

◆ 특집 ◆ 입력성형기법의 응용

산업용 크레인에서의 입력성형기법 응용

Application of Input Shaping Method to Industrial Cranes

박상원¹, 홍성욱^{2,✉}

Sang-Won Park¹ and Seong-Wook Hong^{2,✉}

1 (주)노바 (NOVA Co., Ltd.)

2 금오공과대학교 기전공학과 (Department of Mechatronics, Kumoh National Institute of Technology.)

✉ Corresponding author: swhong@kumoh.ac.kr, Tel: 054-478-7344

Manuscript received: 2011.7.10 / Accepted: 2011.8.2

This paper presents results of input shaping to industrial cranes. A brief theoretical background for input shaping is described. Several examples of input shaping application to sway regulation for industrial cranes are presented. The presented results show that input shaping is very useful for industrial cranes.

Key Words: Input Shaping (입력성형), Industrial Crane (산업용 크레인), Overhead Crane (전장형 크레인), Payload Sway (중량물 흔들림)

1. 서론

크레인은 중량물을 임의의 위치로 이동하기 위해 여러 분야에서 널리 사용되고 있는 유용한 장비이지만 이동 중에 발생하는 중량물의 흔들림 (Payload Sway)으로 인해 많은 산업재해를 유발하고 있다.¹ 따라서 크레인을 사용하는 대부분의 산업현장에서 이와 같은 산업재해를 줄이기 위한 요구가 크게 증가하였다. 또한 이동과정의 과도진동으로 인해 이동경로를 벗어나서 타장비를 훼손시키거나 이동이 종료된 상태에서 발생하는 잔류진동으로 인해, 진동이 안정화될 때까지 장시간 대기하게 됨으로써 작업성을 현저히 떨어뜨리게 되며 이에 대한 개선이 절실히 요구된다.

크레인 중량물의 흔들림을 효과적으로 제거할 수 있는 유용한 도구로써 입력성형기법(Input Shaping Method)²이 활용되어 오고 있으며 지금까지 입력성형기법이 가장 널리 사용되어온 대상

중의 하나가 크레인이다.³ 입력성형기법은 시스템의 고유진동수 및 감쇠특성에 맞게 입력성형기 (Input Shaper)를 설계함으로써 손쉽게 적용할 수 있으며, 센서 등과 같은 추가적인 장치의 장착없이 기존 시스템에 적용할 수 있다는 것이 가장 큰 장점이다. 본 논문에서는 크레인 중량물의 흔들림 억제를 위해 자체 개발한 입력성형제어기를 적용하는 방법과 그 사례를 중심으로 크레인 입력성형제어의 효용성 및 전망에 대해 설명하고자 한다.

2. 입력성형기법⁴

Fig. 1은 전형적인 운동제어 시스템의 블록선도를 나타낸 것이다. 그림에서 점선으로 표시된 부분은 요구하는 운동에 대한 기준 명령(Reference Command)을 생성시켜주는 명령 수정기(Command Modifier)이다. 명령 생성기에서 기준 명령을 생성

시킬 때 제어 목적에 맞도록 기준 명령을 수정 혹은 재생성할 수 있다.

본 논문에서는 입력성형기를 이용하여 초기에 생성된 기준 명령과 순차적으로 컨벌루션(Convolution) 연산을 수행하여 기준 명령을 수정하는 방식으로 사용하였다. 또한 크레인에서는 이와 같은 입력성형 과정을 실시간으로 적용함으로써 현장 작업자에 의해 임의로 입력된 명령에 의한 이송 시에도 잔류진동을 최소화하는 방식으로 응용하였다.

Fig. 2 는 임펄스 A_1 의 응답에 임펄스 A_2 의 응답을 합성함으로써 전체 응답이 임펄스 A_2 가 입력된 이후에 상쇄 되는 것을 알 수 있다. 이처럼 입력성형기법의 원리는 초기 입력에 의해 나타나는 진동을 적정한 시간 지연 후에 적절한 크기의 입력을 가함으로써 진동을 자체적으로 상쇄시키는 것이다. 여기서 입력의 크기와 시간간격은 시스템이 갖는 고유진동수와 감쇠에 의해 계산된다.

