

**A Forward Speed Control of Head-feed
Combine Using Continuously
Variable V-belt Transmission
-Combine Load Characteristics-**

崔圭烘* 柳寬熙** 曹永吉* 朴阪圭*
K. H. Choi, K. H. Ryu, Y. K. Cho, P. K. Park

Summary

This study was carried out to obtain the information needed in the development of forward speed control system and the improvement of combine performance. The effects of variety, grain moisture content and forward speed on the combine load characteristics were investigated through experiments. The results of this study are summarized as follows.

1. A data acquisition system was developed to measure the engine speed and the torques and speeds of the threshing cylinder, clean-grain auger and tailings-return auger. The system consisted of transducers, signal conditioner, interface board and microcomputer. The system accuracy is better than $\pm 2.3\%$ full scale.

2. Linear regression equations were obtained for the torque, speed and power requirement of threshing cylinder for different paddy varieties, grain moisture contents and feed rates.

3. The maximum value of relative frequency for threshing cylinder torque decreased as the increase in feed rate and moisture content. The range of torque fluctuation was 1.2~3.7 and 1.2~1.9 times the average and maximum torque, respectively. The maximum value of power spectrum density (PSD) appeared to be about 11 Hz regardless of paddy variety, grain moisture content and feed rate.

4. The speed of tailings return thrower decreased rapidly at below 900rpm, and it fell to near zero about 3 seconds after that time. When the travelling of combine harvester was stopped immediately after sensing the overload, it took about 7 seconds for a full recovery of the no-load speed of tailings return thrower.

1. 緒 論

자탈형 콤바인을 개발한 일본에서는 오래 전 부터 운전자의 勞力輕減과 安全性向上, 圃場損

失 減少, 作業性能 向上 측면에서 자동화 연구가 매우 활발히 進行되어 왔으며, 그 일부가 실용화 되어 시판되고 있다. 최근 농촌 노동력의 급격한 감소와 함께 大型 高性能 콤바인의 보급이 크게

* 農業機械化研究所 收穫機械科

** 서울大學校 農科大學 農工學科

증가하고 있으며, 또한 다양한 작업 조건에서 운전 조작이 용이한 자동 제어 시스템이 요구되고 있다.

국내에서도 주행방향, 예취높이, 공급깊이 제어에 관한 연구의 결과가 보고되고 있지만, 아직 실용화 단계에는 이르지 못하고 있다. 더구나 콤바인의 주행속도 제어, 부하 제어, 공급량 제어 등에 관한 연구는 아직 수행된 바 없으며, 특히 이와같은 제어 시스템 개발에 앞서 다양한 포장 작업중 각 요소간의 動力 配分과 荷重特性的 究明은 자동화와 성능 향상에 매우 중요한 과제이지만, 지금까지 이에 대한 시도가 없었다.

콤바인의 포장실험은 시기적으로 제약이 따르고, 많은 인력과 측정 장비가 동원될 뿐만 아니라, 分析時 莫大한 시간과 勞力이 소요되기 때문에 오실로그래프나 마그네틱 테이프 레코더등을 이용한 아날로그 계측방법 보다는 마이크로컴퓨터를 이용한 디지털 계측방법이 실험을 수행하는데 보다 능률적이라 할 수 있다.

그동안 자탈형 콤바인에 관한 국내의 주요 연구는 還元性能 향상과 탈곡부 設計要因의 適正化를 위한 탈곡통축 토크 波形的 추정과 탈곡과정의 수학적 모형 개발등의 연구를 들 수 있는데, 이는 특정 부위의 성능 향상을 위한 연구라고 할 수 있다. 그러나 콤바인은 주행, 예취, 탈곡, 선별, 짚 처리부 등 기능이 서로 다른 부분들로 조합되어 있고, 動力 傳達體系가 車軸을 제외하고는 하나의 V-벨트가 여러 부위를 동시에 구동시키는 運動方式이므로 이들 상호간에 미치는 영향은 매우 복잡할 것으로 판단된다.

따라서 이 연구에서는 콤바인의 포장성능 실험을 위한 資料 收集 시스템을 개발하고, 이를 이용하여 품중, 함수율, 공급율이 콤바인의 荷

特性에 미치는 영향을 실험적으로 구명함으로써 성능 향상과 자동화를 위한 기초 자료를 얻고자 하였다.

