보면 다

음과 같다.

(1) Θ_5 는 L_4 가 증가할수록 그의 절대값은 증가하고 최소 선회 반경쪽으로 갈수록 그 변화폭은 증가한다.

(2) Θ_1 및 Θ_{14} 값이 증가할수록 Θ_5 의 절대값은 감

(a) $\Theta_1=110^\circ$, $\Theta_{14}=99^\circ$

(b) $\Theta_1=110^\circ$, $\Theta_{14}=100^\circ$

(c) $\Theta_1=120^\circ$, $\Theta_{14}=83^\circ$

(d) $\Theta_1=120^\circ$, $\Theta_{14}=84^\circ$

Fig. 5 Fly jib angle for slewing radius by parameters Θ_1 , Θ_{14} and L_4

소한다.

Fig. 5로부터 플라이집 끝단의 인입 케이블의 진폭 범위가 양호한 링크 구조 구성의 경우, Θ_5 가 최대 선회 반경 위치에서 -25° 내외, 최소 선회 반경 위치에서 -85° 내외가 됨을 알 수 있다. 최소 선회 반경 위치에서 Θ_5 가 -85° 이하로 되면 권상 로프가 플라이집 끝단의 쉬브(sheave)로부터 탈선될 수 있으므로, 링크 구조 구성 설계에서 이를 유념해야 한다.

2.4 플라이집 끝단의 높이 변화

Fig. 6는 매개 변수(Θ_1 , Θ_{14} , β)와 백스테이의 길이(L_4) 변화에 따른 플라이 집 끝단의 높이(H) 변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 6에서 기호 $\bullet$ 는 β 의 값이 0.20인 경우이고, 기호 $\blacktriangle$ 와 $\blacksquare$ 는 각각 0.25와 0.30인 경우이다. Fig. 6로부터 상기 매개 변수 변화에 따른 플라이집 끝단의 높이 변화를 정리해 보면 다음과 같다.

(1) Θ_{14} , β 와 L_4 가 증가할수록 H 는 높아진다.

(2) Θ_1 이 증가할수록 H 는 낮아진다.

H 는 권상 높이 및 고도 제한 등의 설계 조건과 관련된 값으로서, Θ_1 과 β 에 민감함을 알 수 있다.

2.5 선회 중심선에서 주집의 하부 힌지 중심까지의 수평 거리 변화

Fig. 7은 매개 변수(Θ_1 , Θ_{14} , β)와 백스테이의 길이(L_4) 변화에 따른 선회 중심선에서 주집의 하부 힌지 중심까지의 수평 거리(X_1) 변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 7에서 기호 $\bullet$ 는 β 의 값이 0.20인 경우이고, 기호 $\blacktriangle$ 와 $\blacksquare$ 는 각각 0.25와 0.30인 경우이다. Fig. 7으로부터 상기 매개 변수 변화에 따른 X_1 의 변화를 정리해 보면 다음과 같다.

(1) Θ_{14} , β 와 L_4 가 증가하면 X_1 도 증가한다.

(2) Θ_1 이 증가하면 X_1 은 감소한다.

X_1 은 선정된 선회 기어의 반경, A-프레임의 하부 힌지 위치, 선회 장치의 구조, 기계실의 위치 등을 고려해야 하는 치수로서 적절한 매개 변수의 선택이 요구된다. X_1 이 너무 길게 되면 선회 프레임이 길어져야 하고, 주집의 하부 힌지에 작용하는 압축력의 수직 성분에 의한 모우멘트가 증가하게 되므로 구조적으로 불리하게 된다. 반면에 너무 짧게 되면 선회 중심과 주집의 하부 힌지 사이에 A-프레임의 배치가 어렵게 되고, 결국 기계실이 뒤쪽으로 밀려나야 한다. 이러한 경우 선회 장치가 수직형이면 기계실 내부에 설치할 공간이 제약을 받게 된다. 선

(a) $\Theta_1=110^\circ$, $\Theta_{14}=99^\circ$

(a) $\Theta_1=110^\circ$, $\Theta_{14}=99^\circ$

(b) $\Theta_1=110^\circ$, $\Theta_{14}=100^\circ$

(b) $\Theta_1=110^\circ$, $\Theta_{14}=100^\circ$

(c) $\Theta_1=120^\circ$, $\Theta_{14}=83^\circ$

(c) $\Theta_1=120^\circ$, $\Theta_{14}=83^\circ$

(d) $\Theta_1=120^\circ$, $\Theta_{14}=84^\circ$

(d) $\Theta_1=120^\circ$, $\Theta_{14}=84^\circ$

Fig. 6 Relation between H and L_4 by parameters Θ_1 , Θ_{14} and β

Fig. 7 Relation between X_1 and L_4 by parameters Θ_1 , Θ_{14} and β

회 장치가 기계실 밖으로 배치되면 이 장치의 유지 보수가 어려울 뿐만 아니라 장치의 내구 연한에도 많은 영향을 미치므로 좋은 설계가 될 수가 없다.

