



초음파 접합 공정을 합성한 자동차용 램프 생산시스템 제어에 관한 연구

†이일권 · 국창호 · 김승철 · 김기진* · 한기봉**

대림대학교 자동차공학과, (주) 알리*, 중원대학교 기계공학부**
(2014년 1월 17일 접수, 2014년 2월 21일 수정, 2014년 2월 21일 채택)

A Study for Automotive Lamp Manufacturing System Control Composing Ultra melting Process

†IL-Kwon Lee · Chang-Ho Kook · Seung-Chul Kim · Ki-Jin Kim* · Ki-Bong Han**

Department of Automotive Engineering, Daelim University College,

**ALI Co., LTD,*

***Department of Mechatronic Engineering, Jungwon University*

(Received January 17, 2014; Revised February 21, 2014; Accepted February 21, 2014)

요약

이 논문의 목적은 자동차 램프의 초음파 접합 공정을 합성한 자동차 램프 생산시스템에 관한 연구이다. 램프어셈블리를 생산할 때 독립된 단순 공정에 의해 사출과 초음파 접합, 항온풀림, 조립과 포장을 하던 분리된 작업공정을 원스텝(One-step) 일관공정으로 합성하여 초음파 접합시 발생하는 미세한 발생가스와 소음에 대하여 작업자에게 미치는 영향을 최소화하였다. 또한, 합성 공정에 의한 에너지 저감과 이를 자동공정에 의해 생산함으로써 생산 효율을 극대화하였다. 이 방식은 제어시스템의 타당성을 검토하기 위해 수학적 모델링을 하였고, 이들 수식을 이용하여 플랜트의 전달함수와 필요에 따라 bode선도를 이용하여 안정성과 적합한 제어를 선정하였다. 이 연구에서 사출 물을 뒤집기 위한 180° 회전 제어장치는 중력의 영향으로 비선형 항 $M_{cg} \cos\theta(t)$ 이 나타났고, 이를 해결하기 위해 피드포워드 제어기법을 적용하여 시스템의 선형화 및 안정화를 확보하였다.

Abstract - The purpose of this paper is to study of the vehicle lamp manufacturing system composing ultrasonic waves connection process. Making lamp assembly plant, it was produced in the separate process as the injection molding, ultrasonic waves bonding, annealing in the constant temperature, lamp assembling and packing. But the improvement method producing the lamp was added with one-step process by one automation technique. As a result, welding with ultrasonic waves process, the method decreased the energy consumption and noise during ultrasonic waves welding. Therefore, this method used the mathematics modeling for checking validity, it selected the stability and suitable controller using transfer function of plant and bode chart. In this study, the 180° revolution control system to turn injection part upside down was $M_{cg} \cos\theta(t)$ because of gravity influence. It effected to unstable condition a system. For solving this problem, it aimed the linearization and stabilization of system by elimination $M_{cg} \cos\theta(t)$ as applying Free-forward control technique.

Key words : Injection molding, Ultrasonic waves bonding, Reliability analysis, Bode chart, Feed-forward method

†Corresponding author: iklee@daelim.ac.kr

Copyright © 2014 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

종합기계 산업의 하나인 자동차에서 자동차용 램프를 제조, 생산할 때 램프의 어셈블리는 내구성이 충분히 확보되어야 하며, 특히, 기밀성의 확보도 매우 중요하다. 램프 내부로 습기가 유입되어 별브의 접등시 손상에 의해 작동불량 현상이 발생되지 말아야 한다. 이러한 불량현상을 최소화하고 생산공정의 효율성을 위해 공정을 합성하는 것으로 기존의 사출과 초음파접합, 향온폴립, 조립, 포장 등의 개별 제조 공정 대비, 운송비, 소요 에너지 절감과 더불어 생산성이 획기적으로 절감되는 제조공법을 이용하여 램프를 생산하고 있다. 최근에는 이러한 공정 합성 시스템의 효율성을 높이기 위한 방안으로 환경친화적인 공정개선의 필요성이 부각되었다. 이러한 제어를 위해 기계적인 부분공정에서 자동화 시스템인 일관공정으로 변화시키기 위해 온오프(On-Off) 제어 기법을 적용하여 비선형적인 제어를 선형적인 제어로 연구결과도 발표되었다[1].