2. 材料 및 方法

가. 실험장치

실험에 사용된 供試機는 3條用 콤바인(金星 MC1950)이었으며, 각종 센서 부착을 위해 다음과 같이 동력 전달체계의 일부를 변경하였다.

공시기의 搖動板은 원래 1번축 구동 풀리의 偏心軸에 의해 구동되도록 되어 있으나, 1번 곡물 이송축(이하 1번축)의 토크를 측정하기 위하여 송풍팬 축상에 동일한 크기의 풀리를 부착하여, 이 풀리가 V-벨트를 통하여 보조 프레임에 부착된 별도의 동일한 1번축 풀리의 편심축이 요동판을 구동시키도록 하였다. 이때 각 부위의 작동상태는 변형전과 동일하였다.

나. 측정장치

1) 토크 측정

탈곡통축, 1번축, 2번 환원축(이하 2번축) 토크를 측정하기 위하여 각 축상에 스트레인 게이지를 부착한 토크 變換器를 제작하였다. 無負荷時 出力이 0볼트가 되도록 증폭기의 利得을 조절하고, 既智의 錘를 이용하여 토크를 가했을 때 변환기로 부터 출력되는 신호가 슬립링, 증폭기, A/D 변환기를 거쳐 마이크로컴퓨터에 입력되도록 하여 測度設定 하였다.

표 1은 측도 설정 결과를 나타낸 것이며, 토크 변환기들의 오차는 信賴 區間에서 $\pm 0.65 \sim \pm 2.30\%$ FS이었다.

Table 1. Regression equations obtained from the calibration curves for torque transducers.

Items	Regression equations	Coeff. of determination	Accuracy (% FS)
Threshing cylinder	$Y=1.279 X$	0.9993	± 2.30
Clean-grain auger (1st auger)	$Y=5.0836 X$	0.9999	± 0.66
Tailings return auger (2nd auger)	$Y=5.1427 X$	0.9999	± 0.65

2) 회전속도 측정

회전속도 검출 센서로는 타코제너레이터(tachogenerator)와 로터리 엔코더(rotary encoder)가 가장 널리 사용되고 있다. 타코제너레이터는 일종의 直流發電機로서 회전속도에 비례하여 전압이 발생되기 때문에 이 출력 전압으로부터 회전속도의 검출이 가능하다. 이것은 회전속도의 순간 변화를 검출하는데 유리하지만, 외부 노이즈(noise)등의 영향을 받기 쉬우므로 신호 처리에 세심한 주의가 요구된다.

디지털 신호를 출력하는 로터리 엔코더는 속도의 순간적인 변화 검출에는 그 한계가 있지만, 노이즈에 강할 뿐만 아니라 최근 高分解能(100-5000 pulse/rev.)의 제품 구입이 용이하여 모터의 속도, 자동차 주행속도, 엔진 회전속도 등의 검출에 널리 사용되고 있다.

이 실험에서는 포장 실험시 콤파인에 부착한 센서로부터 자료 수집 시스템까지의 거리가 멀고, 심한 진동 등의 열악한 환경을 고려하여 로터리 엔코더를 사용하였다.

탈곡통의 회전속도는 탈곡통축에 로터리 엔코더의 직접 부착이 곤란하여 탈곡부 입력축에 부착하여 측정하였고, 이 축과 탈곡통 축사이의 속도비(2.56 : 1)로부터 환산하여 구하였다. 그리고 1번축의 회전속도는 수직 양곡 오거 축 상단에서 측정하였는데, 측정 부위와 1번축과의 속도비는 1.69 : 1이었으며, 2번축과 엔진회전속도는 각각의 축에 직접 부착하여 측정하였다.

다. 자료 수집 시스템

1) 마이크로컴퓨터

자료 수집 시스템에서 이용한 마이크로컴퓨터는 CPU 6502 마이크로프로세서로서 기억 용량은 64K 바이트이며, 사용자가 사용할 수 있는 RAM은 \$0800~\$1FFF 6K 바이트와 \$6000~\$BFFF 영역의 24K 바이트로 총 30K 바이트이다. 이 시스템에서는 \$9300~\$9600에 機械語 프로그램용, \$6000~\$8FFF는 메모리 버퍼로서 수집된 데이터를 일시 보관하는데 사용하였다.

