

自動脫穀機의 供給率 制御(I)⁺
— 供給率에 따른 負荷 特性 —

Feed Rate Control for the Head-Feed Thresher

鄭昌柱*, 柳寬熙*, 崔榮秀*
C. J. Chung, K. H. Ryu, Y. S. Choi

Summary

This study was undertaken to investigate the load characteristics of the head-feed thresher, which may be affected by various factors such as physical properties of grain, thresher design parameters and its operational conditions. The study was conducted as an initial step toward developing an automatic feed-rate control system of the head-feed thresher. A microcomputer-based data acquisition system for the load-speed characteristics of the thresher-shaft and the rail-deflection of the feeding device in accordance with a varied feeding thickness was developed.

The sensors being developed and used for sensing the torque and speed of the cylinder and the power-input-shaft and the feeding thickness showed a high accuracy. A microcomputer-based data acquisition system developed in this study was assessed as adequate for a rapid acquisition and analysis of data.

The effect of the feed-rate on the torque and speed of the thresher shaft, when fed intermittently by bundles, affected not by the rice varieties but by the dryness of threshing material tested. When fed by the continuous constant thickness, the torque and speed of the cylinder due to the increase of the feed-rate or feeding thickness were given by the relation by the second order parabola.

I. 緒論

脫穀作業은 作業조건에 따라 脫穀 性能의 變化가 심할 뿐 아니라, 脫穀部의 要因들이 복합적인 交互 작용을 일으키고 作物의 品種, 成熟度, 含水率 등의 特性 또한 脫穀 性能에 影響을 미치게 된다. 따라서 脫穀機는 高도의 性能을 발휘할 수 있도록 하기 위하여 그에 관한 研究가 國內외에서 많이 이루어져 왔으며, 그 결과 作業機의 特性 糾明 및 性能이 날로 향상되고 있다.

脫穀機의 性能 向上과 함께 能率을 極大化 하기 위해서는 作業機 動力原의 能力을 最大로 이용하는 作業이 이루어져야 한다. 특히 脫穀部의 扱胴은 過負荷가 될 때 脫穀 性能이 저하될 뿐 아니라, 곡물 選別도 不良하게 되므로, 扱胴은 過負荷가 되지 않는 범위 이내에서 동력원의 能力을 最大로 활용하도록 하고 가능한 일정한 速度로 回轉해야만 한다. 이를 위하여 선진제국에서는 半導體 産業의 급속한 발달에 부응하여 性能은 물론 作業者의 보다 편안하고 容易한 作業을 위하여 콤바인의 供給率制

*本 研究은 韓國科學財團의 1986~1987年度 研究費 支援에 의하여 遂行되었음.

*서울대학교 農科大學

御에 관한 研究가 활발히 수행되어 왔으나 국내에서는 아직 脱穀機는 물론 콤바인의 供給率 制御에 관한 研究는 수행된 바 없다.

自動 脱穀機에 있어서 供給率은 전적으로 作業者의 판단에 의해 결정되나 고도의 熟練者라 하더라도 諸般作動 條件의 精確한 판단은 사실상 불가능하게 된다. 따라서 본 研究에서는, 自動脱穀機의 供給率 制御를 통하여 脱穀 性能의 향상, 손실의 減少, 所要에너지의 효율적 이용을 유도하기 위하여, 供給率에 따른 自動脱穀機의 부하 특성을 규명하고 최적 作業 狀態를 유지할 수 있는 供給率 制御 시스템을 개발하고자 하였다. 이를 위하여 최적 供給率을 算出하는데 필요한 측정자료를 마이크로 컴퓨터를 이용하여 蒐集, 分析할 수 있는 시스템을 開發하였으며 이를 토대로 脱穀 性能의 精確하고 能率的인 평가 및 脱穀作業 條件의 適正化와 自動化, 나아가 자탈형 콤바인의 供給率 制御에 필요한 기초 자료를 얻는데 이 研究의 目的이 있었다.

II. 研究史

脱穀作業機의 供給率 制御에 관한 研究는 自動脱

穀機에 대해서는 전무한 狀態이다. 그러나 콤바인에 대해서는 1960년대 초반부터 시작되었으며, 制御 시스템은 방법에 따라 첫째, 供給率 또는 脱穀動力에 따른 進行速度 制御, 둘째, 供給率에 따른 扱胴 回轉速度 制御, 셋째, 供給率에 따른 進行速度와 扱胴 回轉速度 制御, 넷째, 엔진 負荷에 따른 進行速度 制御등의 4가지로 구분할 수 있다.

Friesen, O.H et al(6)는 4개의 폴리와 인장스프링으로 구성된 기계적 방식의 扱胴 토오크 측정장치를 제작하고, 脱穀 負荷의 變化에 따른 한쌍의 폴리의 변위로서 扱胴토오크를 感知하여 이 變化에 따른 콤바인의 進行速度를 制御하였다. Nakonetshny, I.I et al(13)는 예취부에서 脱穀部로의 큰베이어에서 供給率을 측정하여 벨트 타입 변속장치를 이용한 進行速度 制御에 관해 모델 검증을 실시하였다. Eimer, M (5)는 脱穀 負荷로서의 扱胴 回轉速度와 供給率로서의 큰베이어의 deflection을 감지하여 電子-油壓 制御 시스템을 이용한 進行速度와 扱胴 回轉速度를 制御하였다.

Brizgis, L.J. et al(4)와 Baskion, G.R. et al(3) 등은 continuous-flow moisture sensor를 開發하고, 이를 이용하여 穀物의 含水率에 따른 扱胴의 回轉