본 논문에서는 ZV(Zero Vibration)와 ZVD(Zero Vibration and Derivative) 입력성형기를 기초로 하였으며, 그 형태는 Fig. 3 과 같다. 입력성형을 실제 시스템에 적용하기 위해서는 기준 명령을 Fig. 3(a)와 (b)에서 보여지는 컨벌루션 과정을 통해 수정하여야 한다. 여기서는 자체 개발한 크레인 흔들림 제어 장치인 NCC(Nova Controller for Crane, ㈜노바)를 이용하여 실시간으로 제어를 수행하였다.

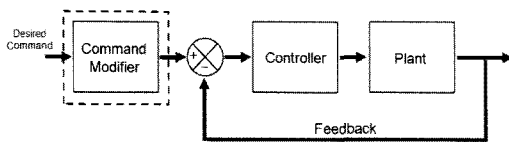


Fig. 1 Block diagram of a generic control system

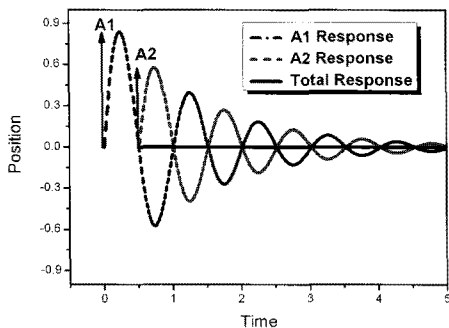


Fig. 2 Vibration elimination with input shaping²

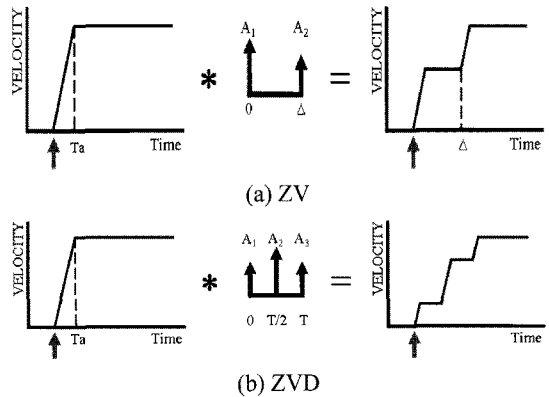


Fig. 3 ZV and ZVD input shaping based on convolution

3. 크레인의 종류

산업현장에서 널리 사용되고 있는 크레인은 사용목적에 따라 그 종류가 매우 다양하게 존재한다. 크레인의 형상(Form)과 제어방식(Control Type)에 따라 종류를 구분하여 보면 Fig. 4 와 같이 나타낼 수 있다.

Fig. 4 에서 보여지는 바와 같이 크레인을 형상에 따라 천장 크레인(Overhead Crane), 지브 크레인(Jib Crane), 갠트리 크레인(Gantry Crane), 건설용 타워 크레인(Tower Crane) 그리고 케이블 크레인(Cable Crane) 등으로 크게 나눌 수 있다. 그리고 천장 크레인은 크랩 크레인(Crab Crane)과 호이스트 크레인(Hoist Crane)으로 세분화 할 수 있다. 여기에서 크랩 크레인은 대체로 고하중용으로 주로 사용되며, 호이스트 크레인은 저하중용으로 사용되고 있다. 한편, 속도제어방식에 따라 Fig. 4 와 같이 온오프 크레인(On/Off Crane), 인버터 크레인(Inverter Crane), 2 차 저항 방식 크레인(2nd Resistor Crane) 그리고 싸이리스터 크레인(Thyristor Crane) 등으로 나눌 수 있다.

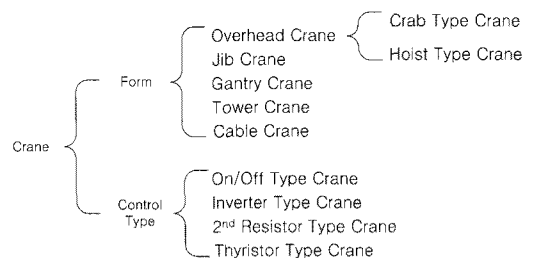


Fig. 4 Classification of crane types

Fig. 5는 국내 크레인 종류별 분포를 나타낸 것이다. 가장 많은 비율로 분포하고 있는 크레인은 천장 크레인임을 알 수 있다. 본 논문에서는 가장 폭넓게 사용되고 있는 천장 크레인을 중심으로 입력성형기법 응용 사례에 대해 설명하며 마지막 부분에 지브 크레인과 타워 크레인 사례를 간략히 소개한다.

