

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

A Study on the Link Composition Design of a Double Link Type Level Luffing Jib Crane (I)

문덕홍 · 허철원 · 최명수

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

(접수일 : 2008년 12월 22일, 수정일 : 2008년 12월 27일, 채택확정 : 2008년 12월 29일)

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

Abstract : This paper is a study on the link composition design of a double link type level luffing jib crane using path generation synthesis passing through three precision points according to parameters, the length of backstay, the ratio of fly jib length between two moving hinges to the total length of fly jib, the location of a intermediate passing point etc. when the maximum and minimum working radius of the crane are given. The performance of the crane depends on the deviation of the luffing trajectory at fly jib tip. The luffing trajectories according to the above parameters are analyzed and shown in graphs by the developed computer program. In a real-life design, some trials are needed to arrive at a proper link composition design. Therefore, it is expected that the present computer program can rapidly and exactly deal with a link composition design proper to the design criteria of the crane.

1. 서 론

산업 발전의 가속화와 국경이 없는 무역 시장이 전개됨에 따라 원자재뿐만 아니라 중간재 및 완성된 공산품의 교역량이 급증하는 추세이다. 이에 따라 주요 운반 하역 장비인 크레인의 수요가 나날이 증가하고 있다.

수평 인입 집 크레인(level luffing jib crane)은 집(jib)의 각도를 변화시켜 작업위치를 이동시켜도 화물의 높이가 별로 변하지 않는 장점이 있다. 수평 인입 집 크레인에서 하중의 인입 궤적의 진폭 범위가 클수록 인입에 소요되는 에너지는 증가하는데 이 진폭을 작게 하면 관련 기계품, 즉, 모터, 감속기, 브레이크, 커플링 등의 용량을 작게 할 수 있을 뿐만 아니라 구조물도 경량화시킬 수 있다. 이 인입

궤적의 진폭은 링크 구성 설계의 중요 사항으로 이 크레인의 성능과 제작 비용을 좌우하는 주요한 기본 설계 목표 대상이다.

수평 인입 집 크레인은 인입 메카니즘에 따라 이중 링크 형식(double link type), 스윙 레버 형식(swing lever type), 로프 평형 형식(rope balancing type) 등으로 분류할 수 있다. 스윙 레버 및 로프 평형 형식은 제철소, 조선소 등의 조립 현장에서 빠른 인입 속도를 요구하지 않는 대형 블록의 운반 및 조립용으로 주로 사용하고 있다. 반면에 이중 링크 형식은 석탄, 철광석 및 곡물 등의 산적화물과 컨테이너, 강재 및 일반 잡화물의 하역용과 제철소, 조선소 등에서의 조립용으로 사용 범위가 넓다. 뿐만 아니라 크레인 구조에서 권상 하중까지의 로프 길이를 다른 두 형식에 비해 짧게 할 수 있는 구조이어서 인입 시 가감 속도에 의한 흔들림(sway)이 작게 발생한다. 따라서, 이중 링크 형식은 속도를 높여 연속적으로 사용할 수 있기 때문에 하역 능률이 좋고, 약 300톤 정도의 권상 하중을 취급할 수 있어

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

수요가 많다. 근래 발주되고 있는 이중 링크 형식 수평 인입 집 크레인의 기술 사양서에는 인입 궤적의 진폭 편차가 최대 선회 반경의 1% 이내가 되는 링크 구성 설계를 명시하고 있다.

한편, 국내의 이 크레인의 링크 구성 설계는 유사 실적을 바탕으로 링크들의 길이와 힌지들의 위치를 조금씩 변화시켜 가면서 적절한 링크 구성을 얻는 시행착오적인 방법을 사용하거나 유사 실적이 없는 경우 외국에 고가의 기술 용역을 주고 있는 실정이다.

그리고, 국내의 크레인 관련분야의 연구동향은 대부분 운동 및 제어, 자동화 등^{1)~3)}에 집중되어 있고 연구자도 다수이나, 이 연구에서와 같이 구조설계 분야의 설계기술관련 연구^{4), 5)}는 연구실적 및 연구 종사자 모두 빈약한 실정이다.

