

# 穂給式脱穀機の供給率制御(II)<sup>+</sup>

— 제어시스템 설계 및 시뮬레이션 —

## Feed Rate Control for the Head-Feed Thresher

崔 榮 秀\* 鄭 昌 柱\*

Y. S. Choi, C. J. Chung

### Summary

This study was undertaken to develop the feed rate control system for the head feed thresher by making use of the microprocessor and to evaluate the response of the system to a various threshing conditions.

The control unit was composed of one-board microcomputer. The speed of the wet-paddy feeding chain was controlled by dc moter with PI controller. It was used the adaptive control method to maintain the constant feed rate regardless of the fed rice varieties. The sliding type potentiometer was used as the feed rate sensor, which was attached on the sheaf-holding apparatus.

The mathematical models of the system components were derived and computer simulation was developed for investigating the parameters affecting on control performance and for estimating the response of the system.

A one-board microcomputer-based feed rate control system developed in this study was properly functioned and assessed as adequate for the feed rate control system of the head feed thresher.

Based on the simulation for the bundle feed, it was anticipated that the lower setting value of the cylinder speed (RL) is to be set higher than the limiting operational speed. In addition, the higher setting value of the cylinder speed (RH) is to be set lower than the limiting cylinder speed for threshing.

The computer simulation for the continuous spread feed showed that the lower the setting value of straw layer thickness(LL) was set, the shorter the correction time. However, if too low LL may be established, the feed rate could not reach to its desired rate.

### I. 緒 論

본 주제에 대한 제(Ⅰ)연구에서 분석된 供給率에 따른 穂給式脱穀機の 負荷特性 究明자료를 토대로 효율적인 탈곡작업을 수행할 수 있는 供給率制御 시스템을 개발하고자 하였다. 供給率에 따른 穂給式脱穀機の 脱穀負荷는 탈곡동축 토크와 탈곡통의 회전속도로서 양호하게 나타낼 수 있었다. 그러나 회전속도센서

의 출력은 토크센서의 출력보다 변동이 급격하지 않으므로 制御變數로서 탈곡통 회전속도를 선택하였다.

수급식탈곡기에서는 벼공급부에서의 供給率변동이 탈곡통에서의 負荷變動으로 나타나기까지는 상당한 遲延時間이 존재한다. 이러한 시간지연에 의한 부하변동을 최소화하기 위해서 制御變數로서 탈곡통 회전속도에 부가하여 畚畚뚜껑을 이용한 피드포워드制御(feed forward control) 방식을 채택하였다. 그러나 동

\* 서울大學校 農科大學

일 직충두께에서도 작물의 특성에 따라 脱穀負荷는 달라질 수 있으므로 負荷變動에 따라 직충두께의 설정치가 자동적으로 조절되어 適應制御(adaptive control)가 실현되도록 하였다.

제어시스템에서는 穂給式脱穀機の 공급대 위치에 베타공급장치를 설치하고 이 베타공급장치를 직류모터로 구동시킴으로써 供給率을 조절하여 일정한 負荷狀態를 유지하고자 하였다. 모터를 이용하여 구동부를 구성한 것은 이 방식이 소요동력이 작고, 制御의 용이성이 높으며, 무엇보다 경제성에서 유리하기 때문이다. 制御部는 Z-80 마이크로 프로세서를 이용한 원보드 마이크로컴퓨터로서 구성하였다.

본 연구에서 制御部로 마이크로프로세서를 이용한

이유는 方向制御, 刈取높이制御, 供給깊이制御 등을 통한 콤바인의 자동화에 있어서 制御 대상이 증가함에 따라 中央集中制御 시스템에 의해 관리 되어야 하며, 制御論理의 변경에 따른 적응성, 高精度制御의 요구가 증대될 수록 마이크로프로세서를 이용한 制御部 구성이 가장 효과적이기 때문이다.

제어 시스템에서는 원보드 마이크로컴퓨터의 입출력장치를 통해 필요한 시간 간격으로 입력신호를 받아들이는 샘플-데이터制御(sampled-data control) 방법을 사용하였다.

설계된 供給率制御 시스템의 구성을 그림 1과 그림 2에 나타내었다. 그림1은 벧단 공급의 경우이고, 그림 2는 벧단을 풀어서 공급한 경우이다.

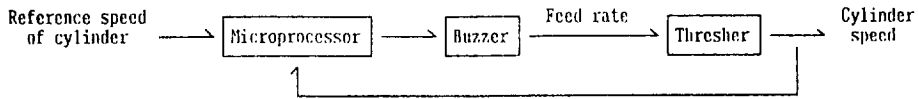


Fig. 1 Block diagram of feed rate control system for bundle feed.

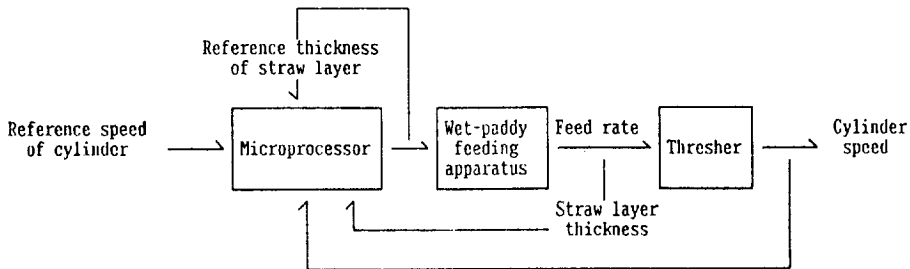


Fig. 2 Block diagram of feed rate control system for spread feed.

## II. 制御 시스템의 構成

### 가. 供給率 感知部

制御變數로 선택한 탈곡통 회전속도를 측정하기 위해 탈곡통축 구동풀리의 반대편에 타코제너레이터를 직결하였다. 탈곡통 회전속도의 변화에 따른 타코제너레이터의 출력신호는 저역통과필터를 통과시켜 A/D 변환기를 통해 원보드 마이크로컴퓨터에 입력되도록 하였다. 실험에 사용된 타코제너레이터의 교류성분의

peak-peak 값은 약 3%였으며, 550rpm에서 교류성분의 주파수는 약 120Hz였다. 저역통과필터는  $\pi$ 형 R-C 필터 2개를 직렬연결시켜 遮斷周波數가 4Hz가 되도록 제작하였다.

### 나. 制御部

#### 1) A/D 변환기

탈곡통 회전속도센서의 출력, 직충두께센서의 출력, 制御프로그램 시작신호, 데이터 수집신호 등을 원보드

마이크로컴퓨터에 입력시키기 위하여 A/D변환기를 제작하였다. 制御프로그램 시작신호란 탈곡부 입구쪽의 다발물림레일 시작부에 부착된 마이크로스위치를 벼가 통과하는 순간에 마이크로스위치가 닫혀서 발생하는 트리거(trigger) 신호를 말한다. 데이터 수집신호는 본 制御 시스템에서 채택하고 있는 샘플-데이터制御를 실현하기 위해 制御부가 供給率센서의 신호를 샘플링주기마다 입력하게 하는 트리거신호를 말하며, 함수발생기를 이용하여 TTL 출력단자로 부터 입력되도록 하였다. A/D변환기는 8비트의 分解能을 갖는 ADC 0809를 사용하였으며, dc 0~5V의 입력범위에서 변환하도록 하였다.

