

계란선별기 파커홀더 캠 개발

이 장 용*

(2008년 6월 2일 접수, 2008년 8월 21일 수정, 2008년 8월 26일 심사완료)

Cam Design of Packer Holder in Egg Grading Machine

Jangyong Lee

Key Words: Egg Grading Machine(계란선별기), Packer Holder(파커홀더), Cam Profile(캠 형상), Cam Function(캠 함수), Follower(종동기구)

Abstract

Egg grading machine is used in poultry raising industry to classify eggs by their weight and to pack up them. Packer holder mechanism is a main part of the egg grading machine, of which role is to take eggs fallen from conveyor belt, and afterward to transfer eggs vertically to mold tray. The vertical motion of packer holder is usually driven by slider-crank mechanism or cam. This paper describes development of the cam in packer holder based on kinematic analysis of packer holder mechanism and measurement of acceleration and noise of the cam to verify performance of it. Several cams that are designed and manufactured by the author of this paper according to different design specification are compared to determine the best solution for egg transfer in the packer holder mechanism.

1. 서 론

전 세계 모든 나라에서 많은 양이 소비되고 있는 계란은 신선도 유지를 위해 현지에서 생산되고 판매되는 대표적인 축산제품 중 하나이다. 계란의 신속한 분류 및 포장을 위해 사용되는 계란선별기는 계란을 중량에 따라 선별하여 이것을 계란판에 담은 축산장비이다.

계란선별기 시스템에서 계란에 대한 작업이 진행되는 순서는 다음과 같다.

- i) 계란의 세척 및 건조
- ii) 계란 중량측정(다섯 등급으로 분류⁽¹⁾)
- iii) 컨베이어를 따라 계란이동
- iv) 자신의 무게에 따라 계란을 컨베이어에서 파

커홀더의 바스켓으로 이송

- v) 계란을 파커홀더의 바스켓에서 계란판으로 이송

상기 iv) 과정에서 계란이 무게에 따라 선별된다. 컨베이어에서 이동하던 계란은 자신의 무게에 해당하는 파커홀더 위치에 오면 스톱노이드의 미는 힘에 의하여 계란을 담고 있던 버켓(bucket)이 열리게 되어 아래에 위치한 파커홀더의 바스켓 안으로 떨어진다.

파커홀더에는 5 개의 바스켓이 있으며 계란이 이것을 모두 채우면 수직하 방향으로 운동을 하여 계란판으로 계란을 이송한다. Fig. 1에 파커홀더 메커니즘을 도시하였다. 계란의 이송은 신속히 이루어져야 하지만 동시에 이동 중에 가속도가 중력가속도를 넘지 않아야 하며 계란을 받을 때와 방출할 때는 바스켓이 정지해 있어야 한다. 기존 파커홀더에서는 슬라이더 크랭크 메커니즘이 사용되었다. 이 메커니즘은 일정기간 동안 운동이 멈추어 있게(dwell) 할 수 없고 상승과 하강운동의 속도, 가속도를 서로 다르게 할 수 없기 때문에 파커홀더가 고속작동을 하기 어렵다.

† 회원, 한국생산기술연구원

E-mail : caravan@kitech.re.kr

TEL : (041)589-8417 FAX : (041)589-8231*

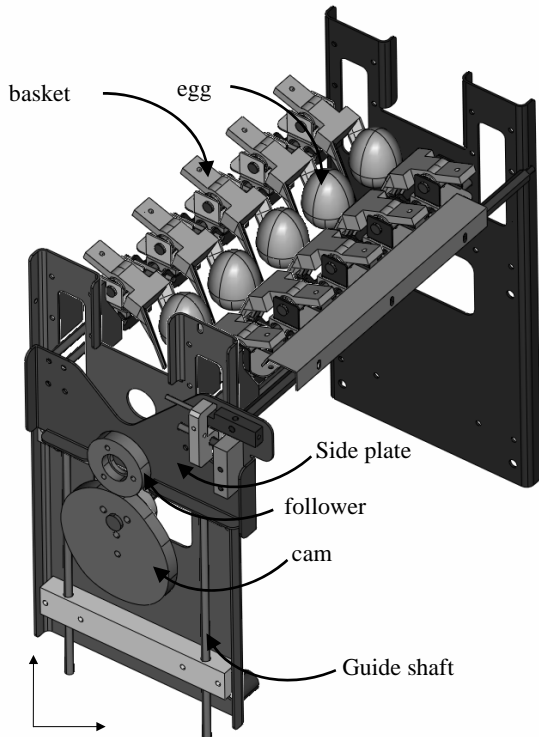


Fig. 1 Packer holder mechanism

파커홀더의 또 다른 메커니즘으로 캠이 사용되어 왔는데 국내에서는 외국제품을 역 설계(reverse engineering) 하여 캠을 제작하였다. 캠을 측정에 의하여 단지 형상만을 모방한다면 그것이 구동될 때의 속도 및 가속도가 원하는 조건을 갖기 어렵다.