따라서 이 연구에서는 다양한 매개변수에 대한 플라이집 끝단의 인입 궤적의 진폭 변화의 수치 해석과 그 결과를 그래프로 작성하는 전산 프로그램을 개발하였다. 그 프로그램의 검증은 축소 모델의 실험과 CAD작도로 하였다. 본 연구에서 개발한 전산 프로그램은 설계 실무에서 이중 링크 인입 집 크레인의 설계 조건에 부합하는 링크구조 구성의 기본 설계를 신속 정확하게 처리할 수 있어 설계의 생산성 및 신뢰성 제고뿐만 아니라 이 크레인의 링크 구조 구성의 기본 설계 기술력 확보 측면에서 그 의의가 있다.

2. 이 론

2.1 이중 링크 형식 수평 인입 집 크레인의 각 부 명칭

Fig. 1은 수평 인입 집 크레인의 개략도와 각부의 명칭을 나타낸다.

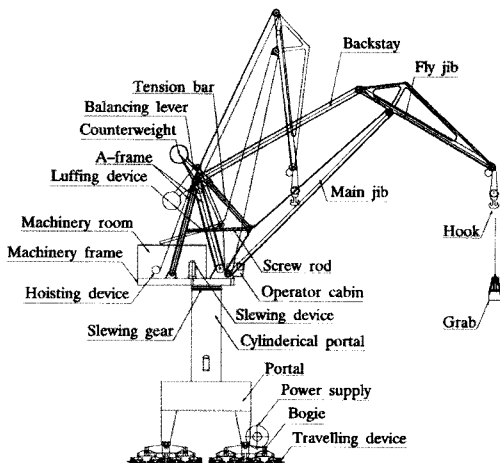


Fig. 1 General assembly

2.2 경로발생에 대한 도해적 합성법

Fig. 2는 해석 대상 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 플라이집의 중심선에서 주집의 상부 힌지 중심까지의 수직 거리이다. X_1 및 X_4 는 선회 중심선에서 각각 주집의 하부 힌지 및 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.

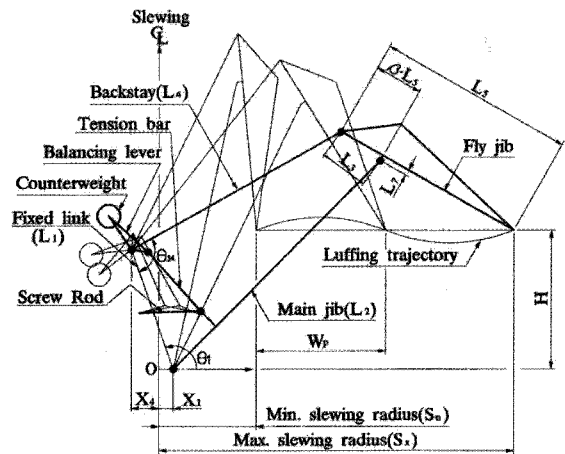


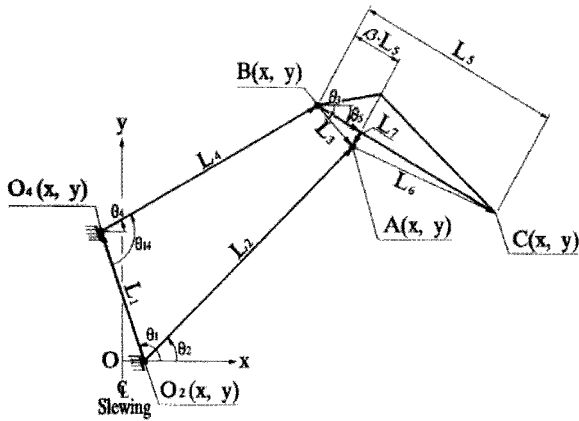
Fig. 2 Frame model for analysis

Fig. 3는 4R(revolution) 메카니즘⁶⁾인 이중 링크 형식 수평 인입 집 크레인의 링크 구성과 이동경로를 나타내고 있다. 이 메카니즘은 4개의 바(bar)로 구성된 링크 장치이다. 고정 프레임에 연결된 2개의 부재는 입력 링크와 출력 링크인데, 크레인에서는 주집 및 백스테이에 상당한다. 그리고, 입력 및 출력링크를 연결하고 있는 중간 이동부재는 커플러(coupler)이고 크레인에서는 플라이집에 해당한다. 고정 프레임에 연결된 2개의 힌지, 즉 O_2 와 O_4 는 고정 힌지이고, A와 B에 설치된 나머지 2개의 힌지는 유동 힌지이다.