자동차 램프 제조를 생산하는 방법은 기존의 사출품을 분리하여 램프를 생산함으로써 접합온도의 불균일성, 초음파 접합시 가스발생과 소음문제가 생산성을 떨어뜨리는 요인이 되었다. 따라서, 자동차 램프를 생산하던 기존의 단일공정에서 발생되던 문제를 개선함으로써 초음파 접합공정에서 발생하는 수지의 미세한 용융가스에 의한 작업자의 용접가스 노출영향도 자동화함으로써 용융가스가 작업자에게 차단되는 효과도 얻을 수 있게 되었다. 또한, 제품 생산시 지연(delay) 되던 시간과 에너지 소비를 줄이는 효과도 동시에 얻게 되었다.

따라서 이 논문은 자동차 램프를 생산하는 데 있어 일괄(one-step)생산 자동차 시스템을 개발하고 이를 적용하여 최적의 시스템을 구현하는 데 있다.

II. 이론적 배경

2.1. 자동차용 라이팅 시스템

자동차 라이팅(lighting) 시스템은 운전자의 전면 시야 확보를 위한 전조등, 자동차의 위치를 확인시켜주는 미등, 경고등과 방향 지시등, 제동등, 변속판 표시등, 실내등과 같은 다양한 점등시스템으로 분류된다.

2.2. 사출공정

자동차의 라이팅 시스템은 플라스틱을 재료로 하여 생산이 된다. 이러한 사출공정은 플라스틱의 원료를 가열하여 실린더 형태의 용기에 공급하여 녹여,

용융된 플라스틱 재료는 유압 플런저나 압출기의 회전 스크류에 의해 상형과 하형으로 구성된 금형(die)의 부위로 이동되어 원하는 형태로 압력을 가하여 찍어낸다[2].

2.3. 초음파 접합공

일반적으로 초음파 접합공은 초음파 에너지를 사용하여 기존의 용융 용접과 다른 특성을 가진 용접효과를 얻을 수 있다. 초음파 용접에서는 금속에 적용하는 것과 플라스틱 등에 적용하는 경우가 있는데 이 연구과제에서는 플라스틱에 적용하는 용접방법이다. 플라스틱의 초음파 용접에서는 접합면에 수직으로 초음파 진동을 가하여 접합한다[3].

III. 자동화제어시스템 안정성 해석

3.1. 공정들 사이의 레이아웃의 적합성

램프를 생산할 때 렌즈와 하우징이 결합된 상태로 직교 로봇에 의해 초음파작업 공정으로 이송할 수 있는 공간 확보, 초음파접합 장치를 장착할 수 있는 공간, 수밀검사작업 공간 및 배출장치공간을 확보하여 이들 작업이 연속적으로 진행할 수 있도록 각각의 공정들을 배치하였다. 하우징과 렌즈 등의 사출물을 뒤집기위한 회전제어장치는 솔레노이드 밸브(Solenoid valve), 공압모터, 로봇 팔, 지그로 구성되어있다[4,5]. 램프를 생산할 때 작업공정은 Fig. 1에서 보는 것과 같이 자동화 생산라인에 의해 One-stop으로 생산하기 위한 공정으로 각 요소들의 기능은 다음과 같다.

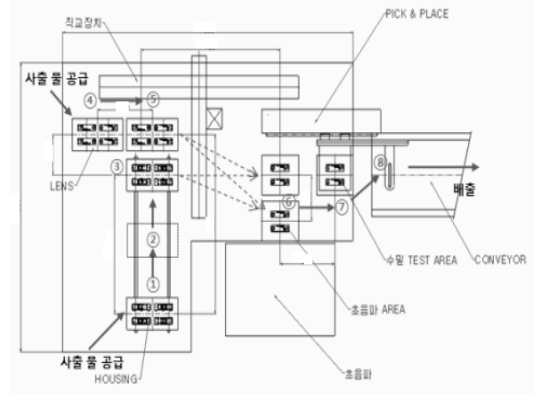


Fig. 1. Manufacturing process of automation system.