2) 인터페이스

이 시스템은 물리량을 전기적인 신호로 변환시키는 變換部, 각 신호를 增幅하고 修正하는 信號處理部, A/D 변환기, 타이머, 카운터 보드, I/O 보드로 구성된 인터페이스부 및 마이크로컴퓨터로 구성되었으며, A/D 변환기는 12비트의 분해능을 갖고 16채널의 멀티플렉서를 내장하고 있는 逐次比較型의 변환기이었다.

로터리 엔코더의 디지털 신호는 카운터 보드와 타이머에 의해 計數된 펄스 數를 읽어 컴퓨터의 RAM상에 16진수의 값으로 기억시켰다.

데이터 수집용 주 프로그램은 BASIC 언어어였으며, 고속의 A/D 변환과 데이터 수집의 동시성을 기하기 위해 機械語로 작성된 부 프로그램을 작성하였다.

실험에 앞서 측정 채널 수, 샘플링 반복 회수, 샘플링 간격을 일정 범위(10 ms~2.56 sec)내에서 결정할 수 있도록 하였다. 마이크로컴퓨터의 메모리 버퍼로 사용된 영역은 \$6000~\$8FFF로서 총 12287 바이트의 데이터를 기억시킬 수 있다. 전체 사용 채널 수가 8개이고, A/D 변환기의 분해능이 12비트이었는데, 게이팅 시간(gating time)당 로터리 엔코더로부터 읽어 들인 펄스 수가 1바이트 값 (\$FF)을 초과하므로, 전체 채널이 1회 샘플링할 때 마다 2바이트씩이 소요되었다.

따라서 총 바이트 수/(채널수×2 바이트)로부터 768회의 샘플링이 가능하였다. 그리고 샘플링 간격은 지연 시간 크기에 따라 조절 가능하였고, 다음과 같은 관계를 나타냈다.

$$T = 10 \times N_d \dots \dots \dots (1)$$

여기에서 T : 샘플링 간격(ms)

N_d : 지연 시간 (1~256)

수집된 데이터는 플로피 디스크에 데이터 파일(file)로서 기억시킨 후 분석용 프로그램으로 평균값, 표준편차를 계산하였다.

3) 자료 수집 시스템의 검증

시스템의 正確度 표시는 誤差의 절대 한계를 全入力量(full scale input)에 대한 百分率로 나타낸 전 입력 오차로 나타냈으며, 토크 측정시

오차는 표 1에서와 같다.

회전속도 계측시 計數器(counter)의 계측 모드(mode)는 周波數 계측 모드와 週期 계측 모드로 구분된다. 이러한 계측 모드는 계수기 자체가 갖는 게이팅 오차(gating error), 측정 대상체의 회전속도 범위 및 센서의 분해능에 따라 결정되며, 그 한계는 다음과 같이 결정된다.

주기 계측 모드에서 계수될 펄스의 수는 다음 식으로 부터 구할 수 있다.

$$N_p = f_c / f_x \dots\dots\dots (2)$$

여기서 f_c : 계수기의 클럭(clock) 주파수

f_x : 未知의 입력 신호 주파수

한편 1초의 게이팅 시간을 갖는 주파수 계측 모드에서 계수될 펄스 수는 다음식과 같으며,

$$N_r = f_x \dots\dots\dots (3)$$

$N_p = N_r$ 의 조건이 성립하는 주파수, 즉 交叉周波數(crossover frequency, f_0)는 다음과 같다.

$$f_c / f_0 = f_0 \text{ 또는 } f_0 = \sqrt{f_c} \dots\dots\dots (4)$$

따라서 $f_0 > f_x$ 일 때는 주기 모드로 계측하고, $f_0 < f_x$ 일 때는 ± 1 계수의 게이팅 오차의 영향을 최소화하기 위하여 주파수 모드로 계측한다.

이 시스템의 탈곡통 회전속도 측정에 사용된 엔코더의 분해능(200pulse/rev), 탈곡통 축에 대한 측정 부위의 속도비(2.56)와 예상된 속도범위(250~450rpm)로 부터 산출된 주파수의 범위(f_x)는 2133~3840Hz이었다. 또한 계수기의 클럭 주파수($f_c = 1 \text{ MHz}$)로 부터 계산된 교차 주파수는 1000 Hz로서 $f_0 < f_x$ 의 조건을 만족시키므로 주파수 계측 모드에 의해 회전속도를 측정하였

다.

표 2는 사용된 로터리 엔코더의 분해능 및 기준 시간에 따른 不正確度를 나타낸 것이며, 基準 시간을 0.1초로 하였을 때 회전속도의 부정확도는 $\pm 1.28\%$ FS 이하를 나타냈다.