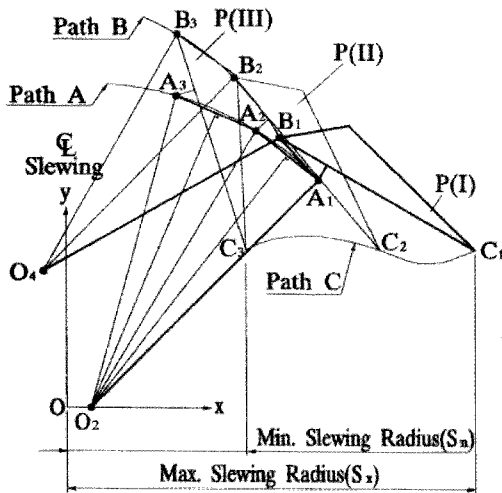
선 $\overline{O_2O_4}$ 는 프레임-선(frame-line)이라 하고, 이 메카니즘의 회전은 프레임에 고정된 전기 모터와 입력링크를 연결하는 하나의 바(bar), 즉, 스크류 로드(screw rod)에 동력이 전달되어 일어난다.

Fig. 3(b)의 첫 번째 형상 P(I)에서 플라이집 끝단

이 C_1 위치에 있을 때 유동 힌지 A는 A_1 에 놓여있고, 나머지 하나의 유동 힌지 B는 B_1 에 놓여 있다. 플라이집 끝단 C점은 규정한 위치 C_2, C_3 의 두 지점을 통과하기를 희망하고 있다. 고정 힌지 O_4 의 위치를 설정한 상태에서 만족하는 링크 장치를 설계하기 위해서 나머지 하나의 고정 힌지 O_2 의 위치 결정이 중요하다.



(a) Link composition



(b) Path generation

Fig. 3 Motion mechanism of the crane

길이 \overline{AC} 와 \overline{BC} 및 $\overline{O_4B}$ 가 주어졌을 때, Fig. 3(b)에서 나타낸 바와 같이 플라이집 끝단 C점이 각각 C_2 및 C_3 에 위치할 때, 유동 힌지 A점의 위치 A_2 와 A_3 및 유동 힌지 B점의 위치 B_2 와 B_3 를 각각 알 수 있다. 이 때 고정 힌지 O_2 는 힌지 A점의 경로상의 A_1, A_2, A_3 를 통과하는 원의 중심에 위치해야 하고, 설정한 고정 링크의 기울기 상에 존재하는 점을 찾도록 한다.

3. 수치해석

Fig. 2에 주어진 모델에서 수평 인입 집 크레인의 작업 영역인 최대 선회 반경은 35 m와 최소 선회 반경은 10 m(플라이집 끝단의 최대 및 최소 선회 반경은 로프 리빙을 감안하여 각각 34.775 m 및 9.775 m로 함)이다. 선회 중심선에서 백스테이의 하부 힌지 중심까지의 수평거리 X_4 는 5.3이다.

규정한 3개의 무오차점을 통과하는 경로발생에 대한 도해적 합성법⁷⁾을 이용하여 주집의 하부 힌지 중심의 위치가 설정한 고정 링크의 기울기 상에 존재하는 링크 구조 구성을 가상 위치법(false position method)⁸⁾으로 구하였다.

3.1 플라이집 끝단의 인입 궤적

이중 링크 수평 인입 집 크레인의 플라이집 끝단의 인입 궤적은 권상 하중의 인입 궤적을 결정한다. 이 인입 궤적의 진폭 변화가 크게 되면 권상 하중의 위치에너지 변화가 크게 발생될 것이고, 그 결과 하중을 인입시키는데 소요되는 운동에너지를 증가시키는 요인이 될 것이다. 따라서 하중을 인입시키는데 소요되는 에너지를 최소화시키기 위해서는 이 진폭 범위가 작게 발생하는 링크 구조 구성의 설계가 요구된다.

이 크레인의 링크 구조 구성은 Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 L_1, L_2, L_4, L_5, L_7 등의 길이와 $\theta_1, \theta_{14}, \beta$ 등이고 플라이집 끝단의 인입 궤적은 이들 인자와 최소 선회 반경에서 중간 무오차점까지의 거리인 W_p 에 영향을 받는다.