본 논문은 계란선별기 파커홀더에 사용되는 반경 캠의 개발 및 성능시험에 대해 기술하고 있으며 이를 통하여 캠 설계의 주요사항에 대해 고찰해 보고자 한다.

2. 바스켓에서의 계란운동

2.1 바스켓과 계란의 운동

바스켓은 컨베이어에서 투하되는 계란을 담아서 (Fig. 2(a)참조) 수직인 아래방향으로 계란을 이송하다가 왼쪽의 바스켓이 시계방향으로 회전하며 열려서(Fig. 2(b) 참조) 계란이 자체 중량에 의하여 아래에 위치한 계란판으로 투하된다. 그 후 바스켓은 다음 계란을 이송하기 위해 다시 상승운동을 하게 된다. Fig. 1에 나타낸 바와 같이 종동기구에 결합되어 있는 바스켓은 캠에 의해 구동된다.

신속하고 안전한 계란의 이송을 위하여 바스켓의 운동에 요구되는 사항은 다음과 같다.

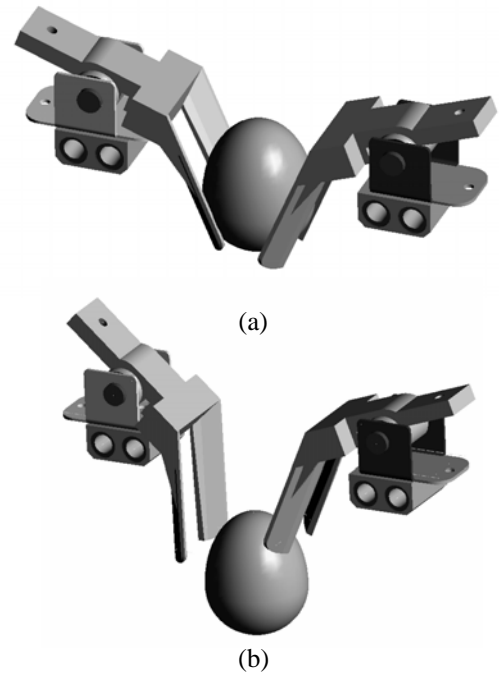


Fig. 2 Movement of basket and egg

- i) 운동의 상사점에서 계란이 투여되어 바스켓에 안착하기까지 바스켓이 일정시간 동안 이동하지 않아야 한다.
- ii) 운동의 하사점에서 계란이 계란판에 안착할 때까지 바스켓은 일정높이 이상 상승하지 않아야 한다.
- iii) 계란을 이송하는 하강운동에서는 비교적 저속으로 이동하여 계란에 가해지는 힘과 충격을 최소화 해야 한다.
- iv) 바스켓이 하강 운동하는 중에 계란과 항상 접촉을 유지해야 한다.

위의 조건 i), ii)를 만족시키기 위해 캠은 상승운동과 하강운동이 끝난 시점에서 각각 한번의 dwell이 필요하다. 조건 iv)를 만족시키기 위해서는 바스켓과 계란의 운동을 분석할 필요가 있으며 상하 방향으로 이동하는 계란에 작용하는 힘을 Fig. 3에 나타내었다. 계란의 질량을 m_e , 바스켓으로부터 가해지는 연직 방향의 반발력의 합을 F_e , 계란의 가속도를 a_e , 중력가속도를 g 라고 할 때, Fig. 3에 나타낸 계란의 운동방정식은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$m_e g + F_e = m_e a_e \quad (1)$$

계란과 바스켓의 하강운동(-y 방향) 구간에서 바스켓의 가속도가 중력가속도를 능가하면 계란이 바스켓에서 분리되어 공중에 뜨는 상황이 발생하고 계란은 자유낙하 하게 된다.

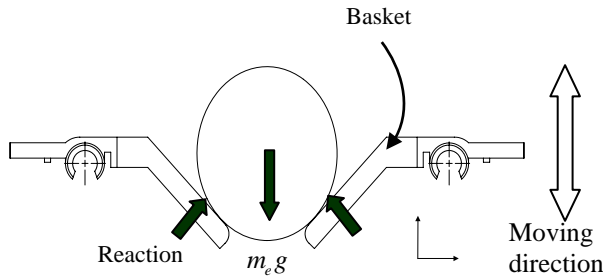


Fig. 3 Force acting on an egg in basket^(1,2)

이후 바스켓과 계란의 속도차이가 없어지게 되면 서로 충돌한다. 이때 계란표면에 실금이 가거나 계란이 바스켓 밖으로 튀어나오는 현상이 발생하게 되는데 이것은 계란선별작업에 매우 큰 지장을 준다.

계란을 투하하고 상승운동(y 방향) 할 때 바스켓에 가해지는 가속도는 +y 방향에서 -y 방향으로 바뀌게 된다. -y 방향의 가속도가 중력가속도 g 를 능가할 경우 계란과 바스켓이 서로 분리되며 이후 속도차이가 없어지면 다시 충돌한다.