이 실험을 위해 제작된 자료 수집 시스템의 부정확도는 탈곡통축의 토크 변환기가 $\pm 2.3\%$ FS로 다소 컸지만, 그밖에는 $\pm 1\%$ FS이하를 나타내 콤바인의 포장 성능 실험에 적합한 것으로 판단되었다.

라. 포장실험

1) 실험재료 및 설계

실험에서 공시된 벼 품종은 일반계의 추청벼와 다수계의 삼강벼 2종류이었으며, '88년과 '89년 10월중 2년에 걸쳐 수행하였다. 실험 要因은 품종, 함수율, 공급율로서 이들을 서로 조합시켜 실험하였으며, 구체적인 實驗設計, 주요 조사 항목 및 作物性狀은 표 3에서 보는 바와 같다.

실험중에 함수율은 수확 시기를 달리하면서, 공급율은 주행속도를 변경시키면서 곡립구에서 나온 곡립량과 실험 구간의 소요 시간을 측정하여 산출하였다.

2) 실험방법

실험은 크게 콤바인 부하 특성의 구명(실험 I)과 連續 作業時 회전속도 변화를 파악하기 위한 실험(실험II)으로 나누어 실시하였다.

실험 I 은 마이크로컴퓨터 메모리 영역의 한계성 때문에 데이터 수집 간격을 10ms로하여 7

Table 2. Estimated error of the speed measurement.

Items	Rotary encoder resolution (pulse/rev)	Max. range (rpm)	Time base (sec)	Accuracy (% FS)
Threshing cylinder & 1st auger	200	470	1.0	± 0.13
			0.1	± 1.28
2nd auger	100	1400	1.0	± 0.09
			0.1	± 0.86
Engine	100	2700	1.0	± 0.04
			0.1	± 0.44

Table 3. Details of the experimetal design and agronomic data of the paddy used.

Varieties		Chuchung (Japanica-type)					Samgang (Indica-type)	
Exp. date		'88 Oct.18	Oct.21	'89 Oct.17	Oct.23	Oct.27	'88 Oct.17	'89 Oct.17
Moisture content (%, w.b)	Grain	17.7	16.6	22.0	17.0	15.5	16.2	19.2
	Straw	55.0	46.6	67.8	49.4	47.4	48.3	66.3
Forward speed (m/s) (Feed rate, kg/h)		0.31~0.66 (545~1270)					0.42~0.66 (775~1590)	
Investigated items		Torque (N-m) Speed (rpm)						

초 동안 데이터를 수집하였고, 이때 低域 필터 (low pass filter)의 遮斷 周波數(cutoff frequency)는 100 Hz로 설정하였다.

실험II는 연속 작업시 콤바인 각 부위의 회전 속도 변화를 파악하기 위한 것으로 작업중에 탈곡통과 2번구 등 탈곡부 내부 막힘을 예측하기 매우 어렵기 때문에 충분한 지연 시간을 주어 데이터의 수집 시간을 연장할 필요가 있다. 따라서 실험II에서는 지연시간을 1초 간격으로 늘려 데이터를 수집하였는데, 이는 콤바인 보급이래 그동안 국내에서 가장 큰 문제로 제기된 바 있는 2번구의 막힘이 동력 전달계의 부하 특성에起因한 것으로 판단하여 실시한 것이다.

그리고 공시 콤바인의 작업시 예측된 벼가 탈곡 선별 후 곡물이 곡물 탱크에 들어갈 때까지 걸리는 시간은 주행 속도에 따라 약간의 차이가 나타났지만 약 10~15초이었으므로, 본 실험에서는 콤바인이 벼를 예측하기 시작하여 작업이 정상 상태에 돌입하였다고 판단된 약 20초가 경과된 이후부터 데이터를 수집하였다.

3. 結果 및 考察

가. 탈곡부 토크 및 회전속도의 변화

그림 1은 품종, 함수율, 공급율 변화에 따른 탈곡통의 평균 회전속도, 토크 및 소요 동력을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 탈곡통

의 토크는 공급율의 증가에 따라 거의 직선적으로 증가하였으나, 그 기울기는 추청벼가 脫粒性이 강한 삼강벼 보다 약 1.4배 크게 증가하였다. 한편, 탈곡통의 회전속도는 토크와는 반대로 공급율의 증가에 따라 감소하였으며, 감소 정도는 토크와 마찬가지로 추청벼가 삼강벼보다 큰 비율로 감소하였다.