## 2) D/A 변환기

CPU에서 PIO를 통해 출력되는 디지털신호에 따라 벼공급장치 구동부의 직류모터의 회전속도를 변화시키기 위해서는 D/A 변환기가 필요하게 된다. 본 시스템에서는 안정시간(settling time)이 100ns로서 변환시간이 빠르고 안정도에서도 뛰어난 8비트 DAC 0800을 이용하여 제작하였으며, DAC의 출력이 전류이므로 IC 741을 사용하여 직류모터 制御裝置에 dc 0~14.2V의 전위차로서 출력되게 하였다.

## 3) 원보드 마이크로컴퓨터

供給率센서의 출력을 입력하여 制御論理를 판정하고 그 결과에 따라 벼공급장치의 직류모터를 구동시키기 위하여 원보드 마이크로컴퓨터를 제작, 사용하였다. 이 원보드 마이크로컴퓨터는 8비트 범용 마이크로프로세서인 Z-80A CPU로서 시스템의 중앙 처리를 담당하게 하고, 制御프로그램과 데이터를 저장하기 위하여 32K UV-EPROM(2732)과 16K static RAM(6816)을 내장하였다. 또한 외부 주변장치와의 입출력을 위한 Z-80 PIO와 어드레스 디코딩을 위한 74LS32, 74139를 갖추고 있으며, 2.457MHz 수정발진자 모듈을 내장하였다.

## 다. 驅動機構部

### 1) 벼공급장치

穂給式脱穀機의 경우에 供給率을 制御하기 위해서는 탈곡부로의 벼 공급이 일정한 두께로써 制御部の

供給率 증감신호에 따라 공급속도가 변화되어야 한다. 이를 실현하기 위하여 穂給式脱穀機의 탈곡부 입구에 벼공급장치를 설치하여 콤팩인과 동일한 벼공급상태를 재현하고자 하였다. 본 연구에서 사용된 벼공급장치는 대동 RX1300 콤팩인의 반송장치를 이용하였다. 이 장치는 한쪽에서 체인으로 벼 밀부분을 스프링의 인장력에 의해 강제적으로 벼를 압축하여 공급하며, 한쪽에서는 체인과 동일 속도로 리그에 의해 벼의 이삭부분을 반송하게 된다. 본 연구에서는 직류모터를 벼공급장치의 구동축에 직결하여 벼공급장치를 구동시키도록 하였다.

### 2) 벼공급장치 驅動部

벼공급장치의 구동부로 사용된 직류모터의 定速制御는 원보드 마이크로 컴퓨터에 의해 실현할 수 있으나 데이터 수집기간 변경시 발생하는 시간제약과 정속制御의 신속한 應答을 발생시키기 위해 직류모터에 대하여 PWM 制御方式의 定速制御裝置를 제작하였다. 定速制御裝置는 기준속도의 比較部, PI 制御部, 矩形波發信部, 積分部, PWM(pulse width modulation) 회로, 트랜지스터를 이용한 電力制御部 등으로 구성하였다.

## 라. 制御論理

본 연구에서의 供給率制御는 供給率에 따른 탈곡통의 負荷變動을 최소화하여 적정수준으로 유지시키는 데 그 목적이 있다. 따라서 탈곡통 회전속도에 따라 벼공급장치는 供給率을 조절하게 되고, 결과적으로 탈곡통 회전속도를 일정 수준으로 유지시키게 된다. 벼공급장치의 속도 변화에 따른 供給率 변화를 미리 예측하기 위해서 측정하는 畚耨두께는 벼 품종 및 함수율 등의 작물 특성에 따라 畚耨두께 설정치를 적정치로 조정되도록 하였다.

制御論理에 사용된 기호들은 다음과 같다.

N : 탈곡통 회전속도의 측정치

RH : 탈곡통 회전속도의 상한 설정치

RL : 탈곡통 회전속도의 하한 설정치

R2 : 畚耨두께 설정치의 하향조정을 위한 탈곡통 회전속도의 설정치

SL : 畚耨두께의 측정치

LH : 畚耨두께의 상한 설정치

LL : 畚耨두께의 하한 설정치

- 1) 공급속도 증가  
RH ≤ N AND SL < LL
- 2) 공급속도 감소  
(N < RL) OR (RL ≤ N AND LH ≤ SL)
- 3) 질층두께 설정치의 상향조정  
RH < N AND LH ≤ SL
- 4) 질층두께 설정치의 하향조정  
N < R2 AND SL ≤ LL

III. 시뮬레이션

본 시뮬레이션의 목적은 벼의 공급방법, 制御變數의 설정범위, 샘플링주기, 공급속도 조절상수 등이 制御 應答에 미치는 영향을 분석하여 制御 시스템의 應答을 예측하고 최적 制御性能을 발휘할 수 있는 制御條件을 찾는 데 있었다.

본 制御시스템은 선형과 비선형 요소가 함께 포함되어 있으며, 샘플데이터 制御方式이므로 모든 요소들의 應答을 시간함수로서 나타내어 샘플링주기로 시스템의 應答 特性을 파악하고자 하였다. 샘플링주기 동안의 선형요소의 應答特性은 時定數를 고려하여 분석하

였으며, 샘플링주기에 비하여 時定數가 충분히 작다고 판단되는 경우에는 時定數가 쉰인 應答으로 가정하였다.

가. 벧단공급의 경우

벧단공급시 시뮬레이션은 다음과 같은 가정하에 실시하였다. 벧단공급에 따른 토크 파형은 다발물림장치에 의해 벧단이 평균 속도로서 일정하게 공급되는 것으로 가정하여 식(3-1)과 같은 시간함수로서 표시하였다. 벧단공급에 의한 탈곡통축 토크는 벼의 품종, 함수율, 벧단의 크기 등에 따라 달라지게 되나 토크파형은 동일한 것으로 가정할 수 있다. 따라서 공급벧단의 크기에 따른 토크 방정식은 벧단 크기에 비례하여 진폭만이 달라지는 것으로 가정하여 식(3-1)에 비례상수를 곱함으로써 소요토크를 구하였다.

$$T_c(t) = a_1 t^2 \exp(-a_2 t) \dots\dots\dots(3-1)$$

여기서,  $T_c$  : 탈곡통축 토크 (N·m)

t : 시간(sec)

공급신호에 따른 벧단공급은 遲延時間 없이 공급되는 것으로 가정하였으며 마이크로프로세서에서의 遲延時間은 무시하였다. 이 시뮬레이션에서는 탈곡통 회전속도의 상, 하한 설정치와 샘플링주기, 공급속도 조

Table 1. Various conditions for the simulation of bundle feed.