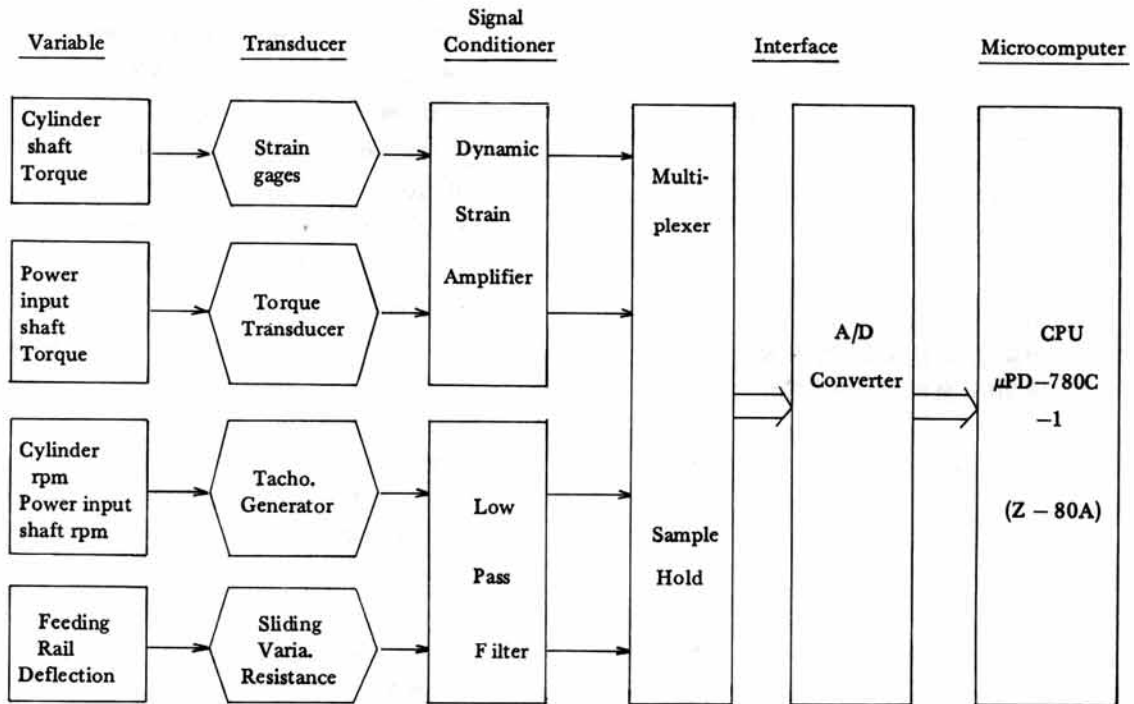


Fig. 1. Block diagram of data-acquisition system.

速度를 制御하였는데 拔胴 回轉速度 制御는 별도의 모터를 이용하였다. W. Huisman et. (14) 등은 小麥을 대상으로 한 콤바인의 供給率 制御에서 供給率 變數를 찾아내기 위하여 供給率에 따른 cutter-bar의 cutting-force, supply auger와 拔胴 그리고 elevator chain등의 토오크, elevator chain의 變位(displacement) 등을 측정하였다. 그 결과 supply auger의 토오크와 供給率과의 관계가 1次 多項式의 回歸 方程式으로 표시하였을 때 높은 相關 關係($R^2 = 0.90$)를 보임으로써 供給率 變數로서 auger torque를 채택하였다.

Krutz, G. W. (12)는 콤바인 供給率 센서에 관한 研究에서 Feeder torque sensor, Engine speed sensor, Head auger torque sensor, dean grain auger torque sensor, sieve 밑의 空氣壓 센서, Grain flow meter 등을 製作 실험하였는바, Feeder torque sensor가 가장 信賴度가 높은 것으로 보고하였다.

自脫型 콤바인의 供給率 制御에 관한 研究는 Kawamura, N. et al(7-11)에 의해서 遂行되었다. 그는 供給率을 하부 콘베이어의 詰층 두께와 拔胴의 回轉速度로 결정하였으며, 센서로는 LVDT(linear variable differential transformer)와 tacometer generator를 사용하여 供給率에 따른 콤바인의 進行速度를 制御하였다.

이 研究에서는 多樣한 脫穀 條件에 適應하기 위해서 作業조건에 따라 制御 條件을 變更하도록 하는 adaptive method를 採用하여 制御 結果를 한층 向上시켰다고 보고하였다.

Ⅲ. 마이크로 컴퓨터를 이용한 自動脫穀機의 供給率에 따른 負荷 特性의 데이터 蒐集 시스템 開發

가. 負荷 特性 측정 시스템 構成

데이터 蒐集 시스템은 각 센서에서 검출된 토오크, 回轉速度, 詰층 두께 등이 아날로그 量이므로 마이크로 컴퓨터로 入力시키기 위해서는 入力信號를 signal conditioner에 통과시킨 다음, analog-digital converter(ADC)에서 digital 量으로 바뀌 interface 裝置를 통해 컴퓨터와 接續하였으며, 컴퓨터

에 入力된 값은 分析을 위한 資料로 活用하기 위하여 플로피 디스켓에 貯藏되도록 시스템을 構成하였다. 각 測定項目과 센서, 그리고 인터페이스 裝置를 그림 1에 block diagram으로 나타내었다.

1) 測定裝置

가) 마이크로 컴퓨터 및 A/D변환기

本 研究에서 사용된 마이크로 컴퓨터는 Z-80 마이크로 프로세서와 同型인 μ PD780C-1(Z-80A) 集積回路를 CPU로 사용한 NEC사의 PC-8001 MKII이다.

A/D變換機는 NEC사 제품인 8H-AH-12를 사용하였다. 이 A/D變換機는 入力채널이 8개이고, 12 bit의 分解能을 갖고 있으며 入力 범위는 0V~+5V의 범위를 選擇하였다.

나) 토오크 變換機

驅動 모터의 토오크를 測定하기 위하여 驅動모터와 自動脫穀機 사이에 Kyowa TP-20KMCB 토오크 變換機를 설치하였으며, 토오크 變換기 軸과 驅動모터軸의 不一致로 인한 토오크 變換機의 손상을 방지하고, 驅動모터로부터 回轉速度를 減速하기 위하여 驅動모터와 補助軸을 V벨트로서 연결한 다음 補助軸과 토오크 체인으로서 裝着하였다.

그림 2는 動力 供給軸의 設置圖이다. 拔胴의 토오크 檢出은 拔胴軸의 拔胴 플리와 拔胴을 고정시켜 놓은 拔胴軸 플랜지 사이에 裝着된 2축 스트레인 게이지를 附着하여 剪斷스트레인을 電氣的 信號로 檢出하였다. 스트레인 增幅機는 出力이 -5V~+5V인 Kyowa사의 DPM-305A dynamic strain amplifier를 사용하였다.

다) 回轉速度 測定裝置

驅動 모터의 回轉速度는 驅動모터와 自動脫穀機 사이에 設置된 토오크變換機 軸에, 拔胴 回轉速度는 拔胴軸의 한편에 각각 Tacho generator를 設置하여 測定하였다. Tacho generator는 出力이 아날로그 量인 電壓으로 發生되므로, A/D變換機에 직접 接續할 수 있을 뿐 아니라, 制御條件 測定을 위한 로직 回路에 回轉速度 變化가 아날로그 量으로 入力되어야 하므로 回轉速度 測定센서로서 Tacho. generator를 選擇하였다.