표 4는 탈곡통의 회전속도와 토크를 추청벼의 경우 공급율과 함수율을, 삼강벼 경우 공급율만을 각각 독립 변수로 하여 직선 회귀방정식으로 나타낸 것이다.

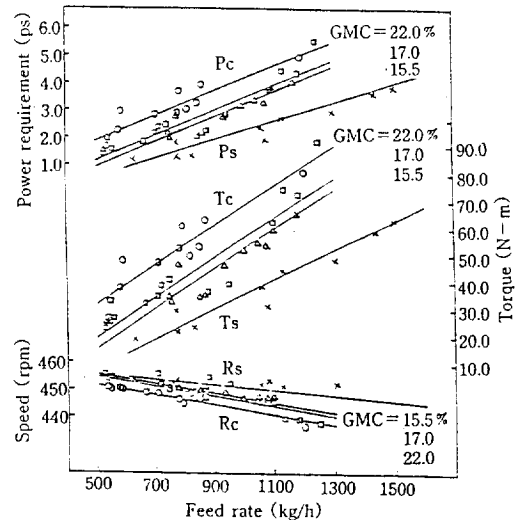


Fig. 1 Effect of feed rate, moisture content and variety on torque, power requirement and speed of the threshing cylinder. (X : Samgang, O□△ : Chuchung)

Table 4. Regression equations for representing the load characteristics of threshing cylinder.

Vairieties	Chuchung (Japonica-type)	Samgang (Indica-type)
Average torque (N-m)	$T_c = -60.269 + 0.075 FR$ + 2.431 GMC ($R^2 = 0.9277$)	$T_s = -19.124 + 0.055 FR$ ($R^2 = 0.9543$)
speed (rpm)	$R_c = 473.1610 - 0.1067 FR$ - 0.5948 GMC ($R^2 = 0.7992$)	$R_s = 460.1470 - 0.0093 Fr$ ($R^2 = 0.4096$)

그림 2는 품종, 함수율, 공급율의 변화에 따른 엔진 회전속도의 변화 상태를 나타낸 것으로 탈곡통의 경우와 비슷한 경향을 나타냈다. 無負荷時 2710rpm으로 부터 공급율이 1100 Kg/hr일 때 60~70rpm 감소한 것으로 나타났으나 작업상태는 양호하였다. 그러나 이 이상의 공급율에서는 탈곡통에서의 처리량 過多로 脫穀物의 調製性能이 불량하였을 뿐만 아니라, 2번구와 선별부 마힘이 자주 발생하여 連續作業을 하기에는 매우 불안정하였다.

즉 공시 콤바인의 작업이 원활한 공급율은 함수율에 따라 약간의 차이가 있으나, 1100Kg/hr 정도가 가장 적절한 것으로 판단되었으며, 이때 엔진 회전속도는 약 2650 rpm이었다.

한편 1번축의 소요 토크는 각 처리간에 큰 차이가 없었으며, 1.2 N-m로 탈곡통축 토크에 비하면 극히 작았다. 그러나 1번축 회전속도는 공급율의 증가에 따라 직선적으로 감소하였을 뿐만 아니라, 탈곡통의 회전속도와 거의 일치하여

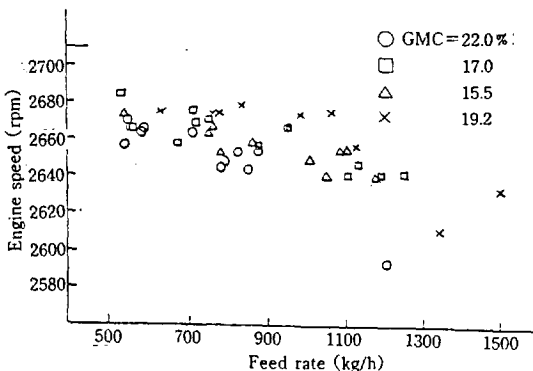


Fig. 2 Effect of feed rate, moisture content and variety on engine speed. (GMC : grain moisture content, X : Samgang, O□△ : Chuchung

변하는 경향이 나타났다. 따라서 1번축 회전속도는 토크 증가에 의한 감소보다는 동력전달 구조상 엔진 부하의 가장 큰 비율을 차지하는 탈곡통의 회전속도에 큰 영향을 받고 있는 것으로 판단된다.