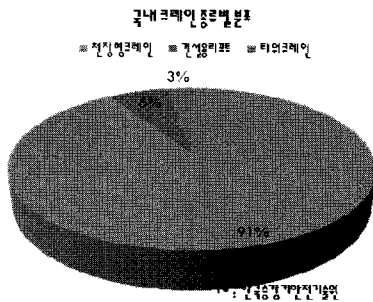


Fig. 5 Pi chart for crane types in Korea

허용중량이 대략 10 톤 미만인 소형 크레인에서는 주로 온오프 방식(On/Off Type) 제어를 사용하고 있으며, 10 톤 이상 중·대형 천장크레인에서는 인버터 방식, 2 차 저항 방식 그리고 싸이리스터 방식을 사용하고 있다. 여기서 2 차 저항 방식과 싸이리스터 방식은 아날로그 방식이라 할 수 있으며, 인버터 방식은 디지털 방식이라 할 수 있다. 2011년 현재 크레인 제조업체를 기준으로 디지털 방식과 아날로그 방식의 생산비율은 60%와 40%로써 크레인의 제어방식이 아날로그 방식에서 디지털 방식으로의 전환이 이루어지고 있다.

4. 입력성형에 의한 크레인 흔들림 제어

입력성형기법이 크레인 중량물의 흔들림을 효과적으로 제거할 수 있는 유용한 도구이지만 크레인의 종류나 제어방식에 따라 적용하는 방법에 다소 차이가 있다. 본 논문에서는 Fig. 4에서 나열한 크레인의 종류 중 천장 크레인, 지브 크레인, 그리고 건설용 타워 크레인에 대해 입력성형기법을 적용하는 방법과 예를 소개하고자 한다.

4.1 천장 크레인(Overhead Crane)

천장 크레인은 산업현장에서 가장 널리 사용되고 있는 크레인의 형태로서 제어방식도 다양하게 채용하고 있다.

Fig. 6은 천장 크레인에서 가장 대표적인 형태인 크랩 크레인과 호이스트 크레인을 보여주고 있다. 크랩 크레인과 호이스트 크레인에서 주로 사용하는 제어방식으로는 온오프 방식과 인버터 방식이다. 여기서는 천장 크레인에서 사용하는 제어 방식 중 온오프 방식과 인버터 방식의 크레인에서 입력성형기법을 사용할 수 있는 방법에 대해 소개하고자 한다.



(a) Crab crane



(b) Hoist crane

Fig. 6 Overhead cranes

4.1.1 인버터 제어(Inverter Control)

최근 크레인 제작에 있어 가장 큰 특징은 인버터 제어를 사용하는 크레인의 비율이 현저히 증가하고 있다는 것이다. 신규 크레인들은 물론 사용중인 크레인의 제어 방식을 인버터 제어로 교체하는 비율도 증가하고 있다. 인버터를 이용한 크레인 제어는 모든 형태의 크레인에 널리 사용되고 있으며, 비율도 현저히 증가하고 있다.

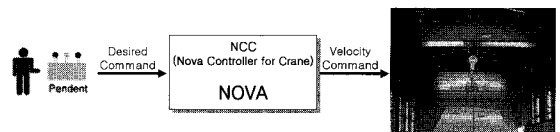


Fig. 7 Schematic diagram of the overhead crane with NCC

Fig. 7 은 천장 크레인의 중량물 흔들림 제어를 위한 전형적인 제어 시스템에 대해 간략히 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 크레인 중량물 흔들림 제어를 위해 NCC 제어기로 사용하였다. NCC 에는 전통적인 입력성형기법²과 저자들에 의해 자체 개발한 새로운 기법의 흔들림 제어 알고리즘^{4,7}을 탑재하고 있어 실제 크레인 중량물 흔들림 제어에 있어 입력성형기법의 성능을 쉽게 구현할 수 있다.

기본적인 구성은 Fig. 7 에서 보여지는 바와 같이 크레인 운전자에 의해 생성된 운동 명령을 NCC 에 입력하면 NCC 가 인버터의 속도를 실시간 제어함으로써 대상 크레인 중량물의 흔들림을 제어하면서 목표지점까지 이동하게 된다.