- 1) ①번 지그를 180° 회전시켜 사출물을 ②번 지그로 옮겨 하우징을 반전시킨다.
- 2) ②번 지그는 직선운동으로 ③번 지점으로 이동시킨다.
- 3) ④번 지그를 180° 회전시켜 사출물을 ⑤번 지그로 옮겨 렌즈를 반전시킨다.
- 4) ③위치에 있는 하우징 사출물을 직교로 붓에 의해 ⑥번 초음파지그로 옮긴다.
- 5) ⑤지그 위에 있는 렌즈 사출물을 직교로 붓으로 ⑥번 초음파지그 위에 있는 하우징 사출물 위에 결합시킨다.
- 6) ⑥번 초음파지그 위에 있는 초음파 접합된 사출물을 직교로 붓에 의해 ⑦번 검사 지그위로 옮긴다.
- 7) 수밀 검사에서 합격된 제품은 직교 로봇에 의해 ⑧컨베이어 벨트로 옮기고, 불합격한 제품은 불량처리를 한다.

3.2. 안정성 해석

안정성 해석을 위하여 자동화 제어시스템의 적합성에 대하여 검토하였다. 이를 바탕으로 자동화 제어시스템의 안정성에 대하여 해석하였다.

3.2.1. 사출물 180° 회전 제어장치

Fig. 2는 사출물이 뒤집히는 과정을 보여주는 것이다. 먼저 ①위치에서 사출물이 지그 위에 고정된 후 로봇 팔이 180° 회전에 의해 ⑤위치를 지나 ③위치에서 사출물을 뒤집게 된다.

Fig. 3은 지그가 장착된 로봇 팔의 자유물체도를 보여주는 것이다.

여기서 J_{eq} , M_{eq} , l , θ , $T(t)$ 는 각각 지그와 로봇 팔의 관성모멘트, 지그와 로봇팔의 질량, 회전중심에서 지그와 로봇팔의 무게중심까지 거리, 회전각도, 제어하기위해 외부에서 공급하는 토크를 나타낸다. 이를 Newton 법칙을 적용하여 운동 방정식을 구하면 식 (1)과 같다.

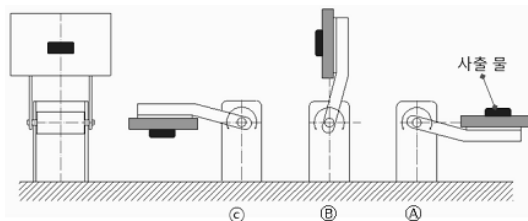


Fig. 2. working process turning injection object.

$$J_{eq} \ddot{\theta}(t) + B\dot{\theta}(t) - M_{eq} l \cos \theta(t) = T(t) - \Delta(t) \quad (1)$$

여기서, B 는 회전할 때 축에 작용하는 점성 감쇠를 나타낸다. 비선형 항 $M_{eq} l \cos \theta(t)$ 을 없애기 위해 외부에서 외력 $\Delta(t)$ 를 공급한다고($M_{eq} l \cos \theta(t) = \Delta(t)$) 가정하면 식(1)은 다음과 같이 표현된다.

$$J_{eq} \ddot{\theta}(t) + B\dot{\theta}(t) = T(t) \quad (2)$$

사출물을 뒤집기 위한 180° 회전 제어장치의 안정성을 판별하기위해 먼저 식(2)을 Laplace 변환을 하여 플랜트 전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{\Theta(s)}{T(s)} = \frac{1}{(J_{eq} s + B)s} \quad (3)$$

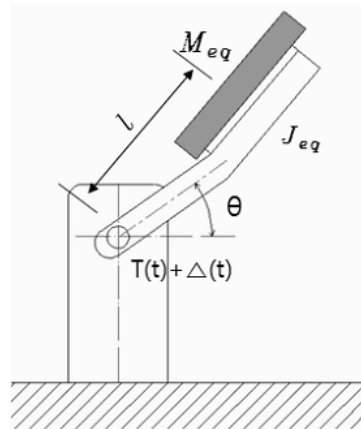


Fig. 3. Free body diagram of robot arm installing jig.