나. 탈곡통의 부하변동

탈곡통축 토크는 그 變動幅이 매우 크고 복잡하게 변하는 動特性을 갖고 있으므로 평균 토크만으로 부하 특성을 나타내는 것은 불충분하기 때문에 이 연구에서는 相對 頻度數, 토크 變異係數, power spectrum density(PSD)를 각각 구하여 부하 변동을 해석하였다.

그림 3(a)는 無負荷 空回轉時 탈곡통 축의 토크 頻度分布 曲線을 나타낸 것으로 Y축을 기준으로 우측편에 半正視分布 형태로 나타났다. 특히 0~5 N-m에서 85% 정도의 높은 빈도분포를 보였는데, 이는 계측 시스템에 사용된 A/D 변환기의 입력 범위를 0~5V로 설정한 관계로 負(-) 토크 성분이 모두 0으로 읽어 들였기 때문이다. 이러한 무부하시 負 토크 성분은 기계 설계시 부터 갖게되는 탈곡통의 회전 관성 모멘트에 의한 것으로 판단된다.

그림 3(b), (c)는 부하시 품종, 함수율, 공급율 변화에 따른 토크 빈도 분포 곡선이다. 함수율과 공급율이 증가할수록 즉 평균 토크가 클수록 그 빈도 분포 곡선은 정규분포에 가까운 형태로 나타났다고, 평균 토크가 낮을수록 최빈값이 평균치보다 낮은 분포 형태를 보였다.

상대 빈도수의 최대치는 삼강벼의 경우 공급율이 630, 980, 1335 Kg/h일때 각각 40, 27, 22%

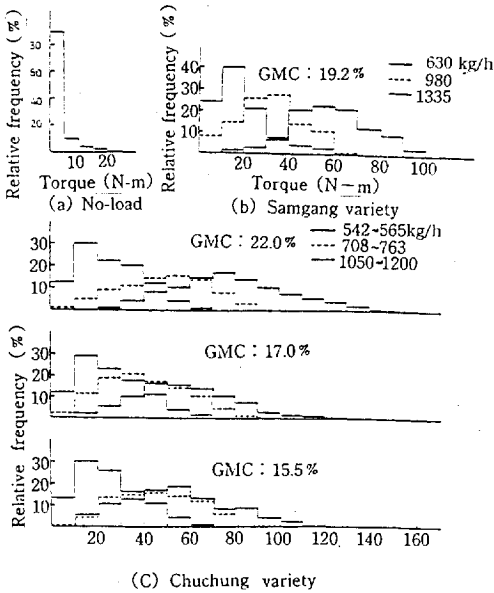


Fig. 3 Effect of feed rate, moisture content and variety on relative frequency. (GMC : grain moisture content)

이었고, 추청벼의 경우 공급률이 600 Kg/h 이하에서 약 30%, 700Kg/h 이상에서 17~23%로 공급율이 증가함에 따라 감소하였으며, 공급율이 비슷한 수준에서 비교해 볼 때 추청벼가 탈립성이 강한 삼강벼보다 낮았다.

따라서 토크 변동폭은 공급율이 증가할수록, 또한 품종면에서는 일반적으로 추청벼가 다수계인 삼강벼보다 컸으며, 평균 토크의 1.2~3.7배로 나타났다. 그리고 탈곡통 축의 토크 변동폭은 최대 토크의 1.2~1.9배로서 川村 (12)의 실험 결과와 대체로 비슷한 값을 나타냈다.

한편, 토크 변이계수는 품종과 함수율간에 큰 차이가 없었고, 다만 공급율이 증가할수록 감소하였으며 실험 구간에서 32~69% 이었다.

토크 빈도분포 곡선이 그림 3에서와 같이 正規 (Gauss) 分布하고 있다고 가정하면, PSD를 구함으로써 이러한 변동 가운데 가장 支配的인 주파수 성분을 구할 수 있다. 이를 위해 A/D 변환기를 거쳐 읽어들이는 탈곡통축 토크의 時間 函數 f(t)를 푸리에 變換 (Fourier transform)하기 위한 일반식은 다음과 같이 정의된다.

$$F(i\omega) = \int f(t) \exp(-i\omega t) dt \dots \dots \dots (5)$$

또한 식 (5)를 離散的(discrete) 푸리에 變換

式으로 나타내면 다음과 같이 표시된다.

$$F(i\omega) = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} f(t) \{ \cos(2\pi ut/N) - i \sin(2\pi ut/N) \} \dots \dots \dots (6)$$

여기서 $u=0, 1, 2, \dots, N-1$

$F(i\omega)$ 의 푸리에 스펙트럼(Fourier spectrum)과 power spectrum density (PSD)는 각각 $|F(i\omega)|$, $|F(i\omega)|^2$ 이다.