Bundle type	Cylinder shaft torque equation	Control conditions		Remarks
		RH (rpm)	RL (rpm)	
A	$T_c = 896t^2 \exp(-1.6t)$	520	460	Initial Cylinder speed : 550rpm Sampling time : 0.5sec
		500	460	
		480	460	
		500	480	
		520	500	
B	$T_c = 1229t^2 \exp(-1.6t)$	520	460	Feeding Speed adjustment : 0.5sec Initial feeding interval : 2sec
		500	460	
		480	460	
		500	480	
		520	500	
C	$T_c = 1561t^2 \exp(-1.6t)$	520	460	
		500	460	
		480	460	
		500	480	
		520	500	

절상수, 분석조건 등의 몇가지 조건이 입력으로 요구된다. 분석조건으로는 전체 분석시간과 분석시간 간격이 입력되게 된다. 초기 조건으로는 탈곡통 회전속도가 550rpm인 無負荷 상태에서 작업이 시작되는 것으로 하였으며 탈곡통축 토크는 탈곡통을 통과하고 있는 각각의 벧단에 의한 소요토크를 重疊함으로써 계산하였다. 시뮬레이션의 결과로서 탈곡통축 토크, 탈곡통 회전속도, 공급속도 制御信號와, 벧단 공급신호 등을 그래프로 출력하게 하였다.

시뮬레이션에서는 3가지 수준의 벧단크기별로 분석하였으며 이를 위해 탈곡통축토크 식 (3-1)에서  $a_1$ 을 각기 896, 1229, 1561로 설정하였다. 샘플링주기는 0.5초로 하고, 분석시간 간격은 0.05초로 하였다. 공급속도 조절상수( $K_n$ )는 1로 설정하여 공급속도 制御信號에 따라 0.5초씩 변화도록 하였으며, 벧단공급의 시뮬레이션 조건은 표 1에 나타내었다.

1) 탈곡통 회전속도 設定範圍의 영향

본 연구에 사용된 穗給式脫穀機는 負荷特性 분석결과, 벧단으로 공급하는 경우에 한계 탈곡통 회전속도가 454rpm인 것으로 판단되었으므로 효율적인 탈곡작업을 위해서는 最大 負荷時 탈곡통 회전속도가 460rpm 정도가 될 때 까지 벧단을 공급하여야 한다. 본 연구에서는 이에 따라 하한 설정치를 460rpm으로 설정하였을 때 상한 설정치에 따른 制御應答을 예측하기 위하여 상한 설정치가 520, 500, 480rpm인 3가지 수준에 대해서 벧단의 크기별로 시뮬레이션을 행하였다.

그림 3은 최대 토크가 19N·m인 벧단(A벧단)에 대하여 이상의 조건에서의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 벧단공급의 경우에 우수한 制御性能을 얻기 위해서는 동력원을 효율적으로 이용하는 負荷狀態에서 작업이 이루어져야 할 뿐만 아니라 공급속도가 규칙적으로 변화더라도 공급속도의 變化頻度가 낮을수록 우수하다고 할 수 있다. (a)의 경우는 작업개시와 함께 1회의 증가신호만으로 설정범위안에서 계속 안정된 공급속도(1.5초/단)로서 작업이 이루어짐을 알 수 있었다. 그러나 설정범위가 넓어 비록 공급속도가 안정되기는 하였으나 最大 脫穀負荷에서도 탈곡통 회전속도는 470rpm부근에서 머무르고 있어 한계 회전속도 보다 높으므로 最大 效率狀態로는 보기 어렵다. (b)의 경우는 (a)경우에 비하여 상한 설정치가 20rpm

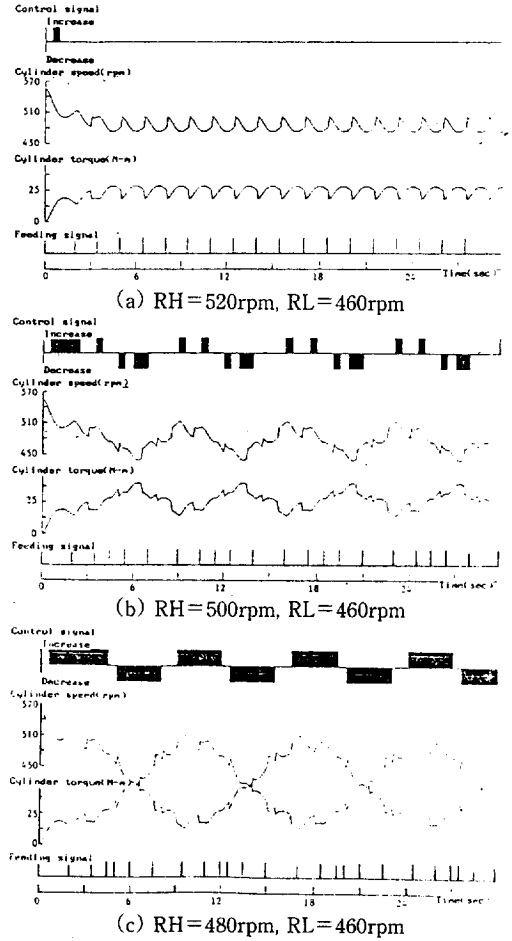


Fig. 3 Simulation results for the effect of the setting value width.(A bundle)

낮게 설정되어 있으므로 負荷變動에 따라 탈곡통 회전속도가 상한 설정치 보다 높은 경우가 많아 공급속도 증가신호 발생이 빈번해지게 된다. 더우기 벧단의 크기가 작은 경우는 공급속도를 증가하여도 供給率의 증가율은 작으므로 설정범위에서 안정되기 위해서는 더욱 공급속도가 커져야만 한다. 따라서 이러한 경우에는 벧단의 크기가 작더라도 과도한 공급속도 변화 때문에 탈곡통 회전속도가 설정범위에 이르렀을 때는 이미 과도한 脫穀負荷가 발생된 후이므로 이를 극복하기 위해서는 다시 공급속도 변화가 크게 이루어져야 한다. 따라서 (b)의 경우 벧단의 크기가 작고 설정범위가 작은 경우에는 負荷變動이 크게 일어날 뿐만 아

나라 설정범위내에서 안정되지 못하므로 制御性能은 불량하게 된다. 상한 설정치가 더욱 낮아 설정범위가 (b)보다 작은 (c)의 경우에는, (b)의 경우보다 그 변화가 더욱 심하고 설정범위내에서의 안정화도 기할 수 없음을 알 수 있었다.