상승운동과 하강운동 구간에서 바스켓과 계란 사이에 발생하는 이와 같은 현상은 Fig. 1에 나타난 캠과 종동기구 사이에서도 같은 원리로 존재한다. 캠을 정밀하게 가공 하더라도 실제 작동할 때는 캠의 가공오차와 종동기구의 진동으로 인해 보통 이론적인 설계 값 보다 두 배 이상 많은 가속도가 발생한다. 이러한 문제 때문에 캠과 종동기구 사이에 스프링을 장착하여 지속적인 접촉을 유지하게끔 하는데 이 경우에도 종동기구의 -y 방향의 이론적인 최대가속도는 중력가속도를 넘지 않도록 한다. $a_{follower}$ 가 종동기구의 가속도를 의미한다고 할 때 이 조건을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$a_{follower} > g (= -9.81m/s^2) \quad (2)$$

본 논문에서는 혼돈방지를 위하여 -y 방향의 가속도를 표현할 때 절댓값을 기준으로 크기를 나타내었다. 예를 들어, 가속도가 $-10 m/s^2$ 이면 중력가속도 보다 크다고 기술한다.

2.2 캠 사양

파커홀더 캠의 기구적 역할은 종동기구에 연결된 바스켓을 상하로 운동시켜서 계란판으로 계란을 이송하는 것이다. 개발하려는 캠의 사양을 Table 1에 수록하였다. 캠의 회전에 의해 종동기구의 직선 왕복운동이 필요하므로 반경 캠이 선택되었고 스프링에 의해 롤러 종동기구와 서로 고정되는 형태를 취한다. (force closure)

Table 1 cam specification

specification	description
1. Type of cam	radial
2. Type of follower	roller
3. motion constraints	Critical extreme position
4. Joint between cam and follower	Force closure

캠에 요구되는 운동특성은 종동기구가 상사점과 하사점 사이를 직선 왕복운동 하며 양 극단에서 운동이 없는 double dwell 캠이다.

3. 캠 설계

3.1 캠 개발순서

본 논문에서 캠을 개발하기 위해 밟아나간 과정을 Fig. 4에 나타내었다. 첫 번째 순서로, 개발할 캠의 사양을 2장에서 논의한 캠의 운동조건 및 식 (2)에 나타난 구속조건에 기반하여 결정한다. 그리고 캠 회전각에 대해 종동기구의 운동형태를 배분한 Timing diagram을 작성한다. 지금까지의 작업에 기반하여 설계요구조건에 가장 적합한 캠 함수^(1,2)를 dwell을 제외한 운동구간에 대하여 선택하고 이것을 이용하여 캠 형상(cam profile)을 설계한다.

종동기구의 운동방향과 캠에서 받는 힘의 방향 사이의 각도인 압력각은 두 가지 점에서 고려되어야 한다. 첫째는 종동기구의 운동이 가이드와 과도한 마찰이 없게 하기 위한 것이고 둘째는 압력각 때문에 캠과 롤러 종동기구의 접촉지점이 본래 의도했던 위치와 달라지게 되면 캠 형상설계에서 이를 보정해야 한다. 캠 형상의 설계를 완료하고 두 물체의 지속적인 접촉을 위해 스프링이 필요하다고 판단되면 스프링의 사양 및 장착위치 등을 결정한다.

3.2 파커홀더 캠의 주요 설계변수

파커홀더 메커니즘은 바스켓이 상사점에 위치했을 때 계란이 컨베이어에서 낙하되어 바스켓에 담기기까지 일정시간 동안 모터가 회전하지 않고 정지해 있다. 이 정지시간을 본 논문에서는 Tdelay라고 정의하는데 캠 설계에서 이 값은 상사점에서의 dwell(high dwell)에 영향을 주는 주요 설계변수이다. Table 2에 본 논문의 캠 설계에서 사용되었던 설계변수들을 수록하였다.

Table 2 cam design variables

name	description
Tdelay	Time of standstill at the top of follower
Dpor	Ratio of cam rotation angle allowed to falling motion
Cam function	Function for cam profile, i.e. modified trapezoid, modified sine.

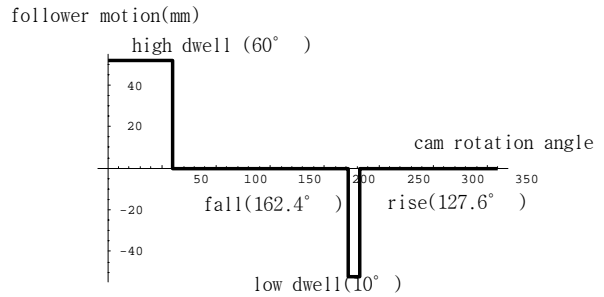


Fig. 5 Timing diagram^(2,3)