그림 4는 측정된 토크 값으로 부터 500개의 데이터를 취하여 식(6)으로 부터 PSD를 구한 결과를 나타낸 것이다. 이것에 의하면 PSD는 품종, 함수율과 공급을 변화에 관계없이 11Hz 전후에서 최대치가 나타났다.

따라서 탈곡 작용에 의한 탈곡통 토크는 공급율이 증가하면 그 평균치는 상승하지만, 탈곡통 축의 부하 변동은 공급율, 품종 및 함수율의 변화에 관계없이 약 11Hz의 주기를 갖고 변화는 고유 특성인 것으로 판단된다.

한편, 無負荷 空回轉時의 PSD는 8.5Hz에서 최대치를 나타냈는데, 이는 탈곡통 회전속도로 부터 산출한 변동 주파수 7.5Hz와 어느 정도 일치하여 나타났다.

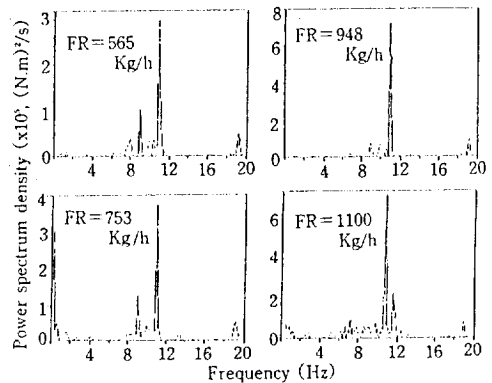


Fig.4 Power spectral density of fluctuating torque of threshing cylinder. (Variety : Chuchung, Grain moisture content : 17.0%, FR : feed rate)

다. 과부하시 회전속도의 변화

그림 5(a)는 2번구가 막혀 작업을 중단시켰을 때 까지의 탈곡통축, 1번축, 2번축의 회전속도

변화를 나타낸 것이다. 탈곡이 시작되면 無負荷時 1430rpm으로 부터 140rpm 정도 감소된 상태에서 정상 작업이 계속되며, 이때 각 부위에서의 V-벨트 슬립은 거의 무시할 정도이었다. 그러나 고속 작업 등 과부하 상태하에서 작업을 계속할 때 2번축의 회전속도는 점차로 감소하다가 약 900 rpm을 起點으로 急降下하여 3초 경과후에 停止하였으며, 동시에 슬립이 8%로 부터 80% 이상으로 急上昇하였다. 만약 운전자가 이를 감지하지 못하고 작업을 계속한다면, V-벨트는 摩擦熱에 의해 타고 절단되는 등 쉽게 손상될 것으로 판단된다.

이러한 현상은 고속 작업의 경우 뿐만 아니라, 높은 함수율의 벼를 수확할 경우, 가로 방향 작업을 마친 후 선회하여 세로 방향으로 작업할 때 탈곡통에 들어오는 공급율이 크게 증가되는데 주행 속도를 줄이지 않고 계속 작업하는 경우, 그밖에 운전자의 未熟練 등에 의해서도 초래될 수 있을 것으로 생각된다. 이와같은 異常條件에서 작업을 계속하게 되면 탈곡통 및 1, 2번축의 회전속도가 정상속도 이하로 감소하게 되는데, 특히 2번축 회전속도의 감소 정도는 구조적으로 탈곡통과 1번축보다 약 3배 큰 비율로 감소하기 때문에 2번 환원구의 마힘이 가장 민감하게 나타난 것으로 판단된다.

그림 5(b)는 운전자가 엔진과 탈곡통의 異常音과 벨트 타는 냄새를 感知, 과부하 상태로 판단하여 주행을 정지시켰을 때 각 축의 회전속도 변화를 나타낸 것이다. 2번축의 회전속도가 900 rpm까지 감소된 상태에서 무부하 상태로 다시 회복하는데 약 7초가 소요되었다. 한편, 1번축은

탈곡통의 회전속도와 거의 일치하여 변화였다.