Fig. 4는 $\theta_1, \theta_{14}, \beta$ 및 L_4 등의 매개변수에 대한 플라이집 끝단의 인입 궤적의 해석 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 여기서, L_4 는 23.0 m에서 0.5 m씩 증가시켜 24.0 m까지, β 는 0.2에서 0.1씩 증가시켜 0.3까지, θ_1 는 110°에서 5°씩 증가시켜 120°까지 각각 변화시키고, W_p 는 16.25 m로 하였다.

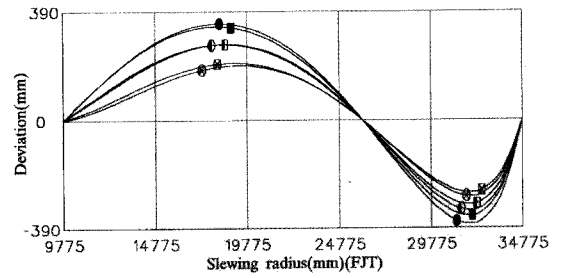
3개의 무오차점의 위치는 최대 및 최소 선회 반경과 W_p 의 가변 위치에 각각 두었다. 3개의 무오차점을 통과하는 링크 구조 구성에 있어서 θ_{14} 는 θ_1 의 각도에 매우 제한적인 범위를 갖고 있음을 알 수 있었다. 즉, θ_1 이 110°일 때 θ_{14} 는 99°에서 100°의 범위를, θ_1 이 115°일 때 θ_{14} 는 90°에서 92°의 범위를, θ_1 이 120°일 때 θ_{14} 는 83°에서 84°의 범위를 벗어나면 해가 존재하지 않았다.

플라이집 끝단의 인입 궤적 진폭에 영향을 미치

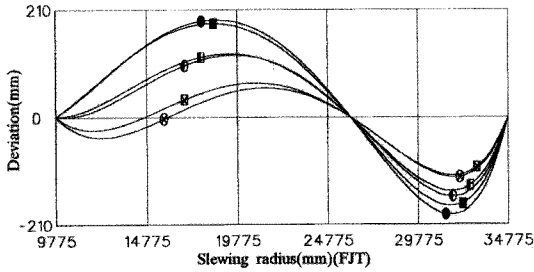
는 앞에서 언급한 인자들과 조건들에 대하여 수치 해석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 백스테이 길이 L_4 의 변화는 플라이집 끝단의 인입 궤적 진폭에 매우 민감하고, L_4 가 증가할수록 그 궤적의 진폭이 감소하는 경향을 보이고 있다.

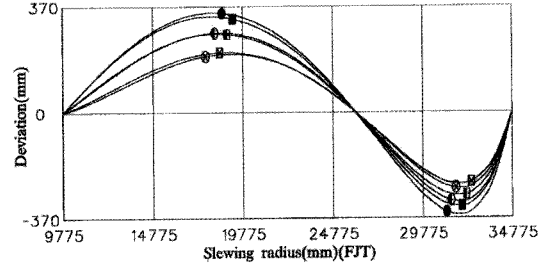
(2) β 의 값 변화는 이 인입 궤적의 진폭에 다소 변화를 주고 있으나 그 영향력이 미미함을 알 수 있다.



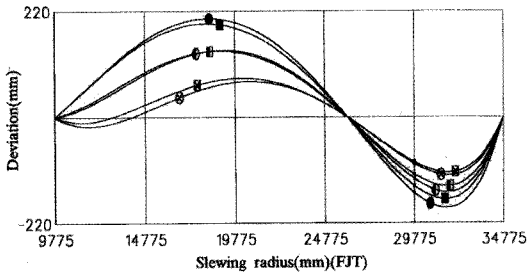
(e) $\theta_1=120^\circ, \theta_{14}=83^\circ$



(a) $\theta_1=110^\circ, \theta_{14}=99^\circ$



(f) $\theta_1=120^\circ, \theta_{14}=84^\circ$



(b) $\theta_1=110^\circ, \theta_{14}=100^\circ$

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

(g) Symbols

Fig. 4 Fly jib tip trajectory by $\theta_1, \theta_{14}, \beta$ and L_4

(3) 고정 링크의 각 θ_1 이 증가함에 따라 이 인입 궤적의 진폭이 크게 증가하는 경향을 보이고 있다.