라) 詰층 두께 測定裝置

供給量을 나타내는 指標로 사용할 供給 詰층의 두

계를 測定하기 위하여 다발 물림 레일에 슬라이딩식 可變抵抗의 本體를 裝着하고, 슬라이딩부를 협액대에 裝着하였다.

附着 位置는 특히 芻단 供給時 芻단이 拔胴의 1/3 지점에서 위치할 때 最大 負荷가 걸리게 되므로, 공급대로 부터 拔胴의 시작점에 附着하였는데, 그 이유는 最大 負荷 이전에 供給量을 感知하도록 하여 供給率 制御時 過負荷에 미리 對處하도록 한 것이다. 이는 芻질 供給에 의하여 다발 물림 레일의 스프링이 收縮하게 되므로 收縮量에 따라 出力 電壓이 直線의으로 변하는 原理를 이용한 것이며, 出力 電壓은 0~5V로 發生하게 하였다.

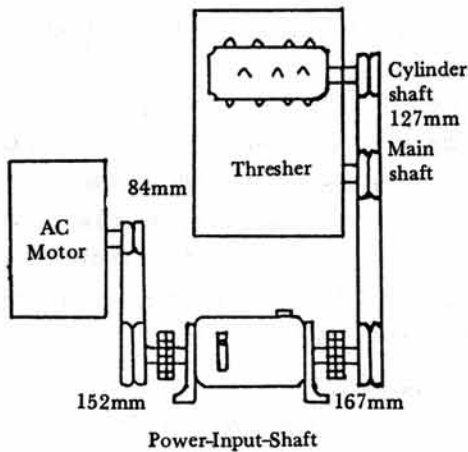


Fig. 2. Installation of power-input-shaft.

Table 1. Accuracy of the instruments used.

Item	Coeff. of determination	Accuracy
Power input shaft torque	0.9999	± 0.29%FS
Cylinder shaft torque	1.000	± 0.06%FS
Power input shaft speed	0.9999	± 0.36%FS
Cylinder shaft speed	0.9993	± 0.54%FS
Straw layer thickness	0.9998	± 1.61%FS

나. 資料 蒐集 프로그램 開發

供給率에 따른 自動脫穀機의 負荷 變動 測定을 위한 資料 蒐集 프로그램을 주 프로그램은 BASIC 言語로 作成하고, A/D變換은 機械語로 作成하였다.

主 프로그램에서는 먼저 sampling time을 變化시킬 수 있도록 time delay를 input으로 받아드리게 된다. start信號와 함께 data code로 수록된 機械語 副프로그램이 실행되게 되며 데이터 蒐集이 끝나면 데이터 蒐集 시간을 display한 다음 蒐集된 데이터를 플로피 디스크에 data file로서 貯藏하도록 하였다. 機械語 副 프로그램에서는 A/D變換機의 入力 채널을 順次的으로 指定하여 그 채널에 들어오는 아날로그 信號를 12비트의 디지털 入力으로 변환하여 마이크로컴 컴퓨터에 우선 貯藏하고, 지정된 user memory 9100H~BFFFFH번지가 모두 채워질 때까지 sampling time 間隔으로 계속하여 데이터를 蒐集하게 된다.

다. 自動脫穀機의 負荷 特性 및 最適 供給率 決定

1) 實驗材料

本 實驗은 一般系 品種인 아끼바레와 미네히카리의 두가지 品種을 사용하여 1986年 11月과 1987年 10月의 2년에 걸쳐 實施하였다. 供試機로는 H사 제품인 HST-420 自動脫穀機를 사용하였으며, 動力原으로는 7.5kw 變速모터를 이용하여 室內 實驗으로 行하였다.

벼는 含水率이 미네히카리의 境遇 약 23.5%(w.b.)에서, 아끼바레의 경우 약 23.1%(w.b.)에서 바인더로 刈取한 뒤 脫穀 實驗室 內에서 自然 通風 乾燥하여 필요한 含水率에서 實驗하였다. 含水率 測定은 110℃에서 眞空오븐법을 사용하였으며, 芻단과 穀物의 重量, 含水率은 實驗 當日 芻단 30개를 임의로 抽出하여 測定하였다.

2) 實驗方法 및 實驗設計

벼의 供給은 芻단으로 供給하는 境遇와 芻단을 풀어서 供給하는 두가지 境遇에 대하여 實驗하였다. 가능한한 벼의 供給 條件을 一定하게 하기 위하여 각 含水率에서 芻단을 任意로 30개씩 抽出하여 그 平均 무게를 구하고, 平均值로부터 ± 3% 이내의 芻단을 사용하였다. 芻단 供給의 境遇 1단을 2초, 3초, 4초마다 供給하는 3가지 水準을 택하고, 芻단을 풀어서 供給하는 境遇는 역시 2초, 3초, 4초마다 芻질을 가능한한 均一하게 풀어서 供給하는

方法과 糞층 두께의 變化로서 負荷特性을 糾明하기 위해 1단을 9, 12, 15等分하여 묶어서 供給하는 두 가지 方法을 사용하였다.

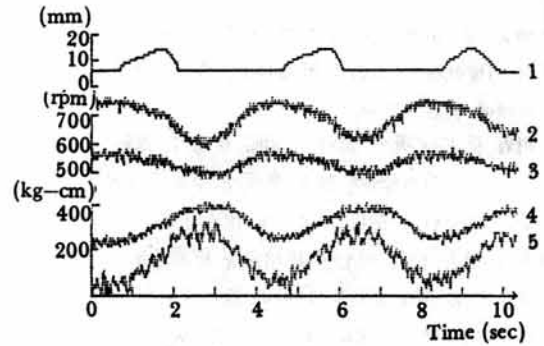
脱穀機의 脱穀 狀態 調節은 製作 會社에서 규정 標準方法에 의하였다. 芻단의 供給 깊이는 미네히까리와 아끼바레 모두 穀粒으로부터 다발물림 레일의 안쪽까지의 직선 거리가 약 47cm가 물리도록 供給하였다.

南(1), 劉(2) 등은 芻단 크기나 供給率의 變化가 選別 性能, 調製 性能, 末脱粒 比率에 影響을 미치지 않고, 拔胴의 回轉速度가 550 rpm 정도이면, 脱穀 性能이 良好한 것으로 報告한 바 있어, 모든 作業은 拔胴의 有效지름이 475mm인 供試機의 境遇 拔胴의 回轉速度 550 rpm (周速度 : 820 m/min)에서 작업이 시작되게 하였다. 또한 각 處理는 모든 作業 準에서 2번 反復 하였으며, 實驗時間은 15秒로 하였다. 본 實驗 設計는 표 2에 나타내었다.