Fig. 8 은 실제 입력된 명령에 대해 입력성형기법을 이용하여 수정된 명령이 생성되는 과정을 간략히 나타낸 것이다. 인버터 제어를 사용하는 크레인은 일반적으로 여러 개의 속도 패턴(최대 5 단속)을 가지고 있다. 크레인의 속도 패턴을 한 개로 가정하고 전통적인 입력성형기인 ZVD 성형기를 사용할 경우에 크레인에 입력되는 실제 속도 명령이 Fig. 8 과 같이 생성된다.

인버터 제어를 사용하고 있는 천장 크레인에서 입력성형기법의 성능을 검증하기 위해 Fig. 9 와 같이 25 톤 크랩식 천장 크레인에서 실험을 실시하였다. 중국 하남성에 위치하고 있는 하남중공업에서 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 크레인은 크랩식 천장 크레인이며, 총 중량인 25 톤에 주권(Main Hoist)과 보권(Auxiliary Hoist)으로 구성되어 있고 총 양정은 12m 이다. 주행거리는 종행(Travelling)은 80m, 횡행(Traverse)은 20m 이며 최대 이동속도는 50m/min 이다. 본 크레인의 속도 패턴은 총 4 단속으로 되어 있으며 운전자에 의해 임의로 변속이 가능하다.

Fig. 10 은 실험조건을 보여주고 있다. Fig. 10 에 보이고 있는 바와 같이, 시작위치에서 목표위치까지 10m 를 종행으로 주행하여 바닥에 설치된 측정장치로 흔들림의 크기를 측정하였으며 총 10 회 반복하여 측정하였다.

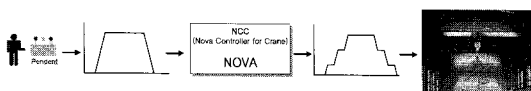


Fig. 8 Modified command generation for multi-speed crane with NCC



Fig. 9 Experimental 25ton crab crane (HENAN Heavy Industry Co., China)

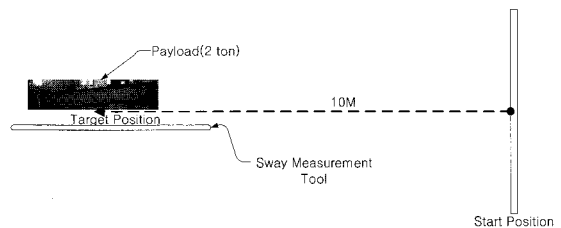
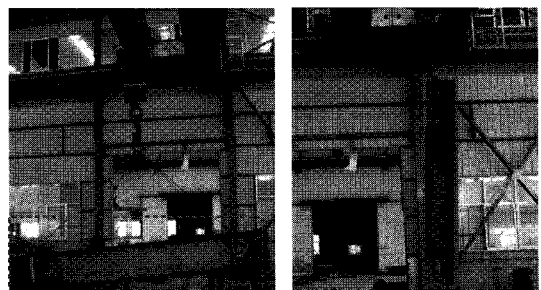


Fig. 10 Experimental condition

Fig. 11 은 실험에 사용된 중량물(Payload)의 종류를 나타낸 것이다. 현장에서 주로 사용하는 중량물 중 가장 넓은 것(Fig. 11(a))과 가장 긴 것(Fig. 11(b))을 사용하였다. 크레인 제어에 사용된 제어기인 NCC 는 다모드 흔들림 제어 알고리즘을 탑재하고 있어 두 개 이상의 중량물을 동시에 제어하는 것도 가능하다.

Table 1 은 위에 언급한 실험조건들을 자세히 정리한 것이다. 두 종류의 중량물 하중은 각각 15 톤과 2 톤이다. 실험에 사용된 속도는 50m/min 이며 양정은 7m 이다.