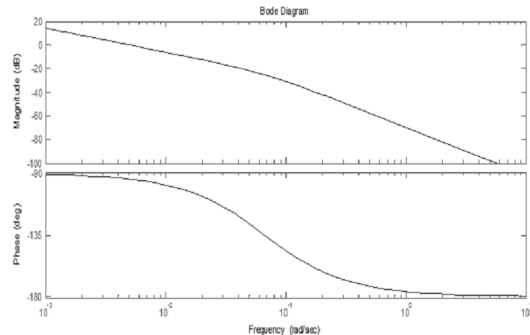


Fig. 4. Bode chart.

전달함수의 분모 항에서 적분요소 $\frac{1}{s}$ 가 존재한다. 즉, 이는 위치제어를 할 때 정상상태 오차가 0임을 알려준다. Fig. 4는 플랜트의 Bode선도를 보여주는 것이다. 따라서, 여기서 시스템은 안정성이 보장됨을 알 수 있다.

3.2.2. 직선 운동제어 메커니즘

Fig. 5는 직선운동제어 메커니즘을 보여주는 것이다. 직선운동 제어 메커니즘은 직선운동만을 할 수 있도록 하는 레일과 레일 위를 왕복 직선운동을 하는 운반대, 운반대에 부착된 지그가 있다. 또한 운반대 밑에서 운반대를 작동시키는 공압 실린더가 장착되어 있다.

Fig. 6은 직선운동 메커니즘의 자유물체 도를 보여주는 것이다. 여기서 M_{eq} 는 사출물, 지그 및 운반대의 합한 등가질량을 나타낸다. 그리고 C , $x(t)$, $F(t)$ 는 각각 레일과 운반대사이의 점성 감쇠계수, 운반대의 변위, 운반대의 위치를 제어하는 힘을 나타낸다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

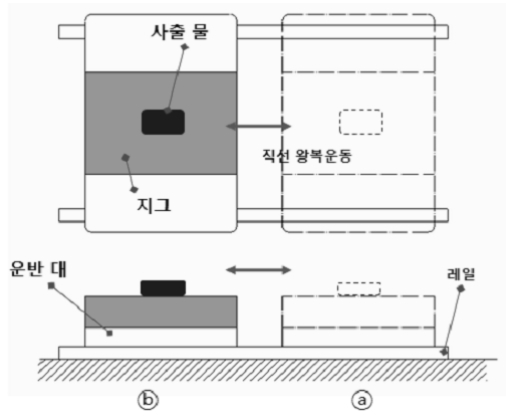


Fig. 5. Plant mechanism of a straight line motion.

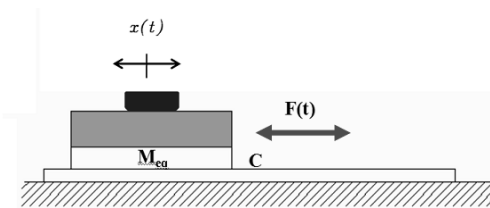


Fig. 6. Free body diagram of a straight line motion plant mechanism line.

$$M_{eq} \ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) = F(t) \quad (4)$$

직선운동을 하는 플랜트 메커니즘 제어기의 안정성을 판별하기위해 먼저 식 (4)를 Laplace 변환하여 전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{(M_{eq} s + C)s} \quad (5)$$

식(5)에서 전달함수를 살펴보면 먼저 분모다항식이 근이 영과 음이 값을 갖는 것을 알 수 있다. 이는 플랜트에 적분요소 $\frac{1}{s}$ 존재하기 때문에 정상상태 오차가 영(zero)임을 알 수 있고, 또한 분모다항식에서 근의 음이기 때문에 시스템은 항상 안정함을 알 수 있다. Fig. 7은 직선운동을 하는 플랜트 메커니즘의 bode선도이며, 항상 안정함을 보여주고 있다.