IV. 結果 및 考察

가) 芻단 供給時의 負荷 特性

그림 3은 含水率 23.1% (w. b.) 미네히까리 品種의 供給率 485kg/hr 일때 芻단 供給에 따른 負荷 特性을 時間에 따라 나타낸 것이다. 전체적으로 토오크와 回轉速度는 拔胴과 動力 供給軸에서 公히 相互 反比例의인 關係를 잘 나타내고 있으며, 拔胴 토



1: Straw layer thickness 2: Power-input-shaft speed
3: Cylinder speed 4: Power-input-shaft torque
5: Cylinder torque

Fig. 3. Typical results of load measurement by bundle feed.

오크 變化는 動力供給軸에서의 토오크 變化보다 그 變動이 심한 것을 알 수 있다.

토오크의 最大值는 糞층 두께가 最大로 나타나는 時間보다 그후에 나타나는 것은 糞층 두께의 感知 센서 位置가 拔胴의 供給 시작부에 附着되어 있기 때문이다. 芻단 供給時는 그 供給이 間歇的으로 이루어지기 때문에 糞층 두께로서는 負荷 特性을 豫測할 수 없어 拔胴의 回轉速度 變化로서만 負荷 變動을 나타내는 指標로 사용하였다.

1) 負荷變動

脱穀機의 負荷 變動을 調査하기 위해 미네히까리의 含水率 23.1% (w. b.)인 境遇에 있어서 그림 4와 같은 토오크의 頻度分布曲線을 구하였다.

Table 2. Experimental design.

Types of feed	Factors	Levels of factors	Measured variables
Bundle	Variety	Minehikari Akibare	Cylinder & power-input-shaft torque
	m. c. (w. b)	Minehikari; 23.1, 21.9, 17.3% Akibare; 22.9, 18.5%	
	Feed interval	2, 3, 4 sec/bundle	
Spread	Variety	Minehikari	Straw-layer thickness
	m. c. (w. b)	23.1, 17.3%	
	Feed rate	969, 646, 485 kg/hr	
	Straw layer thickness	9.4, 9.0, 8.5 mm	

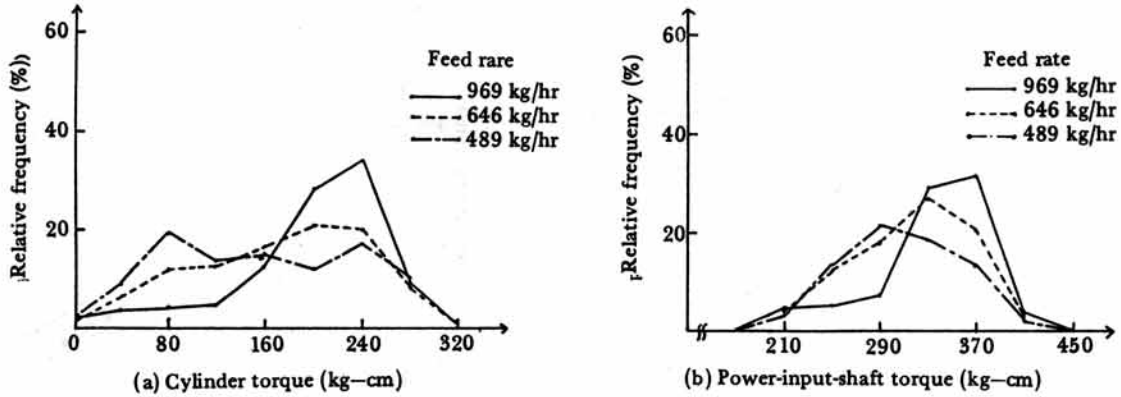


Fig. 4. Frequency distribution of torque for various feed rates by bundle feed.

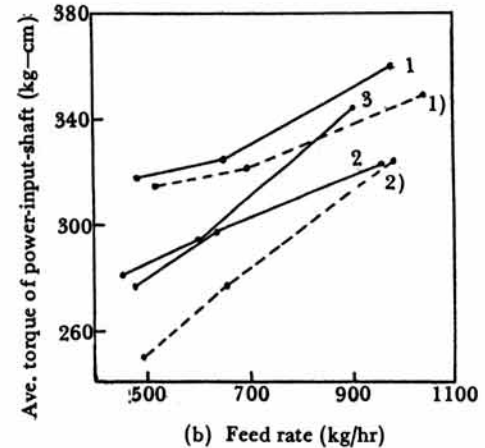
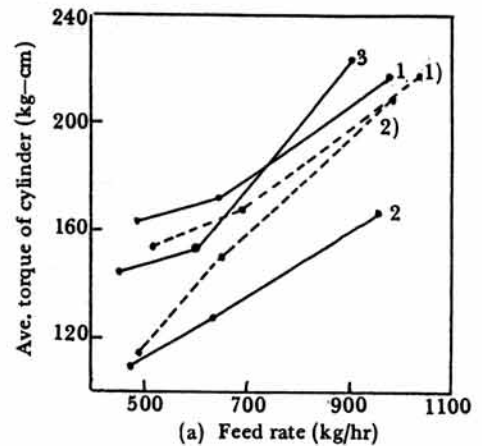
벗단으로 供給한 境遇에는 969kg/hr의 供給率에서는 負荷 變動의 振幅은 적고, 相對頻度는 240 kg cm 부근에서 集中的으로 높게 나타난 반면, 供給率이 增加할수록 큰 負荷가 持續的으로 걸리게 되어 負荷의 彈力性이 적어지기 때문에 判斷된다.

2) 平均 토크

供給率에 따른 拔胴의 平均 토크를 그림5의 (a)에, 動力供給축의 平均 토크를 (b)에 각각 나타내었다. 品種마다 共히 供給率의 增加에 따라 거의 直線的으로 增加하였으며, 含水率이 增加할 수록 토크도 크게 나타났다.