(4) 고정 링크와 백스테이가 이루는 각 θ_{14} 의 범위는 고정 링크의 각 θ_1 에 의해 매우 제한적이고 이 값에 의한 인입 궤적의 진폭 변화는 미미함을 알 수 있다.

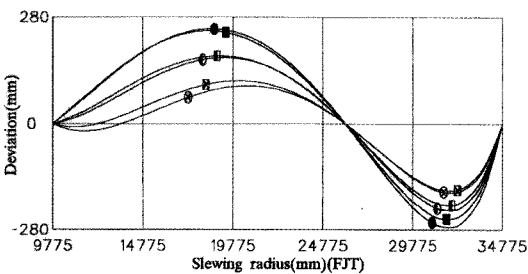
3.2 중간 무오차점에 따른 인입 궤적

Fig. 5는 $\beta = 0.23$ 및 θ_1, L_4, W_p 의 매개변수에 따라 플라이집 끝단의 인입 궤적 진폭 변화를 나타낸 그래프이다.

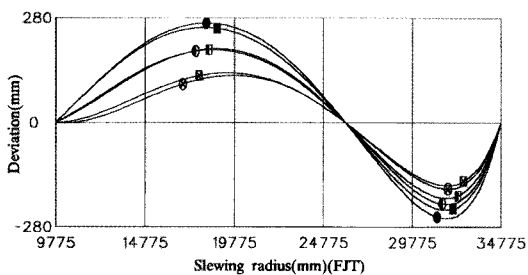
3개의 무오차점 중 2개는 최대 및 최소 선회 반경 위치에 각각 두고, 나머지 하나의 무오차점의 위치 W_p 를 16.25 m, 12.50 m 및 8.75 m에 각각 두었을 때, 그 인입 궤적의 변화에 대하여 정리하면 다음과 같다.

(1) W_p 가 16.25 m일 때 매개변수에 관계없이 중간 무오차점의 양쪽에 발생하는 편진폭의 최대 절댓값이 비슷해지고 있다.

(2) W_p 가 최소 선회 반경쪽으로 이동할수록 또한



(c) $\theta_1=115^\circ, \theta_{14}=90^\circ$

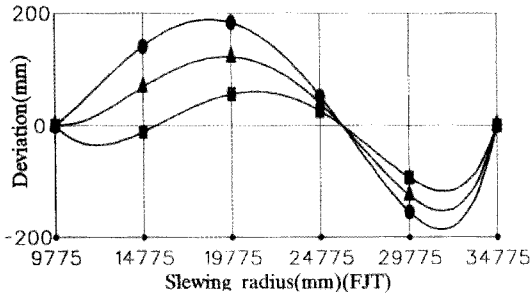


(d) $\theta_1=115^\circ, \theta_{14}=92^\circ$

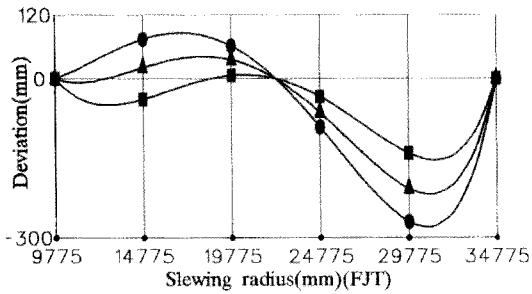
θ_1 이 증가할수록 양쪽 편진폭의 절대값의 차이가 증가하고 있다.

(3) W_p 의 위치를 8.75 m에 두었을 때, W_p 의 위치에서 최소 선회 반경까지의 인입 궤적은 거의 직선에 가깝다.

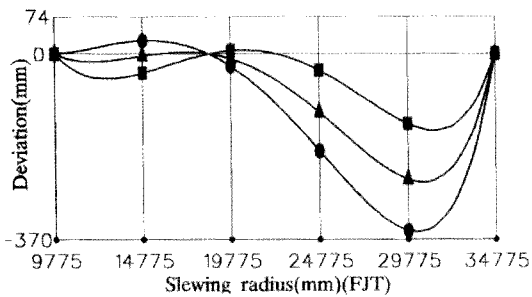
(4) 수평 정도를 요하는 인입 구간이 설계 조건에 명시되어 있는 경우 W_p 를 이용하여 적절한 링크 구조 구성을 얻는 것이 효과적일 것이다.