(a) wide payload (b) long payload
Fig. 11 Payloads used in the experiments

Table 1 Experimental condition

| Item | Description |
|-------------------|---|
| Payloads | wide payload (15ton) long payload(2 ton) |
| Maximum speed | 50m/min |
| Moving distance | 10m |
| Length | 7m |
| # of measurements | 10 |
| Controller | NCC-M (NOVA) |

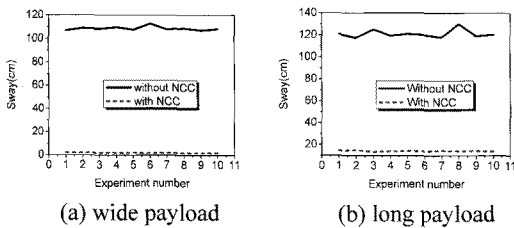


Fig. 12 Experimental results of sways in the inverter type crane with and without NCC

4.1.2 인버터 제어 실험 결과

Fig. 12 는 실험 결과를 나타낸 것이다. 동일한 운전자가 조작을 하였으며, 실제 운전 상황과 유사하게 운전자의 판단에 의해 정지를 결정하였으므로 목표위치에 대한 정밀도가 높지는 않다. 따라서 정지시점은 다소 유동적이다. 이것은 Fig. 12 의 NCC 를 사용하지 않았을 경우 얻어진 결과의 산포에서 잘 보여진다.

Fig. 12 에서 보여지는 바와 같이 입력성형기법을 적용한 결과 중량물의 무게와 형태에 상관없이 중량물 흔들림이 잘 제거됨을 알 수 있다. Fig. 12(a)는 흔들림 감소율이 대략 88%이고 Fig. 12(b)는 81%이다. 감소율은 흔들림 제거 기능을 적용하지 않은 경우를 기준으로 계산하였다. 결과로부터 입력성형기법이 크레인의 중량물 흔들림을 매우 효과적으로 제거할 수 있음을 확인할 수 있다.

특히, 실험에 참가한 운전자는 현지인으로써 설치 후 최초로 조작을 하였다. 중량물의 흔들림이 적어짐으로써 크레인의 조작에 특별한 경험이나 숙련도가 없어도 안정적인 운전을 할 수 있었다. 앞서 언급한 바와 같이 정지시점은 오로지 조작자의 판단에 의해 결정이 됨에도 불구하고 NCC 를 적용한 결과 정지시점의 변화에 관계없이 일정한 결과를 나타내고 있다. 이와 같이 흔들림에 대한 불확실성이 없어짐으로써 크레인을 누구나 쉽게 조작할 수 있게 된다.

4.1.3 온오프 제어(On/Off Control)

기존의 천장 크레인 중 10 톤 미만의 크레인에서 가장 많이 사용되어 온 제어형태가 온오프 방식이다. 온오프 방식의 가장 큰 특징은 인버터 방식과 달리 가속구간과 감속구간이 존재하지 않는다는 것이다. 크레인 제어방식 중 가장 낮은 수준의 제어 방식이며 중량물의 흔들림 또한 크게 발생하게 된다.

Fig. 13 은 온오프 방식 크레인에 있어 실제 입력된 명령에 대해 입력성형기법을 이용하여 수정된 명령이 생성되는 과정을 간략히 나타낸 것이다. 이와 같은 크레인의 중량물 흔들림을 제거할 수 있는 방법으로는 전통적인 입력성형기 중 UMZV(Unity Magnitude Zero Vibration)² 이 있으며, 본 논문에서는 NCC 에서 UMZV 성형기를 이용하여 수정명령을 생성하도록 하여 온오프 방식 크레인에서 입력성형기법의 성능을 검증하여 보았다.

온오프 방식을 사용하고 있는 천장 크레인에서 입력성형기법의 성능을 검증하기 위해 Fig. 14 와 같이 40 톤 크랩식 천장 크레인에서 실험을 실시하였다. 대상 크레인은 목포에 위치하고 있는 ㈜반도기계에 설치된 것으로 크랩식 천장 크레인이며, 총 중량인 30 톤에 주권(Main Hoist, 15 톤)과 보조권(Auxiliary Hoist, 10 톤)으로 구성되어 있고 총 양정은 15m 이다. 주행거리는 종행(Travelling)은 40m, 횡행(Traverse)는 12m 이며 최대 이동속도는 35m/min 이다. 본 크레인의 속도 패턴은 총 1 단속으로 되어 있다.