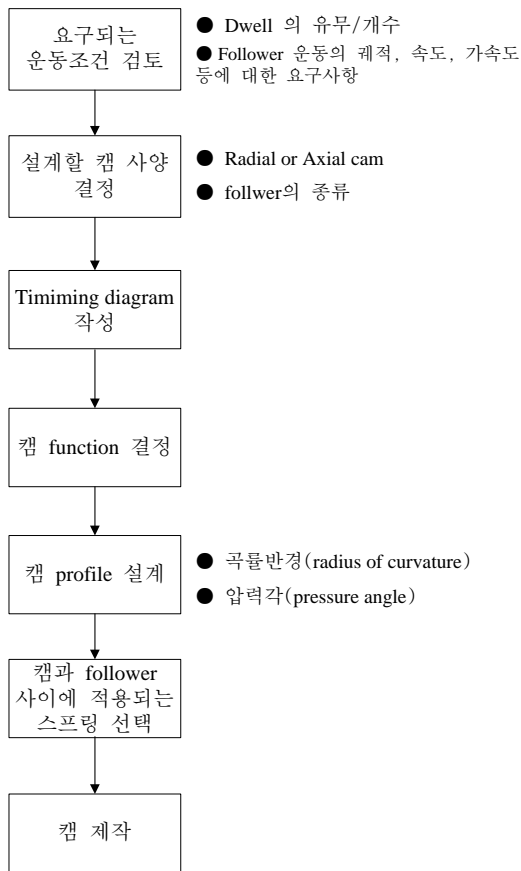


Fig. 4 Procedure of cam design^(2,3)

Tdelay 값이 크다면 high dwell 을 위한 캠 회전 각이 작아도 된다. 왜냐하면 캠이 회전하지 않고 정지해 있는 시간이 길어지면 high dwell 의 필요성은 작아지고 상대적으로 많이 확보된 캠 회전각으로 보다 안정적으로 계란을 이송할 수 있다. 그러나 큰 Tdelay 값은 시간당 계란 처리량을 감소시키는 단점이 있다.

설계변수 Dpor 는(Table 2 참조) 캠의 전체 회전 각(360°) 중, high dwell 과 low dwell 에 필요한 회전량을 제외한 나머지에서 하강운동에 할애되는 비

율을 나타낸다. 상승운동 구간보다 계란이 이송되는 하강운동 구간에 더 많은 캠 회전각이 배정되게 한다.

현재 사용중인 파커홀더에서 계란이 컨베이어로부터 바스켓으로 낙하하는데 걸리는 시간은 0.1 초이며 Tdelay 값도 0.1 초 이다. 결국 계란이 낙하하는 시간만큼 캠은 회전하지 않는다. 그런데 계란이 바스켓에 닿은 후 다시 튀어 올랐다가 안정되기 까지 시간이 필요하므로 바스켓이 곧바로 내려가지 않고 일정시간 멈추어 있어야 하는데 이를 위해 high dwell 이 필요하다. 캠이 140 rpm 으로 회전하고 high dwell 이 40° 라면 이것으로 인해 바스켓은 약 0.05 초 동안 멈추어 있게 된다. 실험적으로 140 rpm 에서 high dwell 값을 40° 이상으로 할 때 계란이 바스켓에 안착 되었다.

캠의 하사점에서 low dwell 이 필요한 이유는 바스켓이 계란을 투하하고 잠시 멈추어서 계란이 일정거리만큼 낙하한 후에 상승하게 함으로서 상승과정 중에 닫히게 되는 바스켓이 계란과 닿지 않도록 해야 하기 때문이다. 만약 low dwell 이 없다면 Fig. 2(b)에 설명한 것과 반대의 작동으로 닫히는 바스켓이 낙하하는 계란을 건드려서 정확한 위치에 계란이 안착하지 못한다. 140 rpm 에서 low dwell 은 10° 이상이 되면 계란과 바스켓이 서로 충돌하지 않는다.⁽²⁾ High dwell 과 low dwell 의 캠 회전각은 되도록 작게 하여 보다 많은 캠 회전각을 바스켓의 하강운동과 상승운동에 할애해야 한다.

High dwell 과 low dwell 을 각각 60° 와 10° 로 설정하면 1 회전 중에서 남아있는 각도는 290° 가 된다. 이것 중에서 하강운동을 위한 각도 비율(Dpor)을 0.56 으로 설정하면 바스켓이 하강운동을 하는 캠의 회전각은 162.4° 가 되며 상승운동에는 127.6° 가 할당된다. 이와 같은 경우의 timing diagram 은 Fig. 5 와 같으며 Timing diagram 을 무차원화된 캠 회전각(식 (4)참조) 에 대한 캠의 이송거리의 형태로 변환하면 Fig. 6 와 같다.