그림 4는 최대 토크가 26N·m인 벧단(B벧단)에 대하여 A벧단과 같은 조건에서의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. (a)의 경우는 작업개시 후 두번의 공급 속도 감소와 연이어 한번의 공급속도 증가를 유도하여 약 10초 이후에는 2.5초/단의 일정한 공급속도가 나타나고 있다. 공급속도의 안정과 함께 制御變數의 설정 범위에는 포함되었으나 최저 회전속도가 460rpm 이

상에서 나타나고 있으므로 능률적인 작업은 이루어지지 못함을 알 수 있었다. (b)의 경우에는 작업개시 3초 후부터 9초 간격으로 증가와 감소를 각각 2회씩 반복하는 것으로 나타났다. 이것은 (a)의 경우에 비해 상한 설정치가 낮게 설정되어 있으므로 負荷 감소에 따라 탈곡통 회전속도가 상한 설정치 보다 높게 나타나는 경우가 많기 때문이다. 制御信號의 발생은 벧단크기가 가장 작은 A벧단에 대한 그림 3의 (b)의 경우와 비슷하게 나타나고 있으나 負荷變動과 벧단 공급신호가 그림 3의 경우와는 현저하게 다른 것은 벧단크기에 차이가 있기 때문이다.

(c)의 경우는 작업개시 7초 이후에 制御信號가 계속

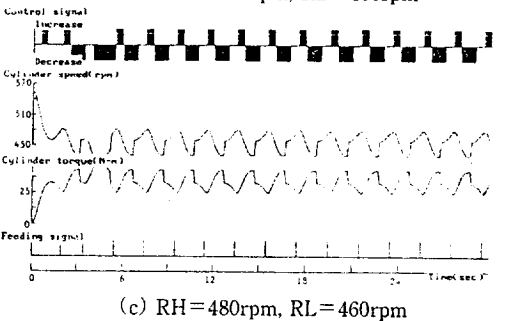
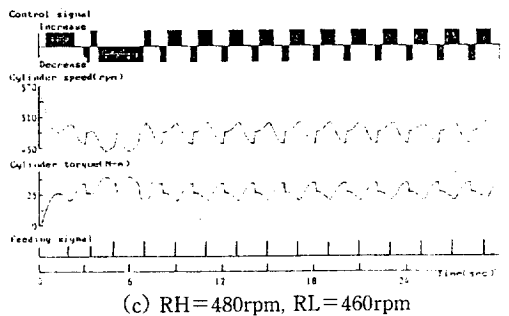
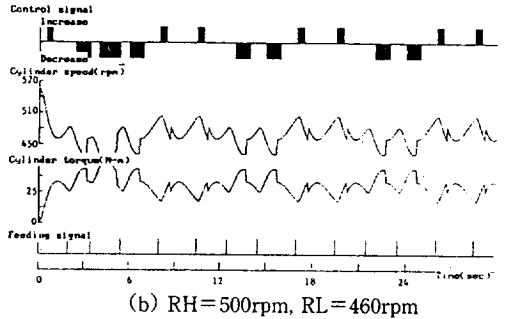
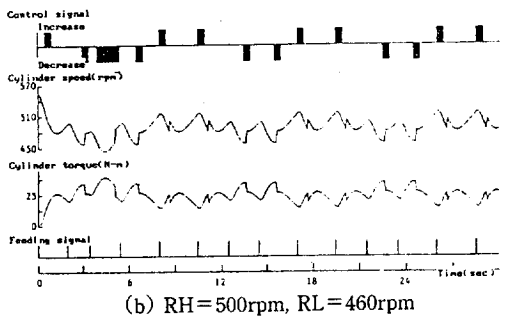
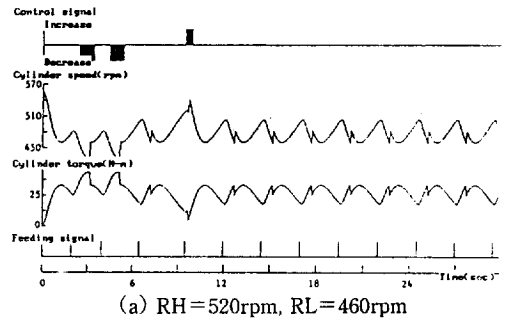
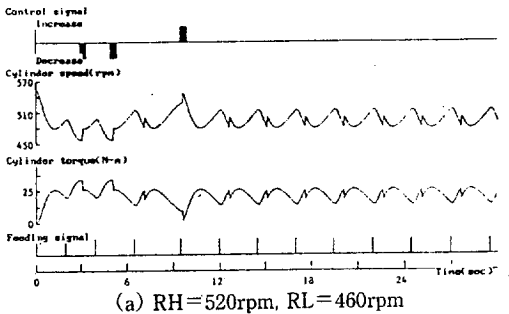


Fig. 4 Simulation results for the effect of the setting value width.(B bundle)

Fig. 5 Simulation results for the effect of the setting value width.(C bundle)

발생하고는 있으나 증감신호가 규칙적으로 번갈아 나타나고 있기 때문에 공급속도는 2초/단으로 균일하게 유지되었다. 따라서 (C)의 경우는 공급속도 변화 주기도 비교적 완만하고 최대 부하시 탈곡통 회전속도가 460rpm 부근까지 작업이 이루어질 수 있기 때문에 양호한 制御性能을 발휘할 수 있는 것으로 나타났다.

최대 부하시 460rpm을 유지하면서도 공급이 규칙적으로 이루어질 때 벧단 공급자에게는 작업의 용이성을 제공할 수 있으므로 비록 최소 부하시에 상한 설정치인 480rpm을 벗어나고는 있으나 B벧단에 있어서는 상한 설정치를 480rpm으로 낮게 설정하는 것이 制御性能의 향상을 기할 수 있다고 판단되었다.

그림 5는 최대 토크가 33N·m인 벧단(C벧단)에 대하여 벧단 A, B의 경우와 같은 조건에서의 시뮬레이션 결과이다. 상한 설정치에 따른 制御應答은 A, B벧단의 경우와 동일하게 나타났다. A, B벧단의 경우에는 상한 설정치를 낮게 설정할수록 작업능률의 향상을 기할 수 있으나, C벧단의 경우는 벧단 한계가 공급될 경우에도 최저 회전속도는 460rpm정도까지 떨어지게 되므로 벧단공급 간격은 A, B 벧단에 비하여 훨씬 커질 수밖에 없다. 따라서 벧단이 큰 경우에는 (a)의 경우처럼 상한 설정치를 높게 설정해야 될 것으로 판단되며, 공급속도는 2.5초/단 정도가 될 것으로 예측되었다. (c)의 경우에는 작업시 평균 탈곡통 회전속도 450rpm에서 규칙적인 공급이 이루어지는 것처럼 나타났으나 본 穗給式脱穀機에서는 460rpm이하에서는 過負荷로 인한 작업불능상태를 유발할 수 있기 때문에 실제 작업과는 차이가 있을 수 있다.