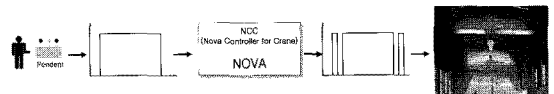


Fig. 13 Modified command generation for On/Off crane with NCC

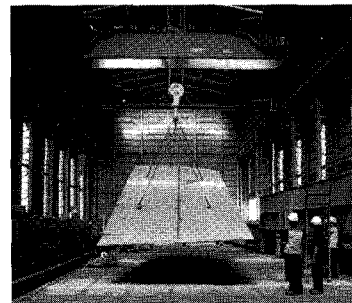


Fig. 14 Experimental 75ton crab crane(BANDO Crane Co. Ltd., Korea)

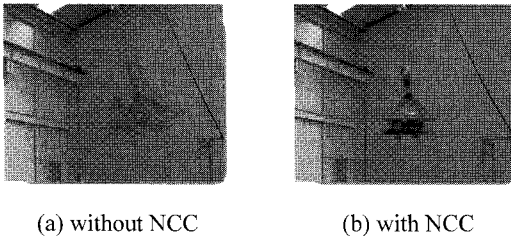


Fig. 15 Comparisons of the resultant sways for an On/Off type crane with and without NCC

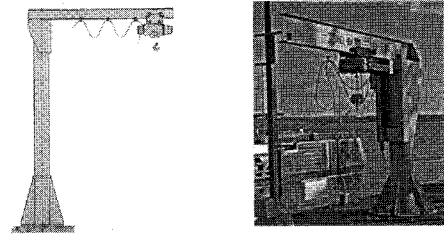
실험에 사용된 중량물은 Fig. 14 에 보여지는 바와 같이 4 개의 장착위치를 포함하는 대형 판재이다. 중량물의 중량은 대략 5 톤 정도이며 횡행으로 이동하면서 실험을 하였다. 이동거리는 대략 5m 이며 현장 운전자에 의해 조작되었다. 이때 양정은 대략 12m 이며 사용된 컨트롤러는 NCC-N(☞NOVA)이다.

실험 결과로는 크레인 중량물의 흔들림은 대략 75%정도의 감소율을 보였고, 특히 작업시간이 약 20% 이상 단축되었으며 현장 운전자가 느끼는 운전편의성이 좋아 초보 운전자임에도 불구하고 현장 주변과의 충돌에 대한 위험도가 크게 감소하였다.

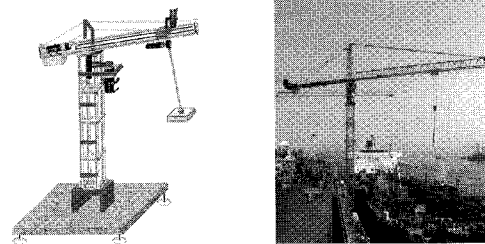
Fig. 15 는 산업현장에 가장 널리 사용되고 있는 소형 크레인인 총 중량이 2.8 톤 호이스트식 천장 크레인에 적용한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 15 에서 보여지는 바와 같이 NCC 를 적용하지 않은 경우(Fig. 15(a))에 비해 NCC 를 적용한 경우(Fig. 15(b))에 중량물의 흔들림이 현저히 줄어들음을 알 수 있다. 이때 중량물의 흔들림 감소율은 대략 75% ~ 80%이다. 일반적으로 온오프 방식 크레인은 인버터 방식 크레인에 비해 크레인 중량물의 흔들림 제거율이 떨어진다. 이것은 제어방식의 차이와 기구물의 비선형적 특성 때문이다. 이 경우에도 제어 방식을 인버터 방식으로 전환할 경우 크레인의 움직임이나 중량물의 흔들림 제거 효과가 개선된다.

4.2 지브 크레인 및 타워 크레인

천장 크레인과 함께 가장 널리 사용되고 있는 것이 지브 크레인이다. 이와 유사한 형태를 가지고 있는 타워 크레인 또한 건설용으로 널리 사용되고 있다. 본 논문에서는 지브 크레인과 타워 크레인의 유사한 운동을 한다는 측면을 고려하여 함께 소개하도록 한다.



(a) Jib crane



(b) Tower crane

Fig. 16 Jib crane and tower crane

Fig. 16 은 지브 크레인과 타워 크레인의 대표적인 형태를 보여주고 있다. Fig. 17 은 타워 크레인이나 지브 크레인에서 발생하는 중량물의 흔들림을 제거하기 위해 개발된 수정 입력성형기법 시험용 타워 크레인의 구성을 나타낸 것이다.⁶ 크레인 제어를 위한 명령생성과 제어를 담당하는 제어부와 중량물의 흔들림을 실시간으로 측정하기 위해 지브에 카메라 모듈이 장착되었다. 카메라 모듈에는 프로세서와 카메라가 장착이 되어 있으며, 자체 개발된 영상처리 알고리즘을 통해 중량물의 위치를 추적할 수 있다. 처리된 영상결과는 실시간으로 제어부에 전달하게 된다.