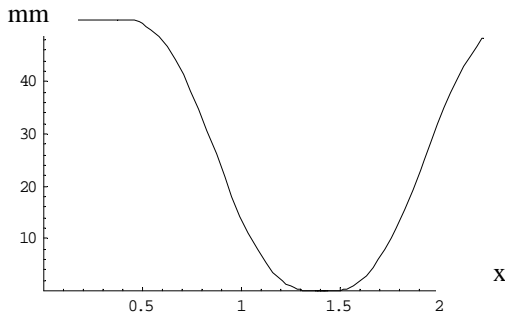


Fig. 6 Actual displacement according to Timing diagram

본 논문에서는 캠 function 으로 modified trapezoid 와 modified sine 을 사용하였다.^(4,5) 전자는 캠 운동의 최대 가속도가 가장 작은 값을 갖게 되며 후자는 속도가 최소값을 갖게 된다. 파커홀더 캠은 구동속도를 최대한 빨리 하면서 가속도에 대한 제한 조건인 식 (2)를 만족시켜야 하므로 modified trapezoid 가 더 적합한데 이 경우의 최대 가속도 $a_{follower}$ 는 식 (3)으로 표현된다.⁽⁴⁾

$$a_{follower} = 4.888\omega^2 \frac{h}{\beta^2} \quad (3)$$

여기서,

h : 상승(하강)운동구간의 중동기구의 이동거리

β : 이동거리 h 에 필요한 캠 회전각도(rad)

ω : 캠 회전속도(rad/sec)

3.3 캠 형상설계

본 논문에서 설계한 세가지 캠의 설계변수와 그에 따른 최고속도를 Table 3 에 나타내었다. cam 1 의 경우에, 하강운동 구간의 캠 회전각은 170.5° (식(3)의 β) 가 되는데 이 구간에서 캠의 최대운전 속도는 식 (3)에서 가속도 $a_{follower}$ 가 중력가속도와 같다고 가정할 때 얻게 되는 각속도 ω 에서 구하게 된다. 캠에 의한 이동거리 h 가 52 mm 일 때 최대속도는 176.5 rpm 이다.

Table 3 에서 보면 최대 운전속도가 빠르다고 반드시 계란의 처리량이 큰 것은 아님을 알 수 있는데 Tdelay 가 0.05 초인 cam 3 가 시간당 가장 많은 계란을 처리한다. cam3 이 140rpm 으로 회전 할 때 하강운동의 경우 캠 회전각에 대한 중동기구의 위치변화를 Fig. 7 에 나타내었다. 그림에서 가로축은 무차원화된 캠 회전각도인데 (이것을 x 로 정의한다), 이것은 하강운동 구간에 할애된 캠 회전각을 β 라고 할 때 식 (4) 에 나타낸 것처럼 β 에 대한 캠 회전각(θ)의 비율로서 결정된다.⁽⁴⁾

Table 3 Design factor of developed cams

Design variables	cam 1	cam 2	cam 3
Tdelay(sec)	0.1	0.05	0.05
Dpor	0.55	0.53	0.56
Cam function	M.T	M.S	M.T
Angle for down	170.5	153.7	162.4
Angle for up	139.5	136.3	127.6
High dwell	40	60	60
Low dwell	10	10	10
Max. speed (rpm)	176.5	149.6	168.1

M.T: Modified trapezoid M.S: Modified sine

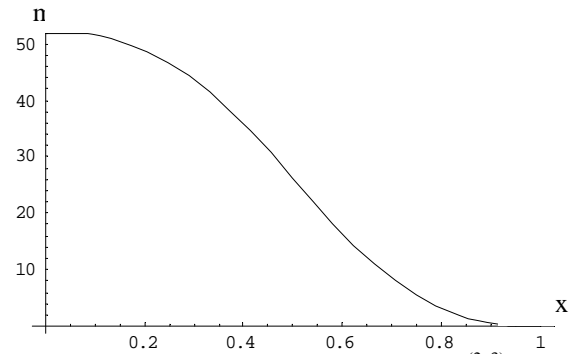


Fig. 7 Fall motion of follower (cam3)^(2,3)

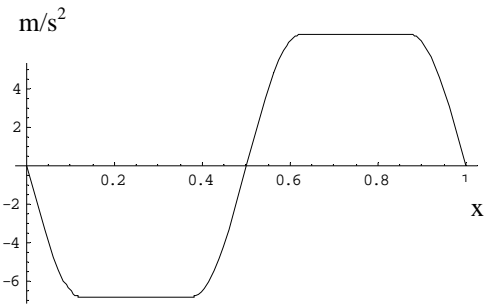


Fig. 8 Acceleration of cam3(fall motion)^(2,3)

$$x = \frac{\theta}{\beta} \quad (4)$$

cam3 하강운동의 가속도를 Fig. 8 에 그래프로 나타내었다. cam3 는 캠 함수로 modified trapezoid 를 사용했으므로 가속도의 모양이 사다리꼴 형상을 보여 최대값과 최소값의 절대값이 서로 같다. 상승운동의 경우의 가속도 그래프는 Fig. 8 의 그래프가 x 축에 대칭되는 형상을 보인다. 설계된 cam3 의 형상을 운동 구간별로 구분하여 Fig. 9 에 나타내었다.