벧단공급의 경우 작업능률향상과 함께 균일한 공급속도를 얻기 위해서는 過負荷가 우려되는 벧단의 크기 이내에서 상한 설정치를 낮게 설정해야 한다. 따라서 본 연구에 사용된 穗給式脱穀機의 경우에는 하한 설정치보다 20rpm 정도 큰 값을 상한 설정치가 되도록 하는 것이 적합한 것으로 판단된다. 그러나 벧단의 크기가 작은 경우에는 상한 설정치를 낮게 설정하면 큰 負荷變動을 초래하므로 상한 설정치를 낮게 설정하면서 공급속도 변화량은 작게 설정하여 서서히 공급속도를 변화시켜 간다면 벧단의 크기에 상관없이 우수한 制御應答을 얻을 수 있을 것으로 판단되었다.

2) 탈곡통 회전속도 하한 설정치의 영향

벧단크기가 작은 경우에는 공급속도를 증가시키기 위해 상한 설정치를 낮게 설정하면 制御應答은 안정되지 못하고 크게 진동하게 되고, 벧단이 큰 경우에는 過負荷의 방지를 위해 상한 설정치의 하향조정에 제약을 받게됨을 검토하였다. 따라서 공급속도를 증가시키면서도 過負荷를 미리 예방하기 위해서는 하한 설정치를 작업 한계속도인 460rpm 보다 높게 설정하는 방안이 고려될 수 있다.

그림 6은 A벧단에 대해서 그림 7은 B벧단에 대해서 RH와 RL의 차이가 20rpm이 되는 경우로서 (a)는 RH=500rpm, RL=480rpm으로 설정하고 (b)는 RH=520rpm, RL=500rpm으로 설정한 경우의 制御應答을 각각 나타낸 것이다.

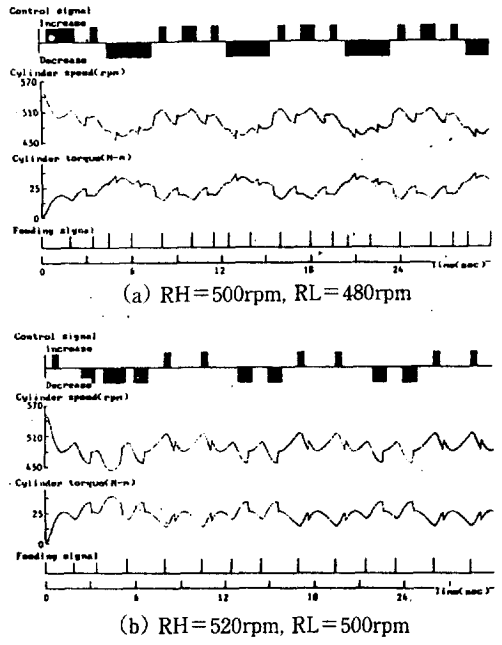
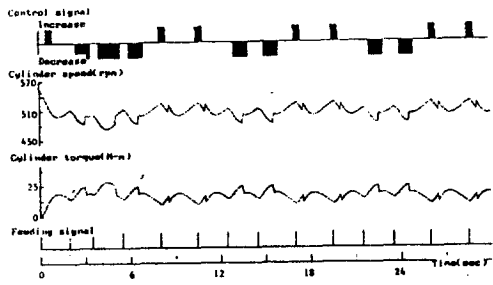


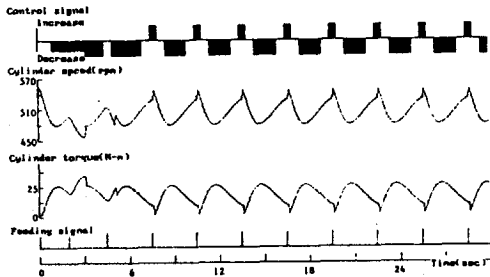
Fig. 6 Simulation results for the effect of the lower setting value.(A bundle)

(a)의 경우는 A, B벧단 모두에서 RH=500rpm, RL=460으로 설정한 경우와 동일한 應答을 나타내고 있으며, 설정범위 부근에서 공급속도 변화는 심한 것으로 나타났다. 여기에서 RH=500rpm으로 설정했을 때 RL이 480rpm이나 460rpm인 경우와 동일한 결과를 보인 것은 일단 작업한계속도 부근까지 供給率을 증

가시킬 경우에는 공급속도 변화가 있을 때 바다 탈곡 통 회전속도의 변동은 20rpm을 넘어 40rpm까지 변하기 때문에 생각되었다. 따라서 최대 작업효율은 일단 RH를 500rpm이하로 설정하여 供給率의 증가를 유도하고, 過負荷를 방지하기 위해서는 RL을 480rpm으로 설정하는 것이 적합할 것으로 판단되었다. (b)의 경우는 하한 설정치가 너무 높게 설정되어 있으므로 공급속도 감소신호의 발생이 빈번하여 균일한 공급속도를 얻을 수 있는 반면에 공급속도의 증가가 이루어지지 못해 작업이 비능률적임을 확인할 수 있다.



(a) RH=500rpm, RL=480rpm



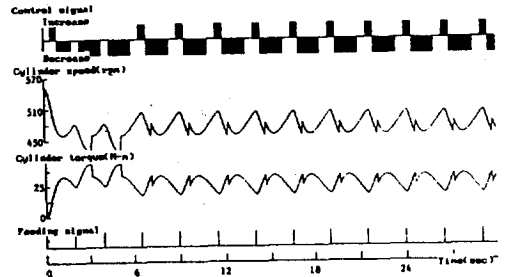
(b) RH=520rpm, RL=500rpm

Fig. 7 Simulation results for the effect of the lower setting value.(B bundle)

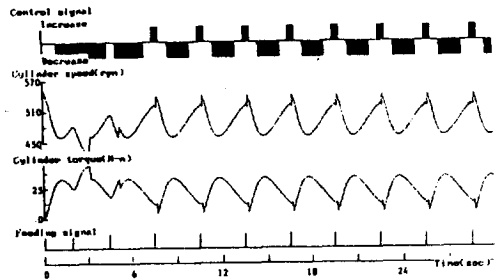
그림 8은 C벧단에 대해서 (a)는 RH=500rpm, RL=480rpm으로 설정하고, (b)는 RH=520rpm, RL=500rpm으로 RL을 상향조정된 경우의 制御應答을 나타낸 것이다. 벧단이 큰 경우에 過負荷를 예방하기 위하여 하한 설정치를 상향조정하면 (a)와 (b)의 모든 경우에 있어 균일한 공급속도에 이르는 시간은 짧아지지만, (b)의 경우는 상한 설정치가 너무 높아서 供給率을 증대시키지 못해 작업능률이 저하되게 된다. (a)의 경우

는 RH를 520rpm으로, RL은 작업한계속도인 460rpm으로 설정한 경우(그림 5(a))와 공급속도가 2.5초/단으로 동일하지만 균일한 공급속도에 이르는 시간이 짧게 나타났다. 따라서 하한 설정치는 작업한계속도보다 상향조정하고 아울러 상한 설정치는 가능한 한 하향조정하는 것이 유리할 것으로 판단되었다.