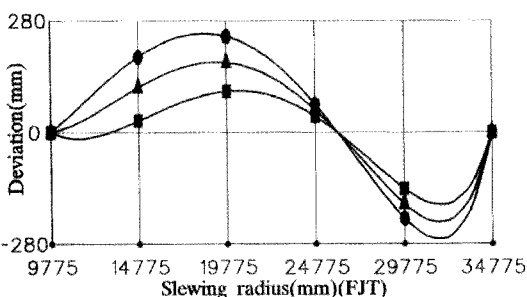
(a) $\theta_1=110^\circ, \theta_{14}=99^\circ, W_p=16.25m$



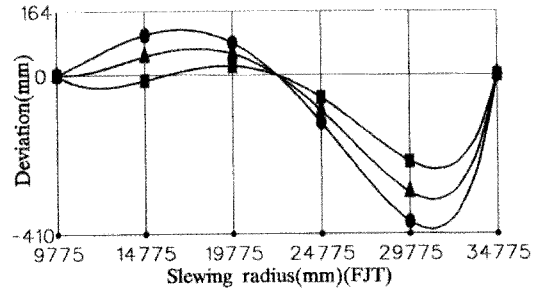
(b) $\theta_1=110^\circ, \theta_{14}=99^\circ, W_p=12.50m$



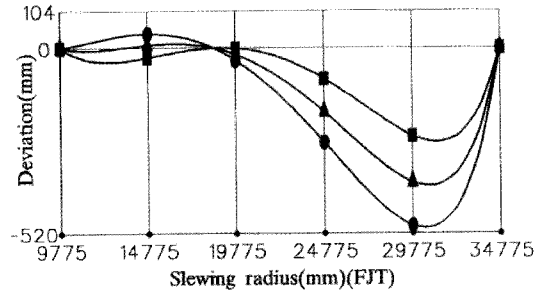
(c) $\theta_1=110^\circ, \theta_{14}=99^\circ, W_p=8.75m$



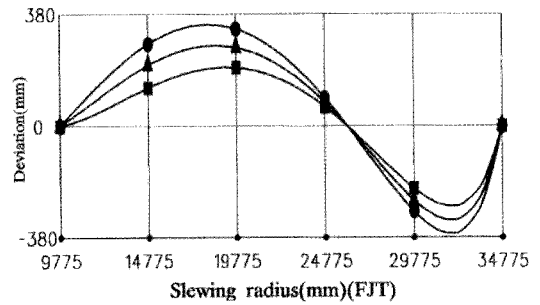
(d) $\theta_1=115^\circ, \theta_{14}=90^\circ, W_p=16.25m$



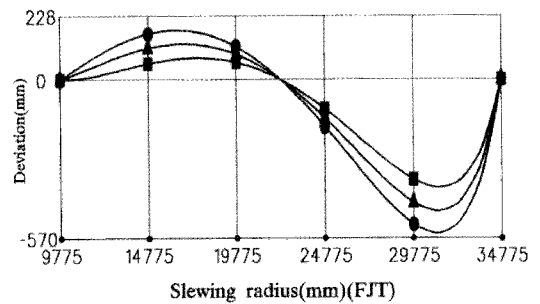
(e) $\theta_1=115^\circ, \theta_{14}=90^\circ, W_p=12.50m$



(f) $\theta_1=115^\circ, \theta_{14}=90^\circ, W_p=8.75m$



(g) $\theta_1=120^\circ, \theta_{14}=83^\circ, W_p=16.25m$



(h) $\theta_1=120^\circ, \theta_{14}=83^\circ, W_p=12.50m$

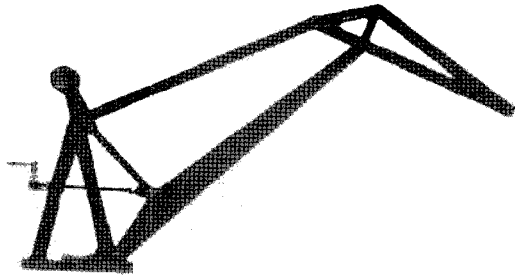
Contour	β	$L_4(m)$
●	0.23	23.0
▲	0.23	23.5
■	0.23	24.0