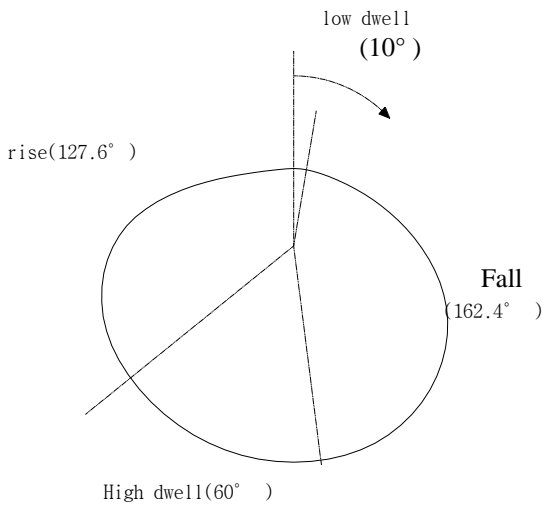


Fig. 9 Segmentation of cam3^(2,3)



Fig. 10 cam3 made of polyacetal^(2,3)

폴리아세탈 재료로 제작된 캠 3 를 Fig. 10 에 도시하였다. 폴리아세탈은 내 마모성과 자기 윤활성이 우수해서 파커홀더 캠의 재료로 많이 사용되고 있다.

캠 제작을 위한 데이터는 캠 회전각 0.1° 마다 x, y 좌표 값에 대하여 생성하였으며 제작에 사용된 CNC 머신의 가공오차는 1/1000 mm 이다.

4. 캠 성능시험

개발된 캠의 성능시험을 위한 파커홀더 메커니즘 실험장치를 제작하였다.(Fig. 11 참조) 이 장치는 캠의 회전속도를 자유롭게 조절하게 되어있으며 종동기구에 장착된 가속도 센서를 통해 측정된



Fig. 11 Experimental device for cam functionality^(2,3)

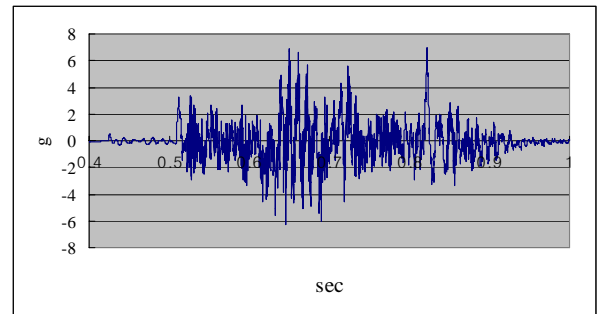


Fig. 12 Acceleration of cam0(140rpm)^(2,3)

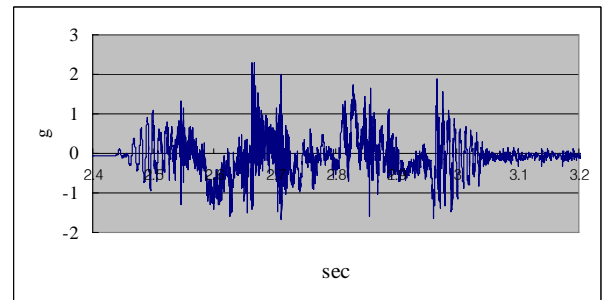


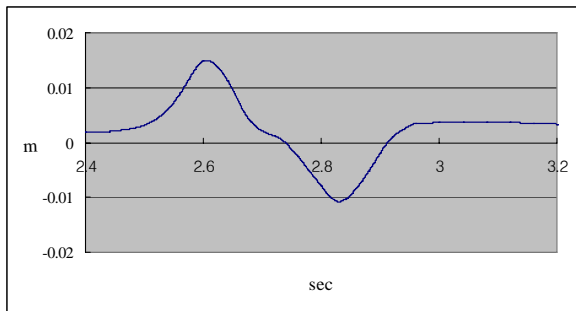
Fig. 13 Acceleration of cam1(140rpm)^(2,3)

가속도 값에 기반하여 속도와 변위를 추론하였다. 종동기구의 가속도 신호는 5khz 의 sampling rate 로 수집되었으며 기존의 캠은 ‘캠 0’으로 정의하였고 나머지 캠들의 명칭은 Table 3 에 정의한 캠 번호를 따랐다

Fig. 12 에서 140 rpm 으로 회전할 때, 캠 0 에 대한 y 방향(Fig. 1 참조) 가속도 측정값을 보여준다. 그림에서 가로축은 시간(sec)을 나타내고 세로축은 중력가속도 g 에 대한 비율을 기준으로 삼았다. 가속도에 노이즈가 많이 포함되어 있는데, 이것은 종동기구 역할을 하는 옆면판(side plate, Fig. 1 참조)이 바스켓의 운동으로 인해 심하게 흔들리기

Table 4 Two extremes of acceleration in rise motion (140rpm)

cam no.	max. accel. (g)	min. accel. (g)
0	8.36	-8.1
1	2.71	-2.92
2	9.21	-7.47
3	4.78	-4.5

**Fig. 14** Distance of cam1(140rpm)

때문이다.