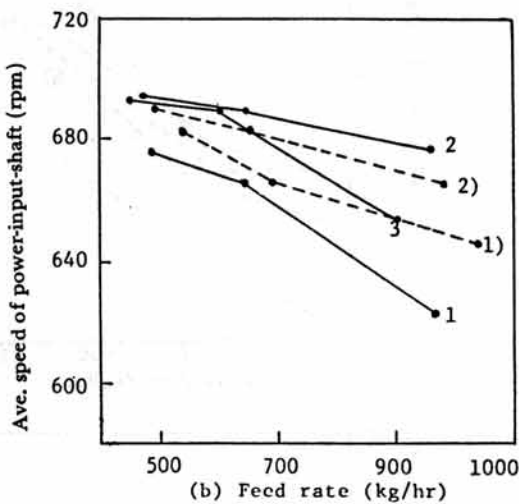
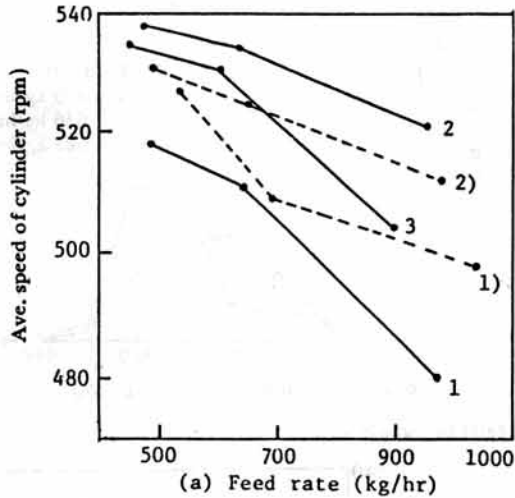
拔胴의 토크 增加率은 動力 供給軸의 토크 增加率보다 크게 나타났는데, 이는 拔胴의 토크가 動力 供給軸의 토크의 약 53% 정도에 해당하였다. 그러나 미네히카리의 境遇 含水率 17.4% (w. b.)에서 供給率이 增加할수록 含水率 21.9% (w. b.)인 境遇보다 오히려 토크가 크게 나타났는데, 그 이유는 벼의 特性上 含水率 17.4% (w. b.)에서는 脫穀時 過度 乾燥에 의해 糞품의 發生이 增加한 때문에 생각된다.

品種別로는 미네히카리가 아끼바레보다 같은 供給率에서 토크가 크게 發生하였으나 品種間의 차이는 나타나지 않았다. 미네히카리 品種의 含水率이 23.1%이고, 供給率 969kg/hr인 境遇는 負荷의 심한 增加로 作業이 다소 圓滑하지 못하였는데, 이 때가 作業 가능한 最大 토크 發生 지점으로 생각할 수 있으며, 이 수준에서 動力 供給軸의 平均 토크는 353kg-cm, 拔胴의 平均 토크는 217kg-cm로 나타났다.



Minchikari m.c.(w.b.)	Akibare m.c.(w.b.)
1 : 23.1%	1) : 22.9%
2 : 21.9%	2) : 18.5%
3 : 17.3%	

Fig. 5. Effect of feed rate on average torque of cylinder(a) and on average torque of power-input-shaft torque(b) by bundle feed.



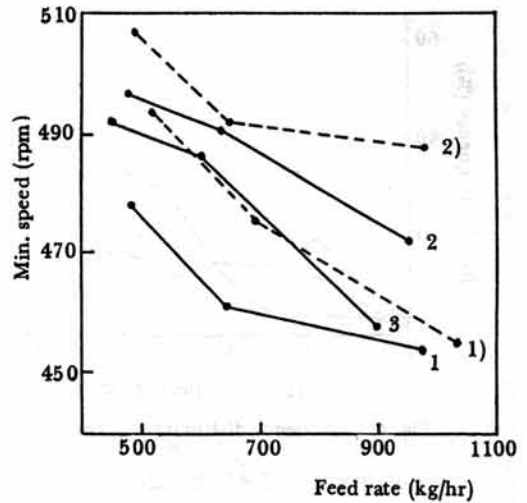
Moisture Content (w.b.)	Series	Value (%)
Minchikari m.c. (w.b.)	1	23.1%
	2	21.9%
	3	17.3%
Akibare m.c. (w.b.)	1	22.9%
	2	18.5%

Fig. 6. Effect of feed rate on average speed of cylinder(a) and on average speed of power-input-shaft(b) by bundle feed.

3) 平均 回轉速度 및 最低 回轉速度

供給率에 따른 拔胴의 平均 回轉速度를 그림 6의 (a)에, 動力 供給軸의 平均 回轉速度를 (b)에 나타내었으며 拔胴의 最低 回轉速度를 그림 7에 각각 나타내었다.

특히 最低 回轉速度의 계산은 測定值의 瞬間變動을 考慮하여 最低값 前後의 10개 데이터를 平均하여 구하였다. 一般의으로 回轉速度의 變化는 토오크 變化와 逆比例하는 關係로서 나타났으며, 品種마



Moisture Content (w.b.)	Series	Value (%)
Minchikari m.c. (w.b.)	1	23.1%
	2	21.9%
	3	17.3%
Akibare m.c. (w.b.)	1	22.9%
	2	18.5%

Fig. 7. Effect of feed rate on minimum speed for cylinder by bundle feed.

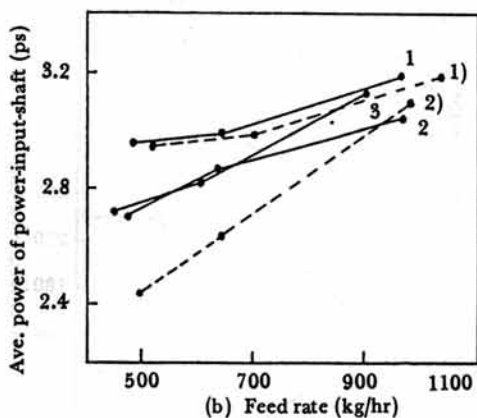
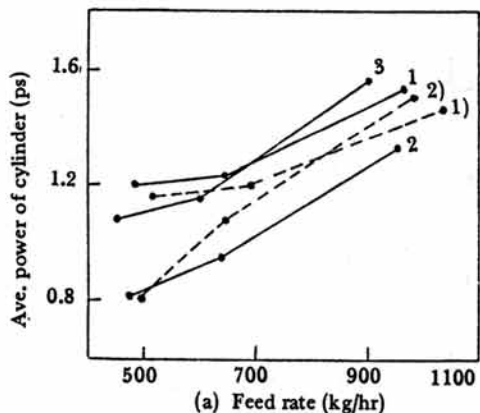
다 共히 供給率의 增加에 따라 減少하는 傾向을 나타내었다. 回轉 速度도 토오크와 마찬가지로 含水率이 增加할 수록 負荷가 增加하여 回轉速度는 낮게 나타났다.

특히 두 品種 모두 供給率 684kg/hr 이하에서는 回轉速度의 減少에 있어 그 차이가 拔胴의 平均 回轉速度를 基準하여 515-540rpm으로 그 차이가 적은 반면, 972kg/hr에서는 485-521rpm으로서 약 44% 정도 그 變化幅이 增加하였다. 따라서 供給率의 增加에 따른 토오크의 增加率보다 回轉速度의 減少率이 더 큰 것을 알 수 있었다.