본 시스템에서는 벧단공급의 경우에 있어 벧단이 큰 경우는 균일한 공급속도에 이르는 시간을 단축시키고, 벧단이 작은 경우는 供給率을 증가시키기 위해서는 RH=500rpm, RL=480rpm으로 설정하면서 동시에 공급속도 조절상수를 작게 설정하는 것이 벧단의 크기에 상관없이 制御性能을 향상시킬 수 있을 것으로 판단되었다.



(a) RH=500rpm, RL=480rpm



(b) RH=520rpm, RL=500rpm

Fig. 8 Simulation results for the effect of the lower setting value.(C bundle)

나. 벧단을 풀어서 공급한 경우

벧단을 풀어서 공급한 경우의 시뮬레이션은 다음과 같은 가정하에 실시하였다. 탈곡통축 토크 계산은 負荷特性 분석에서 유도된 供給率과 탈곡통축 평균 토



크와의 관계식을 이용하였으므로, 일정수준의 供給率에서는 토크변동은 없는 것으로 하였다. 供給率 변화에 따른 탈곡통축 토크 변화는 계단입력에 대한 1차시스템 應答으로 가정하였으며 탈곡통내의 供給率 分布에 따라 각 供給率에 해당하는 토크를 계산하고, 그 총합을 분석시각의 탈곡통축 토크로 간주하였다.

공급속도 制御信號에 따른 벼공급장치 구동모터의 應答은 샘플링주기 동안 이미 정상상태에 이른 것으로 가정하였으며, 마이크로프로세서에서의 遲延時間은 무시하였다.

탈곡통에 나타나는 負荷狀態에 따라 탈곡통 회전속도는 달라지게 되어 탈곡부 반송체인에서의 遲延時間은 변하게 되나 制御應答이 일단 정상 상태에 이르면 탈곡통 회전속도가 설정범위 부근에서 유지될 것이므로 시뮬레이션에서는 RH, RL의 평균속도에 해당하는 다발물립레일의 속도로서 遲延時間을 구하였다.

시뮬레이션에 필요한 초기조건들은 다음과 같다. 탈곡통 초기 회전속도는 550rpm에서, 벼공급장치의 초기속도는 0 m/sec에서 탈곡작업이 시작되는 것으로 하였다. 供給率에 따른 탈곡통축 토크와 회전속도, 벼공급장치의 속도, 짚층 두께등의 계산은 0.05초 간격으로 계산하게 하였으며, 샘플링주기는 0.1초마다 이루어지

는 것으로 하였다. 짚층두께 설정치 조절 상수는 制御應答에 영향을 미치지 못하였으므로 모든 경우에 2로 고정하였으며 시뮬레이션 조건은 표2와 같다.

1) 공급속도 변화율과 초기 짚층두께 설정치의 영향

공급 벚층질량은 0.4, 0.8, 1.2kg/m의 3수준을 택하였고 각 공급 벚층질량에 대하여 Ks는 0.5, 1, 2의 3수준을 택하였다. 供給率에 따라 負荷特性 분석에서 최대 供給率은 평균 짚층두께가 9.5mm일 때 나타났으므로 각 공급속도 변화율에 대하여 LH는 9, 15, 21mm의 3수준을 선택하였다.

탈곡통 회전속도의 설정범위는 작업한계속도인 460 rpm보다 20rpm 높게 RL=480rpm으로 설정하고 RH는 500rpm으로 설정하였다. 制御性能은 탈곡통 회전속도가 설정범위내에서 안정되는지의 여부로서 평가하였으며 그 결과는 표 3과 같다. 표에서 안정성은 3가지 등급으로 구분하여 탈곡통 회전속도의 설정범위내에서 안정화되는 경우 (○표시), 안정화는 이루어지나 탈곡통 회전속도의 설정범위 이외에서 안정되는 경우 (▲표시), 전체 분석시간인 30초 이내에서 안정되지 못하고 계속 진동하는 경우 (×표시)로 나타내었

Table 2. Various conditions for the simulation of spread feed.

Grain mass per feeding length (kg/m)	Control conditions						Remarks
	Ks	RH (rpm)	RL (rpm)	R2 (rpm)	LH (mm)	LL (mm)	
0.4	0.5, 1, 2	500	480	475	15	10	Initial cylinder speed : 550 rpm Sampling time : 0.1 sec Ks : Proportionality constant for adjusting the feeding speed
					15	12	
					15	14	
					9	8	
0.8	0.5, 1, 2	500	480	475	21	20	
					15	10	
					15	12	
					15	14	
1.2	0.5, 1, 2	500	480	475	9	8	
					21	20	
					15	10	
					15	12	
					15	14	
					9	8	
					21	20	
					15	10	

다.  $K_s$ 가 0.5일 때는 벧층질량 3수준의 모든 경우에  $LH=9\text{mm}$ 인 경우를 제외하고는 탈곡통 회전속도의 설정범위에서 안정되는 것으로 나타났다. 이는 공급속도 변화율이 작을수록 공급속도 制御信號에 따른 供給率의 변화가 작아 설정범위에 서서히 접근하기 때문이다.  $K_s$ 가 큰 값인 경우에는 샘플링주기 동안 공급율의 변화가 커진다. 따라서 만약 설정범위 부근에서 供給率이 변할 때 샘플링주기 동안 制御部는 供給率이 적정수준에 도달하였는데도 이를 파악하지 못하는 경우가 생길 수 있으므로 설정범위 부근에서 계속 진동하게 된다. 공급속도 변화율이 작아지면 정상상태에

이르는 시간은 그만큼 길어지게 되므로 최대한의 공급속도 변화율에서 정정시간은 가능한 한 짧아 질 수 있도록 攪층두께를 적절히 설정해야 한다.

$K_s=0.5$ 에서도 벧층질량이 작은 경우에는  $LH$ 를 9mm로 설정하면 탈곡통회전속도의 설정범위를 벗어나서 안정되는 것으로 나타났다. 이것은 본 시스템의 制御論理가 탈곡통 회전속도는  $RH$ 보다 크면서 攪층두께는  $LL$ 보다 작은 경우에만 공급속도를 증가시키도록 되었기 때문에  $LL$ 이 너무 낮게 설정되면 탈곡통 회전속도가  $RH$ 보다 높은 경우에도 攪층두께가  $LL$ 보다는 커서 공급속도 증가신호가 발생되지 않기 때문이다.

Table 3. Simulation results for the effect of feeding speed proportionality constant and that of initial straw layer thickness setting values.