제어부에서는 기본적인 제어 외에 카메라 모듈에서 전달받은 중량물에 대한 위치신호를 이용하여 실시간으로 중량물의 흔들림 제어를 수행하게 된다. 최근에는 이와 같이 입력성형기법 외에 중량물과 트롤리 간의 상대적 위치를 측정하고 이를 되먹임하여 제어에 활용하는 복합적인 제어 방식이 개발되어 적용되고 있다. Fig. 18 에는 입력성형을 적용한 경우, 입력성형과 되먹임제어를 결합하여 사용한 경우를 제어하지 않은 경우와 비교한 그림이다. 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 타워 크레인에서는 입력성형기법과 되먹임제어를 결합한 경우 매우 효과적임을 알 수 있다. 본 장비를 이용한 추가적인 실험결과는 참고문헌^{7,8}에 상세히 기술되어 있다.

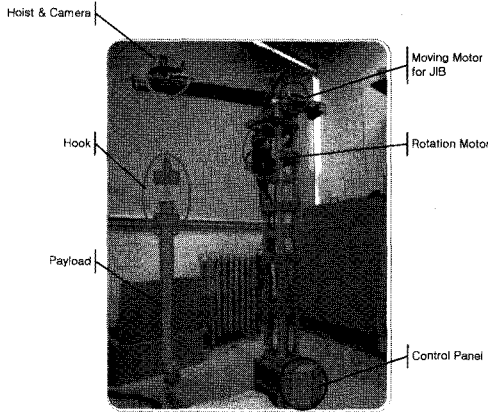


Fig. 17 Schematic diagram of experimental crane with NCC⁶

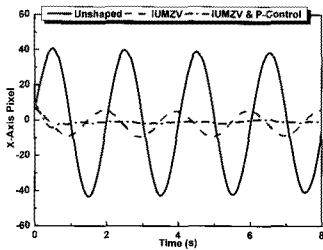


Fig. 18 Experimental results without control (unshaped), with improved input shaping (IUMZV) and with IUMZV and feedback control



Fig. 19 Operating procedure of a jib crane.

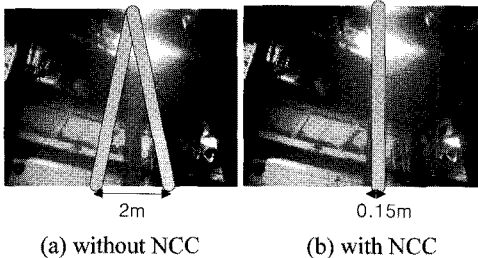


Fig. 20 Comparison of the resultant sways for jib crane with and without NCC

Fig. 19 는 국내 P 사에서 사용하고 있는 지브 크레인과 주요 작업내용에 대해 나타낸 것이다. 중량물의 형태는 실린더 형태이며 길이는 대략

8m 이다. 무게는 대략 2 톤 정도이며 Fig. 19 에서 보여지는 바와 같이 지면에 누워져 있는 중량물을 지브 크레인이 수직으로 만든 후 특정한 위치로 회전하여 장착하도록 되어 있다. 크레인의 속도제어는 온오프 방식을 사용하고 있으며 회전을 포함하여 총 세 개의 모터를 사용하고 있다. 총 양정은 대략 22m 정도이다.

주요공정으로는 중량물 장착(수평에서 수직으로 만들), 상승, 회전 그리고 거치대 장착으로 나누어져 있다. 기존의 작업 상황에서는 모든 공정에서 중량물의 흔들림이 발생하였으며, 특히 중량물 장착과정에서 가장 큰 흔들림이 발생하였다. 이와 같은 지브 크레인에 입력성형기법을 적용하기 위해서는 전통적인 입력성형기법만으로 어려움이 있다. 특히 회전동작 시 발생하는 중량물의 흔들림은 천정 크레인에서 발생하는 중량물의 흔들림 보다 복잡한 형태를 가지고 있다.⁶ 따라서 타워 크레인의 운동 특성을 고려한 새로운 알고리즘을 활용함으로써 지브 크레인에서 발생하는 중량물의 흔들림을 효과적으로 제거할 수 있다.