토오크 特性에서 지적하였듯이 미네히카리 品種의 境遇, 含水率 23.1%일 때 供給率 969kg/hr 가 最大 供給率이라고 判斷한다면 그림 10의 (c)에 나타난 바와 같이 作業 可能한 最大 供給率에서 拔胴의 最低 回轉速度는 454 rpm인 것으로 判斷되었다.

4) 平均 所要動力

拔胴의 平均 所要動力 및 動力 供給軸의 平均 所要動力은 그림 8의 (a), (b)에 각각 나타낸 바와 같이, 供給率의 增加에 따라 增加하였으며, 같은 供給率에서 아끼바레가 미네히카리보다 所要動力이 적게 나타났다. 그러나 비슷한 含水率에서는 品種間의



Minchikari m.c.(w.b.)	Akibare m.c. (w.b.)
1 : 23.1%	1) : 22.9%
2 : 21.9%	2) : 18.5%
3 : 17.3%	

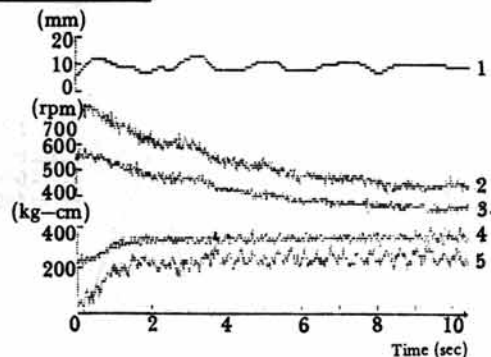
Fig. 8. Effect of feed rate on average power requirement of cylinder(a) and on average power requirement of power-input-shaft(b) by bundle feed.

有意성은 나타나지 않았으나 同一品種에서 含水率 間에는 5% 水準에서 有意성이 인정되었다.

扱胴의 所要動力과 動力 供給軸의 所要動力 모두 646kg/hr의 供給率 이하에서는 品種과 含水率에 따라 차이가 크게 나타났으나, 972kg/hr의 供給率에서는 그 차이가 적어, 扱胴의 境遇 1.4~1.5 ps, 動力 供給軸의 境遇 3.1~3.2ps가 平均 動力으로 所要되는 것으로 나타났다.

나. 芻단을 풀어서 供給한 境遇의 負荷 特性

그림 9는 含水率 23.1%(w.b.)인 미네히카리 品種의 芻단을 969kg/hr의 供給率로 풀어서 供給한 境



1: Straw layer thickness 2: Power-input-shaft speed
3: Cylinder speed 4: Power-input-shaft torque
5: Cylinder torque

Fig. 9. Typical results of oad measurement by spread feed.

遇의 負荷 特性을 시간에 따라 나타낸 것이다. 대부분의 供給率에서 전체적으로는 토오크와 回轉速度는 芻단 供給의 境遇와 같은 傾向으로 變化하고 있으나, 특히 969kg/hr의 供給率에서는 시간의 흐름에 따라 扱胴과 動力扱胴축의 回轉速度가 계속 減少하고 있어, 이 供給率에서는 脱穀作業이 원활히 수행되지 못함을 나타내고 있다. 그러나 回轉速度의 계속적인 減少에도 불구하고, 토오크는 어느 限界 이상 發生하지 못함을 알 수 있는데, 이는 本實驗에 사용된 自動脱穀機의 動力傳達 體系上이 이상의 過負荷에서는 슬립이 급격히 發生하여 이 이상 토오크를 發生시키지 못한 것으로 생각된다.

이때의 限界 토오크는 扱胴의 境遇 284kg-cm, 動力 供給축의 境遇 371kg-cm로 나타났다.

또한, 芻단 供給의 境遇와는 달리 糞층 두께 變化에 따라 負荷特性이 一連의 關係로서 變하므로 芻단을 풀어서 供給한 境遇에는 扱胴의 回轉速度와 糞층 두께로서 負荷 變動을 나타내는 尺度로 나타내고자 하였다.

1) 負荷 變動

芻단을 풀어서 供給한 境遇에 脱穀機의 負荷變動을 조사하기 위해 미네히카리의 含水率 23.1%(w.b.)인 品種에 있어 芻단을 풀어서 供給한 境遇에는 모든 供給率에 있어, 그림 10에 나타난 바와같이 그 變動幅과 相對頻도가 均一하게 나타났으며 驅動軸의 토오크는 平均토오크에서 集中的으로 나타났다.

供給率이 增加할수록 높은 토오크에서 그 頻度數가 높은 것은 供給率의 增加에 따라 토오크가 增加

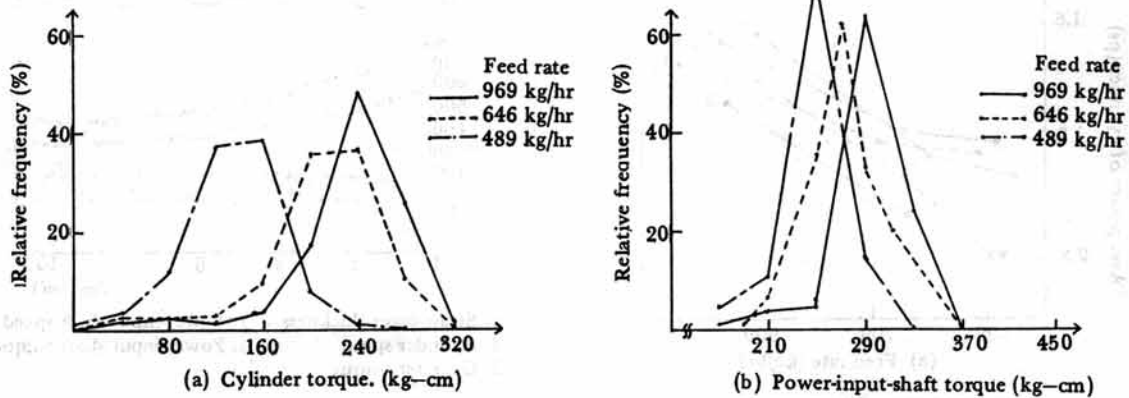


Fig. 10. Frequency distribution of torque for various feed rates by spread feed.