캠 1의 가속도 측정 결과를 Fig. 13에 나타내었고 가속도 값을 두 번 적분하여 얻은 변위곡선을 Fig. 14에 도시하였다.

Fig. 13의 가속도 곡선의 경우도 노이즈 때문에 본래 의도했던 가속도 곡선의 형태를 알아보기 어렵다. 이것은 캠 제작과정에서 발생한 가공오차와 작동하는 과정에서 발생하는 옆면판의 흔들림이 원인으로 판단된다. 그러나 가속도의 크기는 캠 0에 비하여 많이 감소하였다(y축 단위참조). Table 3에 수록한 캠들의 상승운동의 경우 +y 방향과 -y 방향의(Fig. 1 참조) 최대가속도를, 중력가속도를 기준으로 하여 Table 4에 수록하였다.

식(2)의 조건은 Table 4의 -y 방향의 최대가속도에 의해서 충족되는데, 캠 1의 경우 캠 0에 비해 최소 가속도가 64% 정도 감소하였다. 캠 1은 Tdelay 값이 0.1 초인데 이것은 캠 3의 0.05 초에 비해 2배가 되는 값이다. 따라서 캠이 상사점에서 정지하는 구간이 짧아도 되므로 high dwell 값이 캠 3에 비해서 20°가 더 작다. 이것은 상승구간(angle for up)과 하강구간(angle for down)에 더 많은 캠 회전각을 배분할 수 있다는 것을 의미하므로 가속도가 작아진다.

캠 1 운동의 1 cycle에서 상승과 하강 운동에 대한 가속도의 최대, 최소값을 Table 5에 수록하였다. 캠 1은 설계변수 Dpor 값이 0.55(Table 3 참조)이므로 하강운동에 할애되는 캠 회전각이 상승운동에 비해 약 8°가 더 많아서 하강운동의 최대

Table 5 Acceleration in one cycle(cam1, 140rpm)

moving type	min. accel. (g)	max. accel. (g)
fall	-1.62	2.3
rise	-2.92	2.71

가속도는 상승운동보다 작으며 이는 계란의 안전한 이송을 위해 필요한 조건이다.

Table 4에서 알 수 있듯이 140 rpm에서 캠 1의 -y 방향 최대가속도는 중력가속도보다 크다. 캠 3의 경우 4배 이상 크며 캠 2는 9배 이상 크게 되는데, 캠 2의 경우 캠 함수가 modified sine로서 modified trapezoidal을 사용한 cam1과 cam2에 비해 가속도 값이 커지게 되며 동시에 high dwell에 상대적으로 많은 60°를 할당한 것도 큰 가속도 값을 갖게 한다. 가속도에 대한 제한조건인 식(2)를 만족시키기 위해서 캠의 구동속도를 늦추는 것은 생산량 저하의 문제가 있다. 현실적으로는 속도를 늦추지 않고 스프링을 캠과 종동기구 사이에 장착하여 두 기구가 작동하는 중에 서로 분리되는 것을 막아주는 방법이 사용된다.

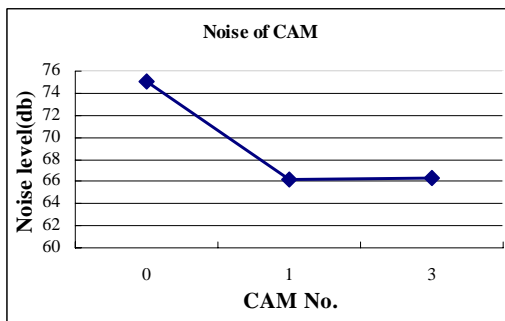
캠 구동중의 소음측정은 캠을 연속 구동한 상태로 1m 떨어진 거리에서 소음측정기를 이용하여 LEQ(Equivalent noise level) 값을 측정하였다. 소음이 캠 성능을 판단하는 직접적인 증거가 될 수 없지만 같은 구동속도에서 상대적으로 적게 발생하는 소음은 캠 작동이 원활하게 되고 캠과 종동기구 사이에 발생하는 충돌을 알아볼 수 있는 지표가 될 수 있다고 판단하여 측정을 하였다.

캠 0, 캠 1, 캠 3의 소음측정 값을 Fig. 15에 나타냈는데 소음 값은 캠 0에 비해 캠 1, 캠 3 모두에서 12% 가량 줄어든다. 이것은 캠 1, 캠 3의 최소가속도가 작아서 캠과 종동기구가 서로 분리되었다가 충돌하는 과정에서 발생하는 소음이 없기 때문이다.