Fig. 20 은 Fig. 19 와 같은 공정의 지브 크레인에서 입력성형기법 적용 유무에 따른 중량물의 흔들림의 변화를 그림으로 표현한 것이다. Fig. 20(a) 는 제어기를 적용하지 않은 경우를, Fig. 20(b)는 적용한 경우 공정상에서 발생하는 중량물의 흔들림량을 나타낸 것이다. Fig. 20 에서 표시된 바와 같이 최대 2m 의 중량물 흔들림이 입력성형에 의해 0.15m 정도로 현저히 줄어들었다. 수정된 입력성형기법으로 중량물 흔들림 제어 알고리즘을 적용함으로써 대략 93%의 진동감소효과를 얻을 수 있었다.

이와 같은 결과를 바탕으로 새로운 알고리즘을 적용한 NCC 를 사용함으로써 복잡한 형태의 중량물 흔들림도 효과적으로 제거함과 동시에 실시간 영상처리 모듈을 통한 중량물 흔들림 제거의 신뢰성과 작업의 효율성을 증대시킬 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서 소개한 바와 같이 입력성형기법은 크레인에서 구동부의 운동으로 인해 발생하는 시스템의 잔류진동을 매우 효과적으로 제거할 수 있는 유용한 도구이다. 그러나 실제 시스템에 적용하여 좋은 효과를 얻기 위해서는 적용하고자 하는 시스템의 특성에 맞게 적절히 응용하여야 한다.

특히, 기존의 대형 크레인에서는 2 차 저항 방식과 싸이리스터 방식을 많이 사용하는데, 이 방식들은 아날로그 방식으로 시스템 특성에 의해 제어기법 적용에 큰 제한을 받으며 입력성형기법 적용을 위해서도 추가적인 보상 알고리즘이 요구된다. 현재 두 가지 방식의 크레인에 대한 효과적인 흔들림 제거 기술이 현안이 되고 있다.

입력성형기능을 갖는 운동제어기는 국내에서 최초로 상품화되어 생산 현장의 크레인에 적용되고 있으나, 보다 다양한 형태의 크레인에 대해 복합적 제어 기능을 갖는 제어기에 대한 요구가 커지고 있어 입력성형기능 외에 추가적 제어 기능을 결합한 시스템 기술과 이에 대한 상용화 시스템을 개발하는 것 또한 중요하고 시급한 과제이다.

후 기

본 연구는 중소기업청이 지원하는 “창업성장기술개발사업”의 일환으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Kim, H. H. and Lee, G., “An Analysis of the Accident Types and Causes of Construction Cranes,” Proceedings of KIC Spring Conference, Vol. 7, No. 1, pp. 109-112, 2007.
2. Singhose, W. E. and Seering, W., “Command Generation for Dynamic Systems,” Lulu.com, 2010.
3. Singhose, W. E., “Command Shaping for Flexible Systems: A Review of the First 50 Years,” International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 10, No. 4, pp. 153-168, 2009.
4. Park, S. W., Hong, S. W., Choi, H. S. and Singhose, W., “Discretization Effects of Real-Time Input Shaping in Residual Vibration Reduction for Precise XY Stage,” Trans. of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 16, No. 4, pp. 71-78, 2007.
5. Hong, S. W., Park, S. W. and Danielson, J., “A Method for Manufacturing Machine Vibration Reduction using Multi-mode Input Shapers,” Proceedings of International Symposium on Flexible Automation, 2008.
6. Hong, S. W., Park, S. W. and Danielson, J., “A New Design Method for Multi-mode Input Shapers to Eliminate Residual Vibration in Dynamic Systems,” J. of the KSPE, Vol. 26, No. 4, pp. 100-106, 2009.
7. Kim, B. G. and Hong, S. W., “Input Shaper Design for Tower Crane in Consideration of Nonlinear Coupled Motions,” J. of the KSPE, Vol. 26, No. 9, pp. 88-95, 2009.
8. Kim, B. G., Bae, G. H. and Hong, S. W., “Development of miniature tower crane and payload tracking system using web-camera for education,” Proceedings of the IASTED Technology Conference, 2010.