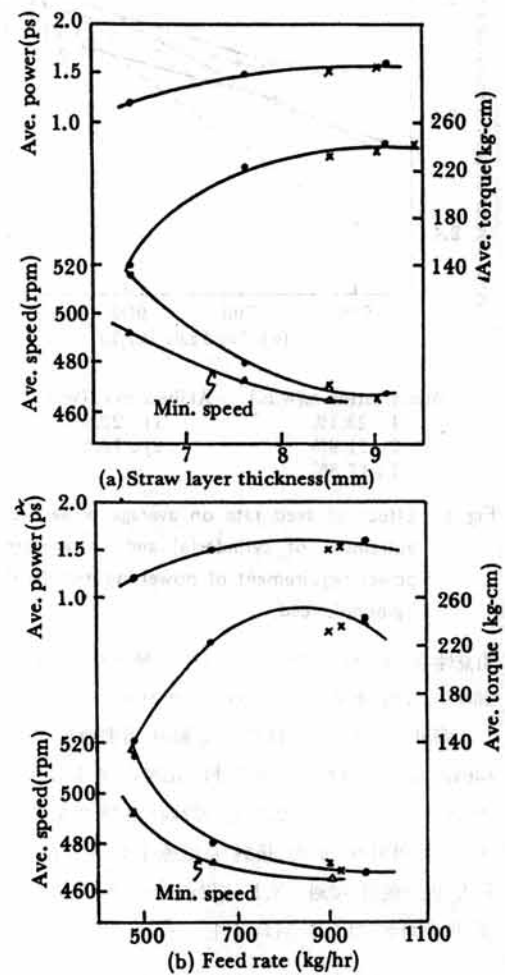
하기 때문에 나타나는 당연한 결과일 것이다. 이렇듯이 풀어서 供給한 境遇에 토오크의 變動幅과 相對頻度の 發生이 一定한 형태로 나타난 것은 벼단 供給時와는 달리 供給이 一定하게 이루어져 實驗구간 동안 그 負荷가 均一하게 걸리기 때문인 것으로 생각되었다.

動力 供給軸의 토오크는 969kg/hr의 供給率에서는 290kg-cm, 646kg/hr 供給率에서는 270kg-cm, 485kg/hr의 供給率에서는 250kg-cm에 全體頻度體의 60% 이상이 集中하여 있으므로 벼단 供給의 境遇보다 供給率에 따른 負荷의 變動 特性이 더욱 확실히 구별될 수 있음을 알 수 있었다.

2) 負荷 特性

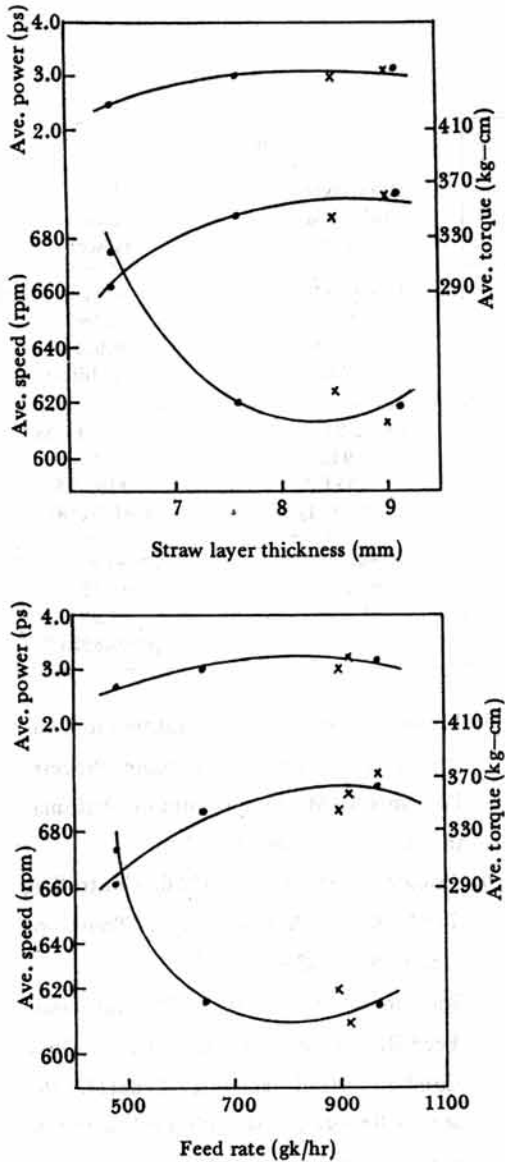
벼단을 풀어서 供給한 境遇의 負荷特性을 알아보기 위해 미네히카리 品種에 대하여 含水率 23.1% (w.b.)인 境遇에 대하여 각각 3가지 水準의 供給率에서 實驗을 實施하였다.

그 結果를 그림 11에는 極胴의 負荷 特性을, 그림 12에는 動力 供給軸의 負荷特性을 각기 나타내었다 또한 그림 11과 그림 12 모두 (a)는 糞층 두께를 獨立變數로, 負荷特性을 從屬變數로 나타낸 것이고 (b)는 供給率을 獨立變數로, 負荷特性을 從屬變數로 나타낸 것이며, 負荷特性은 平均 토오크, 平均回轉速度, 最低 回轉速度, 平均 所要動力등을 사용하여 표시하였다. 全體의인 負荷特性은 벼단 供給時와 일치하는 傾向을 나타내었으며, 벼단 供給時와는 달리 含水率보다는 糞층두께와 供給率에 따라 確실한 相關關係를 나타내고 있음을 알 수 있었다.



Minehikari: 23.1% (w.b.): ●
 17.3% (w.b.): x

Fig. 11. Load characteristic for cylinder by spread feed.



Minehikari: 23.1% (w.b.): ●
17.3% (w.b.): x

Fig. 12. Load characteristics for power-input-shaft by spread feed.

표 3에는 질층 두께와 공급률에 따른 負荷 特性을 回歸方程式으로 나타낸 것이다.

動力 供給軸의 境遇 最低 供給率 485kg/hr에서 平均 所要動力이 2.78ps, 最大 供給率 969kg/hr에서 3.13ps로 最低 所要動力 기준으로 12.3% 增加한 반면, 最低 토오크를 기준하여 23%나 增加하였다.

다.

이는 動力 供給軸의 回轉速度가 485kg/hr供給率에서 675rpm, 969kg/hr에서 618rpm으로 9.3%정도 밖에 增加한 것으로 보아 負荷가 增加할수록 토오크는 급격히 增加하나, 回轉速度는 상대적으로 減少하기 때문인 것으로 생각된다.

17.3% (w.b.)의 含水率 狀態에서 供給率 954kg/hr에서는 回轉速度의 급격한 低下로 作業이 不可能한 狀態가 發生하였으므로, 이때의 供給率을 過負荷 狀態로 보고 作業 可能한 供給率을 23.1%(w.b.)의 含水率에서 969kg/hr의 供給率을 最大 供給率로 判斷하여, 본 實驗에 사용된 自動脫穀機의 시스템에서는 拔胴의 最低 回轉速度 460rpm, 最大 質층 두께로서 9.5mm를 制御의 境界 條件으로 삼았다.