기준에 사용되어오던 캠 0은 캠 가공을 위한 데이터의 양이 충분치 않아서 정밀한 설계 및 제작이 되지 않았다. 따라서 캠에 의한 이동거리는 만족되지만 작동 중에 갑자기 매우 큰 가속도가 발생하게 되고 이때 종동기구는 캠과 접촉을 유지하지 못한다. 이를 해결하기 위하여 강한 장력의 스프링을 캠과 종동기구 사이에 사용하였는데 이것이 서로간에 과도한 마찰을 유발하고 결과적으로 많은 소음이 발생한다. 동시에 강한 스프링 장력은 모터의 회전력에도 영향을 미쳐서 일정한 속도로 회전하는 것을 어렵게 하였다. 이에 비하여 새

Table 6 Output number of eggs according to cams

cam no.	Output number of eggs	ratio to cam0
0	34,054	100.0%
1	40,910	120.1%
2	39,905	117.2%
3	44,230	129.9%

**Fig. 15** Noise level for cam0, cam1, cam3, cam5(140 rpm)

로 설계된 캠들은 작동 중에 발생하는 가속도가 크지 않기 때문에 장력이 많이 감소된 스프링을 장착하여도 종동기구와 접촉이 유지되며 모터의 회전력에도 거의 부담을 주지 않게 된다.

캠 0 는 최대속도가 140 rpm 이다. 이 값은 현장에서 경험적으로 얻은 값으로서 만약 이보다 빠르게 작동하면 계란의 이송과정에서 파손된다. 선별된 계란이 계속해서 바스켓에 투하되어 파커홀더 구동 메커니즘이 상사점에서 T_{delay} 만큼 멈추는 것 이외에는 계속 가동한다고 가정할 때, 시간당 선별된 계란이 계란판에 이송되는 수 N_e 는 다음 식과 같이 표현된다.

$$N_e = 5 \times \left(\frac{3600}{60 / RPM + t_{delay}} \right) \quad (5)$$

위의 식에서 파커홀더 메커니즘 회전속도를 RPM 으로 표기하였다. 식 (5) 에서 5 를 곱한 것은 바스켓 다섯 개가 한번에 다섯 개의 계란을 계란판으로 이송하기 때문이다.

개발된 캠들과 캠 0 의 시간당 계란처리량 N_e 를 Table 6 에 수록하였다. 계란처리량은 구동속도와 T_{delay} 에 의하여 결정되므로 가속도에 대한 구속조건인 식 (2)를 만족시키면서 T_{delay} 가 작고 구동속도가 보다 높은 캠이 더 많은 계란을 처리한

다. 따라서 캠 3 의 처리량이 캠 0 에 비해 약 30% 증가한 상태로 가장 많다.(Table 3 참조)

파커홀더 캠의 설계목적은 안전하게 보다 많은 계란을 처리함에 있으므로 캠 3 이 가장 높은 생산성을 보장한다고 할 수 있다. 캠 1 의 경우는 계란처리량은 다소 부족하지만 가속도(Table 4, Table 5 참조) 가 상당히 작기 때문에 계란의 이송 안정성, 작업소음 감소 등을 모두 만족시키는 설계 대안이 될 수 있다.

5. 결 론

계란선별기 파커홀더에서 계란이송에 사용되는 캠의 설계 및 제작이 수행되었다. 캠 설계를 위해 고려해야 할 설계변수, 구속조건과 주요 검토사항을 고찰하였고 설계변수를 서로 다르게 적용한 3 개의 캠을 개발하였다. 캠의 성능 시험을 위하여 작동중인 캠에 연결된 종동기구의 가속도 및 소음 값을 측정하여 이것을 기존 캠의 성능과 비교 분석하였다. 개발된 캠은 설계변수 값에 따라 가속도가 최대 64% 감소했으며 이것은 계란의 안전한 이송과 기계의 수명 및 유지보수 측면에서 상당히 개선된 값이다. 기존 캠이 정상 데이터가 충분치 않은 상태에서 제작된 것에 비해 개발된 캠들은 선택된 캠 함수에 따라 충분한 정상 데이터를 확보하여 정밀하게 제작되기 때문에 이러한 가속도 감소가 가능하게 되었다. 계란처리속도에서도 개발된 캠들은 약 20% ~ 30%의 성능향상을 구현했는데 이것은 향후 대용량 계란선별기 의 핵심 부품으로 활용될 수 있다.

후 기

이 논문은 산업자원부에서 시행한 부품·소재종합기술지원사업의 기술지원 결과임.

참고문헌

- (1) Livestock Grading Bureau, 2003, "Basis of Egg grading judgement".
- (2) Jangyong Lee, 2007, "Mechanism design and manufacturing of egg grading machine", *Report for the project for Ministry of commerce, industry and energy.*
- (3) Jangyong Lee, 2007, "Cam design for egg transfer in packer holder", *Proceedings of the KSME 2007 Fall Annual Meeting*, pp. 172-172.
- (4) Robert L. Norton., 2004, *Design of Machinery: An introduction to the Synthesis and Analysis of Machines, McGraw-Hill, 3rd Ed.* pp. 377~ 452.
- (5) David H. Myszka., 2002, *Machines & Mechanisms, Prentice Hall, 2nd Ed.* pp. 295~339.