3.2.3 3자유도 직교좌표 로봇

Fig. 8은 3자유도 직교좌표 로봇을 보여주고 있다. 직교 좌표 로봇은 서로 독립좌표를 가지고 작동

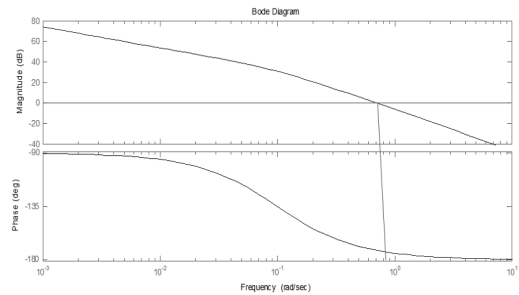


Fig. 7. Bode chart of a straight line plant mechanism.



Fig. 8. Rectangular coordinates robot for tripple-degree of freedom.

하기 때문에 다음과 같은 순서로 작업을 수행한다.

- 1) ①번 로봇이 전후 방향으로 일정위치까지 이동한다.
- 2) ②번 로봇이 좌우 방향으로 일정위치까지 이동한다.
- 3) ③번 로봇이 상하 방향으로 일정위치까지 이동한다.

3자유도 직교좌표 로봇은 각각의 운동이 독립적이기 때문에 전후방향 운동메커니즘, 좌우방향 메커니즘, 상하운동메커니즘으로 나누어서 동역학적 해석을 해도 무방하다. Fig. 9는 3자유도 직교좌표 로봇의 전후방향 운동메커니즘의 자유물체도를 보여주는 것이다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$M_{FR} \ddot{x}(t) + C_{FR} \dot{x}(t) = F_{FR}(t) \quad (6)$$

식(6)에서 M_{FR} , C_{FR} , $F_{FR}(t)$, $x(t)$ 은 각각 질량, 감쇠계수, 외력, 변위를 나타낸다. 이를 안정성을 검토하기 위해서 먼저 식(6)을 Laplace 변환하여 전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{X(s)}{F_{FR}(s)} = \frac{1}{(M_{FR}s + C_{FR})s} \quad (7)$$

식 (7)의 분모 다항식의 근을 살펴보면 영과 음을 가짐을 알 수 있다. 이는 위치 제어할 때 적분요소 (1/s)를 가지고 있기 때문에 정상상태오차가 영임을 의미하고 나머지 한 근은 음의 값($s = -C_{FR}/M_{FR}$)을 가지고 있기 때문에 시스템이 안정함을 나타낸다.

Fig. 10은 3자유도 직교좌표 로봇의 좌우방향 운동메커니즘의 자유물체도를 보여주는 것이다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$M_{LR} \ddot{x}(t) + C_{LR} \dot{x}(t) = F_{LR}(t) \quad (8)$$

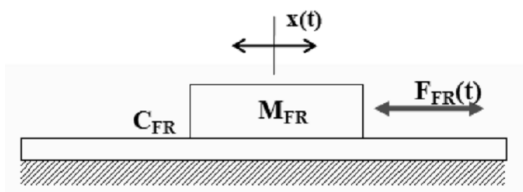


Fig. 9. Free body diagram of robot moving in the forward-backward direction.

식(8)에서 M_{LR} , C_{LR} , $F_{LR}(t)$, $x(t)$ 은 각각 질량, 감쇠계수, 외력, 변위를 나타낸다. 이를 안정성을 검토하기 위해서 먼저 식(7)을 Laplace 변환하여 전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{X(s)}{F_{LR}(s)} = \frac{1}{(M_{LR}s + C_{LR})s} \quad (9)$$

식 (9)의 분모 다항식의 근을 살펴보면 영과 음을 가짐을 알 수 있다. 이는 위치 제어할 때 적분요소 (1/s)를 가지고 있기 때문에 정상상태오차가 영임을 의미하고 나머지 한 근은 음의 값($s = -C_{LR}/M_{LR}$)을 가지고 있기 때문에 시스템이 안정함을 나타낸다.