또한 960kg/hr를 前後한 供給率에서 含水率이 낮은 17.3% (w.b.)에서 作業 不可 狀態가 發生한 것은 벼단 供給時 미네히카리 品種의 境遇에 17.3% (w.b.)에서 21.9% (w.b.)의 境遇보다 負荷가 크게 나타난 바와 같이 過度한 乾燥時 質층의 發生이 많아지는 作物상의 特性인 것으로 判斷된다.

V. 要約 및 結論

本 研究에서는 脫穀 性能의 向上, 穀物 損失의 減少, 所要에너지의 效率 增大에 寄與할 自動 脫穀機의 供給率 自動 制御 裝置를 開發하기 위하여 脫穀機의 負荷 特性을 糾明하는데 있었다. 이를 위해 마이크로 컴퓨터를 利用하여 供給率에 따른 脫穀軸의 토오크와 回轉 速度, 質층 두께 등을 測定, 收集, 分析할 수 있는 시스템을 開發하였다.

그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 拔胴의 回轉速度 및 토오크, 動力 供給軸의 回轉速度 및 토오크, 質층 두께 등의 측정에 사용된 센서는 測定 設定 結果 直線성이 優秀하였을뿐 아니라 精密度도 비교적 높은 것으로 나타났다. 또한 本 研究에서 開發된 마이크로 컴퓨터를 利用한 負荷 特性의 데이터 蒐集 및 分枝 및 프로그램으로 迅速하고 精確한 데이터 蒐集 및 分析이 可能하였다.
2. 벼단으로 供給한 경우의 負荷 特性(平均 토오크, 平均 回轉速度, 平均 所要動力)은 供給率에 따라 거의 直線的으로 變하였으며, 供給速度

Table 3. Regression Equations of Load Characteristics

Variety: Minehikari

	Cylinder shaft		Power input Shaft	
	Straw layer thickness (mm)	Feed Rate (g/sec)	Straw layer thickness (mm)	Feed Rate (g/sec)
Average Torque (kg-cm)	$T = -15.58x^2 + 278.6x - 1003.4$ ($r^2=0.9841$)	$T = -9.26E-3x^2 + 4.44x - 285.36$ ($r^2=0.9504$)	$T = -5.1x^2 + 103.81x - 157.87$ ($r^2=0.9355$)	$T = -3.79E-3x^2 + 1.9x + 99.2$ ($r^2=0.8669$)
Average RPM	$V = 7.71x^2 - 137.61x + 1081.63$ ($r^2=0.9966$)	$V = 4.45E-3x^2 - 2.17x + 725.51$ ($r^2=0.9767$)	$V = 12.81x^2 - 2.91x + 1551.22$ ($r^2=0.9421$)	$V = 7.49E-3x^2 - 3.4x + 194.25$ ($r^2=0.9178$)
Average Power (ps)	$H = -0.11x^2 + 1.84x - 6.42$ ($r^2=0.9776$)	$H = -5.81E-5x^2 + 0.03x - 1.56$ ($r^2=0.9446$)	$H = -0.1x^2 + 0.34x + 1.2$ ($r^2=0.9515$)	$H = -1.39E-5x^2 + 7.85x + 1.99$ ($r^2=0.8921$)

에 따른 負荷는 同一品種에서 含水率 間에는 그 차이가 뚜렷하여 有意性이 인정 되었으나 品種 間에는 그 차이가 나타나지 않았다.

3. 벗단을 풀어서 供給한 경우에는 供給率이 負荷變動과 2次函數關係로서 높은 相關關係를 보였으며, 질층 두께도 負荷變動과 2次 函數關係로서 높은 相關關係를 보여 질층 두께로서 負荷變動을 豫測 可能한 것으로 나타났다.

參考文獻

1. 南相一, 鄭昌柱, 柳寬熙. 1980. 脫穀機의 諸作動要因이 벼의 生脫穀 性能에 미치는 영향. 韓國農業機械學會誌. 5(1): 1-14.
2. 劉壽男, 柳寬熙. 1981. 바인더 벗단의 크기가 自動脫穀機의 脫穀性能 및 負荷特性에 미치는 영향. 韓國農業機械學會誌. 6(1): 60-72.
3. Baskion, G.R., et al. 1982. A Monitor for Crop Moisture and Combine Cylinder Speed. Trans. of the ASAE. 23(6): 1220-1224.
4. Brizgis, L.J., et al. 1980. Automatic Cylinder Speed Control for Combines. Trans. of the ASAE. 23(5): 1066-1071.

5. Eimer, M., et al. 1974. Automatic Control System of Combine Thresher Process. Preprints IFAC Symposium on Automatic Control for Agri. F-5: 1-9.
6. Friesen, O.H., et al. 1966. Controlling Feed Rates Automatically. Trans. of ASAE. 9(4): 434-435.
7. Kawamura, N., et al. 1972. Automatic Feed-Rate Control fir Gydrostatic Drive Combine Head Feeding Type(1). Research Report on Agricultural Machinery. LAM Kyoto Univ. No. 4: 55-70.
8. Kawamura, N., et al. 1973. Automatic Feed-Rate Control for Hydrostatic Drive Combine Head Feeding Type(2). Research Report on Agricultural Machinery. LAM Kyoto Univ. No. 5: 1-16.
9. Kawamura, N., et al. 1974. Automatic Feed Rate Control of Hydrostatic Drive Combine of Head Feeding Type. Preprints IFAC Symposium on Automatic Control for Agr. F-4: 1-10.
10. Kawamura, N., et al. 1975. Automatic

- Feed Rate Control of Combine in Two Input System and Its Adaptive Control. Memoirs of College. Agr., Kyoto Univ. No. 107: 1-35.
11. Kawamura, N., et al. 1978. Adaptive Feed Rate Control of Small Combine Harvester. Research Report on Agricultural Machinery. LAM Kyoto Univ. No. 8: 68-96.
12. Krutz, G.W., et al. 1985. Combine Feed-rate Sensors. Trans. of the ASAE. 28(1): 2-5.
13. Nakonetschný, I.I., et al. 1967. Automatic Regulation of the Throughput in Harvesting Machines. Deut. Agrat. No. 17: 434-435.
14. Huisman, W., et al., 1974, Automatic Feed Rate Control of A Combine Harvester in Wheat. Preprint IFAC Symposium on Automatic Control for Agr. F-3.