(i) symbols

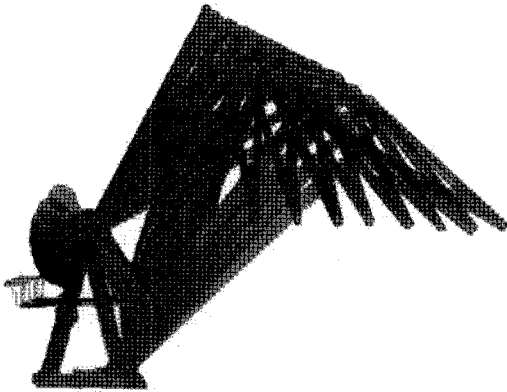
Fig. 5 Fly jib tip trajectory by W_p and L_4

3.3 프로그램의 검증

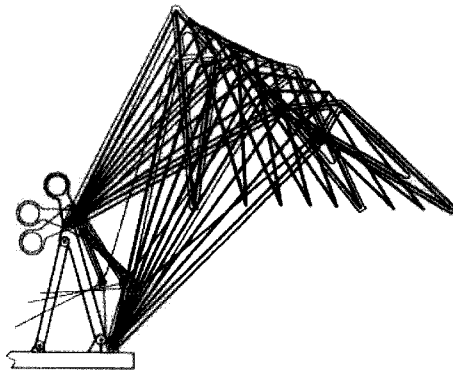
Fig. 6의 (a)는 1:50의 축소 모델의 전경을, (b)는 그 축소 모델의 인입 과정을 사진 촬영한 그림이고, (c)는 크레인의 인입 과정을 CAD 작도로 나타낸 것이다.



(a) Photograph for 1:50 scale model



(b) Photograph of luffing trajectory for 1:50 scale model



(c) CAD drawing

Fig. 6 Luffing trajectory

축소 모델은 하나의 해석된 링크 구성을 1:50의 축척의 크기로 각각의 링크 부재를 제작하였다. 재질은 두께 5 mm의 아크릴을 사용하였다. 아크릴의

절단은 레이저 절단기를 사용하였다. 링크의 힌지 부분은 아크릴에 구멍을 뚫고 소형 볼러 베어링을 사용하였다. 제작 정도에 따른 인입 궤적의 오차를 고려하여 제작 도면을 CAD로 작성하였고, CAD 도면의 치수가 수치 제어되는 레이저 절단기를 사용하였다. 그러나 사용 재질이 아크릴인 관계로 레이저 열에 절단부분이 녹는 현상이 발생되어 예상만큼 정도를 얻지 못하였다. 특히, 베어링의 외경으로 가공한 힌지부는 약간 헐거운 상태였다.

축소 모델의 도면 제작 및 링크의 인입 궤적의 작도에 사용한 CAD 소프트웨어는 Bently Systems의 Microstation J version이었다. 축소 모델의 플라이집 끝단의 인입 궤적 측정에는 Sokkia사에서 생산한 NET2B 모델의 3차원 광파 측정기를 사용하였다. 측정의 기준점은 주립의 하부 힌지의 중심을 원점으로 잡았다. 최대 및 최소 선회 반경 사이에 23개의 인입 과정에 대한 플라이집 끝단의 위치를 측정하였다.

Fig. 7은 플라이집 끝단의 인입 궤적에 대한 1:50의 축소 모델에 대한 측정값(그림에서 ●), CAD 작도에서 산출한 값(그림에서 ◆) 및 프로그램에 의해 계산된 값(그림에서 실선)들을 나타내고 있다. 이때, 링크구성은 L_1 이 12.670 m, L_2 가 28.809 m, L_4 가 23.5 m, β 가 0.3, L_5 가 19.198 m, L_7 이 0.442 m, θ_1 이 110° , θ_{14} 가 99° , S_x 가 34.775 m, S_n 이 9.775 m이다. 인입 궤적의 최대 진폭차와 최대 선회 반경과의 백분율을 비교해 보면, 축소모델의 경우 약 1.09%이고, 프로그램과 CAD 작도의 경우 약 0.77%이다.

인입 궤적의 진폭값에 있어서, 프로그램에 의한 계산값과 CAD 작도에 의한 값은 보간법의 오차 정도의 차이를 보이고 있고, 축소 모델의 측정값은 앞의 두 값들에 비해 다소 차이를 나타내고 있다. 이것은 1:50의 축척에 따른 링크 길이의 제작 정도 및 힌지와 핀들의 가공 오차 등의 원인으로 보인다. 그런데, 인입 궤적의 모드는 유사하게 나타나고 있다.