Fig. 11은 3자유도 직교좌표 로봇의 상하방향 운동메커니즘의 자유물체도를 나타낸다. 여기서 항상 중력(Mg)이 작용하기 때문에 이를 보완하는 힘(F_o)을

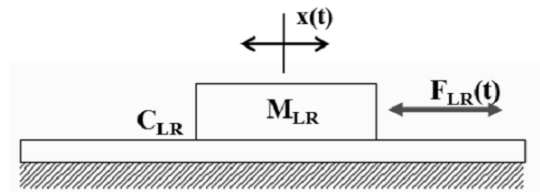


Fig. 10. Free body diagram of robot moving direction of right and left.

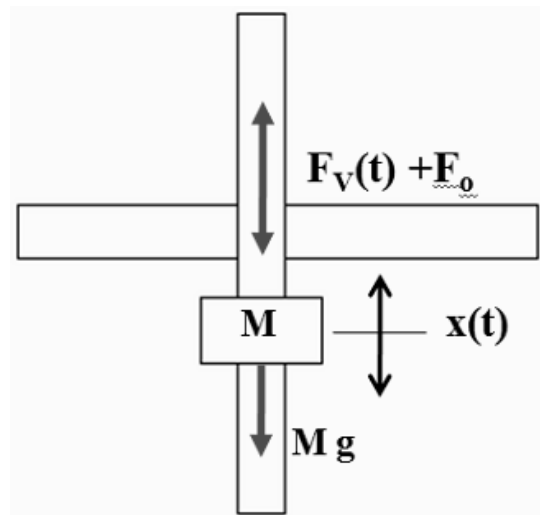


Fig. 11. Free body diagram of robot moving direction of up and down.

항상 작용시킨다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$M\ddot{x}(t) + C_V \dot{x}(t) - Mg = F_V(t) - F_o \quad (10)$$

식(10)에서 M , C_V , Mg 는 각각 질량, 감쇠계수, 물체에 작용하는 중력을 나타내고, F_o , $F_V(t)$, $x(t)$ 는 각각 외부에서 일정하게 작용하는 힘, 제어력, 물체의 변위를 나타낸다. 여기서, 중력의 영향을 없애기 위해 $Mg = F_o$ 로 하면 식(10)은 다음과 같다.

$$M\ddot{x}(t) + C_V \dot{x}(t) = F_V(t) \quad (11)$$

이를 안정성을 검토하기위해서 먼저 식(11)을 Laplace 변환하여 전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{X(s)}{F_V(s)} = \frac{1}{(Ms + C_V)s} \quad (12)$$

식 (12)의 분모 다항식의 근을 살펴보면 영과 음을 가짐을 알 수 있다. 이는 위치 제어할 때 적분요소($1/s$)를 가지고 있기 때문에 정상상태오차가 영임을 의미하고 나머지 한 근은 음의 값($s = -C_V/M$)을 가지고 있기 때문에 시스템이 안정함을 나타낸다.

IV. 결론

이 연구에서는 제어시스템의 타당성을 위해 수학적 모델링을 하여 수식을 이용하여 플랜트의 전달함수와 필요에 따라 bode선도를 구함으로써 안정성과

적합한 제어를 선정하였다. 사출물을 뒤집기 위한 180° 회전 제어장치에서, 중력의 영향으로 인해 비선형항 $M_{eq} l \cos\theta(t)$ 이 존재하며, 이 요소는 시스템을 불안정하게 하였다. 이를 해결하기위해 피드포워드 제어기법을 적용하여 $M_{eq} l \cos\theta(t)$ 항을 제거함으로써 시스템의 선형화 및 안정화를 추구하고, 피드포워드 제어기법을 적용하여 ON-OFF제어를 시도하여 시스템의 안정성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청(제조현장 녹색화 기술개발 사업, 2013년)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] Woo-sun Jeon, et al, "A Study on Pressure Simulator Design of Underwater Vehicle Using Pneumatic Pressure", Proceedings of 1999 KSPE Autumn Conference, 771~776, (1999)
- [2] Sang-wook An, "Workshop Practice", Bog-doo, 601~606, (1999)
- [3] Jing-koo Lee, "Precision Manufacture Engineering", Ki-geon research, 560~562, (2003)
- [4] SMC, "Hydropneumatic Manual", (2013)
- [5] Ki-bong Han, et al, "Easy Automation Control" Koo-min, (2004)