Grain mass per feeding length (kg/m)	Control conditions			Stability	Remarks
	$K_s$	$LH$ (mm)	$LL$ (mm)		
0.4	0.5	9	8	▲	RH=500rpm RL=480rpm R2=475rpm
		15	14	○	
		21	20	○	
	1	9	8	○	
		15	14	○	
		21	20	○	
	2	9	8	○	
		15	14	×	
		21	20	×	
0.8	0.5	9	8	▲	
		15	14	○	
		21	20	○	
	1	9	8	▲	
		15	14	×	
		21	20	×	
	2	9	8	×	
		15	14	×	
		21	20	×	
1.2	0.5	9	8	○	
		15	14	○	
		21	20	○	
	1	9	8	▲	
		15	14	×	
		21	20	×	
	2	9	8	▲	
		15	14	×	
		21	20	×	

LL이 낮게 설정되어 탈곡통 회전속도의 설정범위에 이르지 못하고 낮은 供給率에서 일정 회전속도를 유지하는 현상은 벵충질량이 0.8kg/m 이하에서 나타났다. 벵충질량 1.2kg/m인 경우는 糞층두께가 8mm인 供給率에서도 탈곡통 회전속도 설정범위에 이를 수 있기 때문에 LL=8mm로 설정한 경우에도 안정화가 이루어진 것이다.

따라서 벵충질량이 작은 경우에도 供給率을 증가시켜 작업능률 향상을 기하기 위해서는 LL을 어느 정도까지 높게 설정하여 최소한의 供給率까지는 도달하도록 해야한다.

$K_s$ 를 1 이상으로 설정한 경우에는 벵충질량이 0.8 kg/m 이상일 때 설정범위내에서 안정되지 못하고 계속 진동하는 것으로 나타났으므로 지나친 供給率 변동을 초래하지 않기 위한  $K_s$ 는 0.5 정도가 적합할 것으로 예측되었다.

## 2) 糞층두께 설정치 設定範圍의 영향

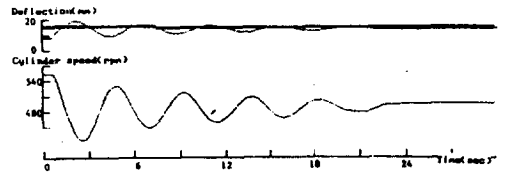
공급속도 감소는 탈곡통 회전속도의 하한 설정치 만으로도 조정되지만 공급속도의 증가는 LL의 크기에 의해서 지배를 받기 때문에 LL의 적절한 설정이 무엇보다 중요하다. LH는 糞층두께 설정치의 상향조정에만 관계되므로 糞층두께의 설정범위만 적절히 설정되면 벵충질량에 관계없이 適應制御를 실현할 수가 있다. 초기 糞층두께 설정치의 영향에서 고찰되었듯이 LH=9mm인 경우에는 供給率을 설정범위까지 증가시키지 못하였으나 LL을 8mm 보다 높게 설정한다면 糞층두께 설정치가 상향조정되어 供給率을 더욱 증가시킬 수 있다. 본 연구에서는 LH를 15mm로 선택하고 LL만 변화시켜 설정범위의 영향을 분석하고자 하였다. 벵충질량별로 LH는 15mm로,  $K_s$ 는 0.5로 고정하고 탈곡통 회전속도 설정치는 RH=500rpm, RL=480 rpm, R2=475rpm로 설정하였으며 LL은 14, 12, 10 mm의 3수준에 대하여 시뮬레이션을 행하였다. 그림 9에는 벵충질량 1.2kg/m에 대한 결과를 나타내었다. 모든 경우에 21초 이내에서 안정화되고 LL이 낮게 설정될수록 정정시간은 짧아지는 것으로 나타났다. 벵충질량이 작은 경우에도 동일한 현상이 나타나며 벵충질량이 작을수록 정정시간은 짧게 나타났다.

작업초기에 공급속도는 糞층두께가 일단 LL 이상이 될 때까지 증가한다. 왜냐하면 糞층두께센서가 탈곡통

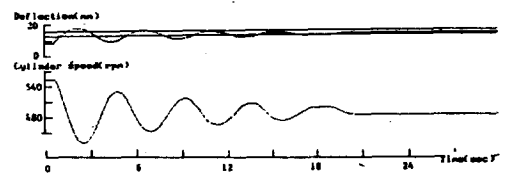
의 전방에 위치하고 있으므로 糞층두께가 적정수준으로 공급되는 순간에도 탈곡통 회전속도는 아직 비가 도달하지 못한 관계로 설정범위에 이르지 못하고 있기 때문이다. 따라서 LL이 높게 설정되면 적정 供給率까지 공급속도가 증가하였는데도 탈곡통 회전속도가 설정범위내에 이르지 못해 공급속도는 계속 증가하게 된다. 탈곡통 회전속도가 설정범위내에 이르렀을 때에 이미 과도한 비가 공급되고있는 중이므로 이를 극복하여 정상상태에 이르기까지는 과도한 비의 공급으로 인한 진동이 해소될 때까지 시간이 걸리게 된다. 따라서 LL이 낮게 설정될수록 정정 시간은 짧아지는 것으로 판단되었다.

또한, LL이 적정수준으로 설정된 경우에도 설정범위가 작은 경우에는 供給率의 작은 변화에도 糞층두께 설정치의 상, 하한 경계에 자주 도달하게 되어 공급속도 변화가 빈번해지게 된다. 따라서 LL은 가능한한 낮게 설정되어야 하고 어느 정도의 설정 범위가 확보될 수 있도록 LH가 설정되어야 한다.

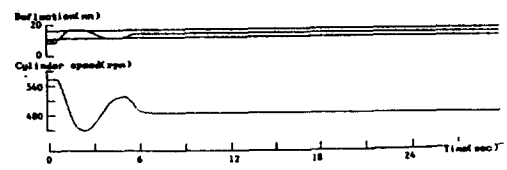
LL이 14mm와 12mm인 경우에는 작업개시 후 지나치게 供給率을 증가시켜 최대 부하시 탈곡통 회전속



(a) LH=15mm, LL=14mm



(b) LH=15mm, LL=12mm



(c) LH=15mm, LL=10mm

Fig. 9 Simulation results for the effect of the lower straw layer thickness setting value. ( $m_r=1.2\text{kg/m}$ )

도가 460rpm 이하로 떨어지는 것으로 나타났다. 시뮬레이션에서 이용한 供給率에 따른 발생 토크는 실측치의 평균값을 취한 것임을 고려한다면 실제로는 이보다 더 큰 負荷가 발생한다고 볼 수 있으며 탈곡통 회전속도도 작업한계속도 이하로 나타나므로 작업불능상태가 나타날 것으로 예측된다.