(a) $\Theta_1=110^\circ$, $\Theta_{14}=99^\circ$

(b) $\Theta_1=110^\circ$, $\Theta_{14}=100^\circ$

(c) $\Theta_1=120^\circ$, $\Theta_{14}=83^\circ$

(d) $\Theta_1=120^\circ$, $\Theta_{14}=84^\circ$

Fig. 8 Relation between L_7 and L_4 by parameters Θ_1 , Θ_{14} and β

2.6 플라이집 중심선에서 주집의 상부 힌지까지의 수직 거리 변화

Fig. 8은 매개 변수(Θ_1 , Θ_{14} , β)와 백스테이의 길이(L_4) 변화에 따른 플라이집 중심선에서 주집의 상

(a) $\Theta_1=110^\circ$, $\Theta_{14}=99^\circ$

(b) $\Theta_1=110^\circ$, $\Theta_{14}=100^\circ$

(c) $\Theta_1=120^\circ$, $\Theta_{14}=83^\circ$

(d) $\Theta_1=120^\circ$, $\Theta_{14}=84^\circ$

Fig. 9 Relation between L_2 and L_4 by parameters Θ_1 , Θ_{14} and β

부 힌지 중심까지의 수직거리(L_7) 변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 8에서 기호 $\bullet$ 는 β 의 값이 0.20인 경우이고, 기호 $\blacktriangle$ 와 $\blacksquare$ 는 각각 0.25와 0.30인 경우이다. Fig. 8으로부터 상기 매개 변수 변화에 따른 L_7 의 변화를 정리해 보면 다음과 같다.

- (1) θ_{14} 및 β 가 증가할수록 L_7 은 감소한다.
- (2) L_4 가 증가할수록 L_7 도 증가한다.

L_7 이 클수록 플라이집의 길이(L_5)가 주집의 상부 힌지 중심에서 백스테이의 상부 힌지 쪽으로 절곡되는 형상으로 설계해야 하므로 제작성이 나빠짐을 유의해야 한다.

2.7 주집의 길이 변화

Fig. 9은 매개 변수(θ_1 , θ_{14} , β)와 백스테이의 길이(L_4) 변화에 따른 주집의 길이(L_2) 변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 9에서 기호 $\bullet$ 는 β 의 값이 0.20인 경우이고, 기호 $\blacktriangle$ 와 $\blacksquare$ 는 각각 0.25와 0.30인 경우이다. Fig. 9으로부터 상기 매개 변수 변화에 따른 L_2 의 변화를 정리해 보면 다음과 같다.

- (1) θ_{14} 및 L_4 가 증가할수록 L_2 도 증가한다.
- (2) θ_1 이 증가할수록 L_2 는 감소한다.

L_4 는 L_2 의 약 0.8~0.9배의 범위에 걸쳐 있다. 따라서, 백스테이의 길이는 주집의 길이의 약 0.85배 내외로 설정하는 것이 바람직하다.

2.8 플라이집의 길이 변화

Fig. 10은 매개 변수(θ_1 , θ_{14})와 백스테이의 길이(L_4) 변화에 따른 플라이집의 길이(L_5) 변화를 나타

낸 그래프이다. Fig. 10에서 기호 $\blacksquare$ 는 $\theta_1=110^\circ$, $\theta_{14}=99^\circ$ 인 경우이고, 기호 $\blacklozenge$ 는 $\theta_1=110^\circ$, $\theta_{14}=100^\circ$, 기호 $\bullet$ 는 $\theta_1=120^\circ$, $\theta_{14}=83^\circ$, 그리고 기호 $\blacktriangle$ 는 $\theta_1=120^\circ$, $\theta_{14}=84^\circ$ 인 경우이다. Fig. 10으로부터 상기 매개 변수 변화에 따른 L_5 의 변화를 정리해 보면 다음과 같다.

- (1) L_5 는 L_4 에 반비례한다.
- (2) θ_{14} 가 증가할수록 L_5 도 증가한다.

3. 결 론

이중 링크 형식 수평 인입 집 크레인의 링크 구성 설계를 위한 해석프로그램의 유용성을 검토하기 위하여, 실제 실용 가능한 집 크레인에 대하여 다양한 설계변수의 변화에 대한 링크 구조 구성을 수치 해석하여 요약한 결과는 다음과 같다.

1. 플라이집 끝단의 인입 궤적의 진폭 범위가 양호한 링크 구조 구성의 경우, 주집의 각 θ_2 및 플라이집의 각 θ_5 는 최대 선회 반경(35.0m)의 위치에서 각각 40° 및 -25° 내외, 최소 선회 반경(10.0m) 위치에서 75° 및 -85° 내외가 됨을 알 수 있다.

2. 백스테이의 길이 L_4 는 주집의 길이 L_2 의 0.85배 내외로 하는 것이 양호한 링크 구조 구성에 알맞다. 플라이집의 길이 L_5 는 백스테이의 길이 L_4 에 반비례 한다.

3. 이 논문에서 개발된 해석프로그램은 집 크레인의 링크 구조 기본 설계에 유용하게 사용할 수 있어 이 분야 설계의 생산성 향상에 기여가 기대된다.

참고문헌

1. 문덕홍, 허철원, 최명수, 2009, “이중 링크 형식 수평 인입 집 크레인의 링크 구성 설계에 관한 연구(I)”, 한국동력기계공학회지, 제13권, 제1호, pp. 19~25.
2. 백윤수, 심재경, 임경호, 황재혁, 1996, “기구학”, 회중당, pp. 27.
3. 김재도, 범진한, 이춘열, 1992, “최신 기구학(3판)”, 인터비전, pp. 601~736.
4. 지영준, 김화준, 허정권, 2002, “C로 구현한 수치 해석”, 높이깊이, pp. 27~31.

Fig. 10 Relation between L_5 and L_4 by parameters θ_1 and θ_{14}