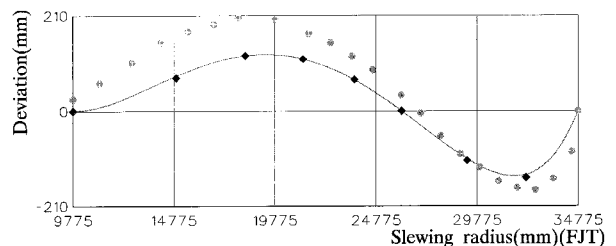


Fig. 7 Fly jip tip trajectory

따라서, 프로그램과 CAD 작도에 의한 인입 궤적에 대한 값을 비교해 볼 때, 프로그램의 신뢰성을 확인할 수 있으며, 실척의 제작 및 가공 오차를 줄인다면 정확한 인입 궤적을 얻을 수 있을 것이다.

4. 결 론

이중 링크 형식 수평 인입 집 크레인의 작업 영역이 최대 선회 반경 35 m와 최소 선회 반경 10 m 일 때, 백스테이의 길이 L_4 , 플라이집의 유동 힌지 간의 길이와 전체 길이의 비 β 를 매개변수로 놓고, 고정 링크의 각 θ_1 및 고정 링크와 백스테이가 이루는 각 θ_{14} 의 변화에 따라 규정한 3개의 무오차점을 통과하는 경로 발생에 대한 도해적 합성법을 이용하여 주집의 하부 힌지 중심 위치가 주어진 고정 링크 기울기 상에 존재하는 링크 구조 구성을 수치 해석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 플라이집 끝단 인입 궤적의 진폭은 백스테이의 길이 L_4 를 길게 할수록 그리고 고정 링크의 각 θ_1 을 작게 할수록 작게 나타나고, 플라이집의 유동힌지 간의 길이와 전체 길이와의 비 β 및 고정 링크와 백스테이가 이루는 각 θ_{14} 등의 변화에 대하여 큰 영향이 없음을 알 수 있다.

2) 중간 무오차점의 위치 W_p 가 최소 선회 반경 쪽으로 이동할수록 W_p 를 기점으로 양쪽으로 발생하는 인입 궤적 편진폭의 절대값 차이가 증가하고, W_p 와 최소 선회 반경 사이의 선회 반경 구간에서 인입 궤적이 거의 직선을 그리고 있다. 따라서, 인입 궤적의 정도를 요하는 인입 구간이 설계 조건에 명시되어 있을 경우 W_p 를 이용하여 적절한 링크 구조 구성을 얻는 것이 효과적이다.

3) 이 논문에서 개발한 전산 프로그램은 주어진 설계 조건에 대하여 적절한 링크 구성을 신속하고 정확하게 구해 낼 수 있어 설계의 생산성 및 신뢰성 제고, 링크 구조 기본 설계 기술력 확보 측면과 아울러 관련 전문 소프트웨어의 수입 대체 효과 측면에서 그 의의가 있다.

참고 문헌

1. 정승현, 박정일, 1997, "퍼지 제어를 이용한 크레인의 진동 억제 및 위치 제어", 대한기계학회 논문집, 18(6), pp. 1365~1373.
2. 이종규, 이상용, 2000, "비선형 천정 크레인 시스

- 템의 위치 제어 알고리즘 개발", 한국정밀공학회지, 17(4), pp. 142~147.
3. 허동렬 외 4명, "유전 알고리즘을 이용한 컨테이너 크레인 시스템의 위치 제어 및 흔들림 방지를 위한 퍼지 제어기 설계", 한국박용기관학회지, 24(6), pp. 725~732.
4. 문덕홍, 허철원, 2000, "이중링크 형식 수평인입 집 크레인의 정적·동적 해석", 한국강구조학회 논문집, 12(6), pp. 715~725.
5. 허철원, 문덕홍, 2001, "이중링크 형식 수평 인입 집 크레인의 피로해석, 신뢰도 및 수명예측에 관한 연구", 한국산업안전학회지, 16(4), pp. 65~73.
6. 백윤수 외 4인, 1996, "기구학", 회중당, pp. 27.
7. 김제도, 범진한, 이춘열, 1992, "최신 기구학(3판)", 인터뷰전, pp. 601~736.
8. 지영준, 김화준, 허정권, 2002, "C로 구현한 수치 해석", 높이깊이, pp. 27~31.