그림 10은 탈곡통 회전속도 설정치로서 RH=500rpm, RL=480rpm, R2=475rpm을 택하고 짚층두께 설정치를 LH=15mm, LL=10mm로 설정하였을 때 벼층질량 0.4, 0.8, 1.2kg/m의 3수준에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 벼층질량이 가장 큰 1.2kg/m의 경우에도 약 6초후에 설정범위내에서 안정되며 이보

다 작은 벼층질량에서는 정정시간이 더욱 짧아지는 것을 알 수 있었다.

이상의 결과를 종합하면, 본 制御 시스템에서 벼단을 풀어서 공급하는 경우에는 LH=15mm, LL=10mm로 설정하는 것이 바람직하며 이러한 설정치내에서 벼층질량 1.2kg/m 이하에서는 비교적 양호한 制御 應答을 얻을 수 있을 것으로 판단되었다.

#### IV. 要約 및 結論

本 研究에서는 마이크로프로세서를 이용한 穗給式 脱穀機の 供給率制御 시스템을 開發하고 제작된 시스템의 構成要素들을 數學的으로 模型化하여 시스템의 應答特性을 예측하고, 制御變數 設定値의 影響을 究明함으로써 制御變數의 最適 設定範圍를 결정하였다.

制御部는 윈보드 마이크로컴퓨터로 構成하였으며, 비공급장치의 供給速度 조절은 op-앰플을 이용한 PI 制御機를 제작해 직류모터로서 수행하게 하였다. 본 制御 시스템은 공급되는 벼의 種類에 관계없이 일정 供給率을 유지하기 위해 適應制御方法을 채택하였으며 供給率센서로서 직선운동형의 포텐쇼메타를 다발 물림레일에 부착하여 供給率을 測定하도록 하였다.

本 研究의 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 設計, 製作된 윈보드 마이크로컴퓨터와 인터페이스는 정확히 동작하였으며, 經濟的으로 構成할 수 있어 본 연구에서 목적하는 供給率制御 시스템에 適合한 것으로 판단되었다.

2. 벼단공급의 경우에 대한 시뮬레이션에서는 作業 能率을 向上시키고 아울러 均一한 供給速度를 誘導하기 위해서는 탈곡통회轉速度의 하한 설정치(RL)는 作業限界速度보다 상향조정하고, 상한 설정치(RH)는 가능한한 하향조정해야 하며, 供給速度 調節常數(K<sub>n</sub>)를 작게 설정해야 하는 것으로 豫測되었다.

3. 벼단을 풀어서 공급하는 경우의 시뮬레이션에서는 짚층두께 하한 설정치(LL)가 낮게 설정될수록 정정시간이 짧아지지만 LL이 너무 낮게 설정될 경우에는 供給率이 목표치에 이룰수 없는 것으로 豫測되었다.

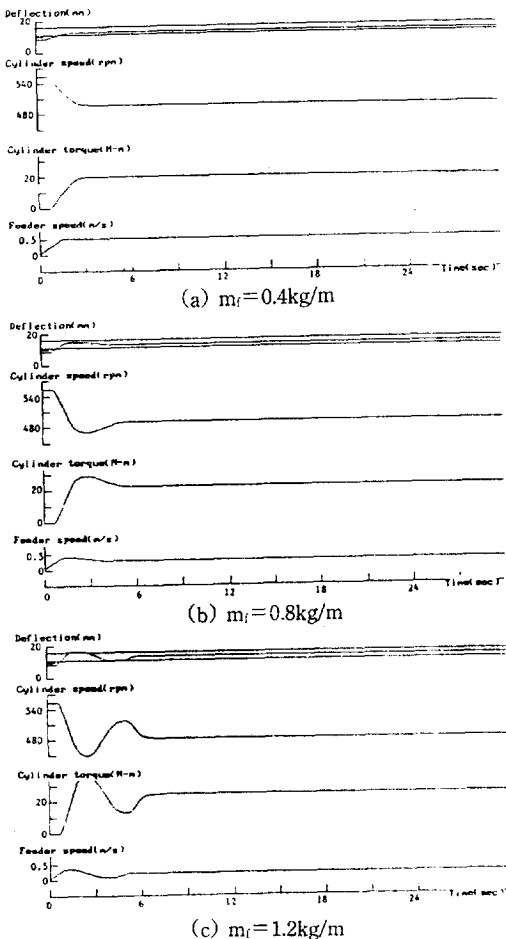


Fig.10 Simulation results for the effect of straw layer thickness setting value width. (LH=15mm, LL=10mm)

參考文獻

1. 川村 登, 梅田幹雄. 1972. 油壓驅動コンバインにおける供給量制御(第1報)  
-シミュレーションによる制御系の解析-. 日農機誌 34(3) : 236-241.
2. 川村恒夫, 川村 登, 竝河 清. 1976. 自脱型コンバインの適應制御(第1報)  
-デジタル-サンプル値適應制御-. 日農機誌 38(2) : 191-199.
3. 川村 登, 竝河 清, 川村恒夫. 1976. 自脱コンバインの供給量制御. 日農機誌 38(3) : 446-447.
4. 川村恒夫, 川村 登, 竝河 清. 1976. 自脱型コンバインの適應制御(第2報)  
-デジタル-サンプル値適應制御-. 日農機誌 39(2) : 157-162.
5. 川村恒夫, 西村 功. 1984. 自脱型コンバインの適應制御(第3報) -制御系の解析とシミュレーション-. 日農機誌 46(2) : 197-204.
6. 최영수, 1990. 마이크로프로세서를 이용한 穗給式 脱穀機の 供給率 制御에 관한 연구.  
서울대학교 대학원 박사학위논문
7. Eimer. M. 1974. Automatic control of combine threshing process. IFAC Symposium on Automatic Control for agriculture, Sask., Canada, F-5.
8. Famili, A. 1983. Throughput sensor for combine automatic feed rate system.  
ASAE paper No.83-1083.
9. Huisman.W. 1983. Optimum cereal combine harvester operation by means of automatic machine and threshing speed control. Doctoral thesis. Agricultural University, Wageningen.
10. Huynh, V.M., T.Powell, and J.N.Siddall. 1982. Threshing and seperating process -A mathematical model. Trans. of the ASAE 25(1) : 65-73.
11. Schueller, J.K., M.P.Mailander, and G.W.krutz. 1985. Combine feed rate sensors. Trans. of the ASAE 28(1) : 2-5.
12. Trollope J. R. 1982. A mathematical model of the threshing process in a conventional combine-thresher. J. Agric. Engng Res. 27 : 119-130.



學位取得



姓 名: 權 純 球

生 年 月 日: 1956年 7月 20日

勤 務 處: 農業機械化研究所

取得學位名: 農學博士

學位授與大學: 日本 九州大學

學位取得年月日: 1990年 3月 27日

學位論文: 트라クター용 驅動ディスク플러의設計理論に關する 研究  
(트랙터용 구동 디스크플러의 설계이론에 관한 연구)