이와같은 현상으로 미루어 볼 때 1, 2번축, 이 밖에도 선별부, 송풍 팬 등은 탈곡통 회전속도에 큰 영향을 받고 있는 것으로 판단된다. 이는 콤바인의 동력 전달체계가 제작 회사간에 약간의 차이는 있지만, 대부분 차축을 제외하고는 엔진 동력이 V-벨트에 의해 탈곡부 입력축에 전달되고, 탈곡 변속부를 거쳐 탈곡통을 구동시키며, 그 일부는 1, 2번축, 송풍 팬을 동시에 구동시키는 運動方式으로 되어 있기 때문이다. 따라서 구조적으로 탈곡통 부하 변화에 매우 민감한 2번축을 엔진축에 직접 연결시키는 독립적인 동력 전달 방법을 채택함으로써 마힘을 어느 정도 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

그리고 운전자의 熟練度에 의존하지 않고 회전속도 또는 토크 센서를 이용하여 엔진, 탈곡통 축, 2번축의 부하 상태를 검출 판단하여 자동으로 주행 속도를 증속, 감속 혹은 정지시킬 수 있는 제어 시스템의 개발은 콤바인 작업시 과부하로 인한 내부 마힘을 능동적으로 事前防止가 가능하기 때문에 콤바인의 성능과 耐久性 향상에 크게 기여할 것으로 판단된다.

4. 結 論

콤바인의 포장 작업시 품종, 함수율(수확시기), 주행 속도가 부하 특성에 미치는 영향을 실험적으로 구명하여, 작업성능 향상과 자동화를 위한 기초 자료를 얻고자 실시하였으며, 그 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 탈곡통축, 1번 곡물 이송축, 2번 환원축의 토크와 회전속도, 엔진 회전속도를 측정할 수 있는 각종 變換器, 信號處理部, 인터페이스부 및 마이크로컴퓨터로 구성된 資料 收集 시스템을 개발하였으며, 이 시스템의 不正確度(推定 誤差)는 95%의 信賴 區間에서 $\pm 2.3\%$ FS 이하였다.

2. 탈곡통 축의 토크와 회전속도는 공급율의 변화에 따라 거의 직선적으로 변하는 경향이 나타났으며, 품종, 함수율, 공급율 변화에 따른 탈곡통 축의 토크와 회전속도를 직선 회귀방정식

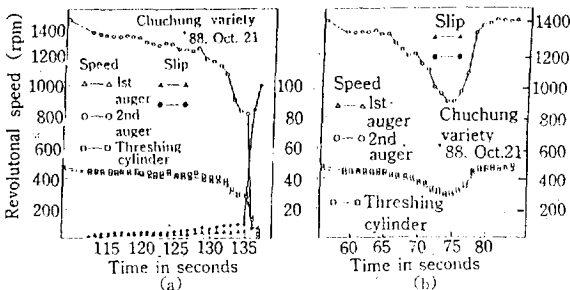


Fig. 5 Variation in speed of threshing cylinder, 1st and 2nd auger with elapsed time.

으로 나타났다.

3. 탈곡통의 부하 변동을 해석하기 위하여 토크의 相對頻度數, 變異係數, power spectrum density (PSD)를 각각 구하였다. 토크 변동폭은 공급율과 함수율이 증가할수록, 품종면에서는 일반계가 다수계보다 증가하였으며, 그 변동폭은 평균 토크의 1.2~3.7배, 최대 토크의 1.2~1.9 배로 나타났다. 토크 변이계수는 함수율과 품종간에는 뚜렷한 경향이 나타나지 않았으나, 공급율이 증가할수록 감소하였다.

한편, PSD 분석결과 탈곡통측은 품종, 함수율, 공급율의 변화에 관계없이 11Hz, 無負荷 空回轉時 8Hz 전후의 주파수가 지배적인 것으로 나타났다.

4. 過負荷 작업시 2번축의 회전속도는 약 900 rpm을 起點으로 急降下하여 3초 경과 후에 정지하여 還元口가 완전히 막혔으나, 운전자가 과부하 상태를 판단하여 주행을 정지시켰을 때 2번축의 회전속도는 약 900rpm으로 부터 無負荷時와 같은 상태로 회복하는데 7초 정도가 소요되었다.

參 考 文 獻

1. 南相一, 鄭昌柱, 細川 明. 1987. 자탈형 콤바인 탈곡부 設計要因의 適正化를 위한 研究 (I) - 扱胴軸 토크 waveform의 推定 -. 韓國農業機械學會誌 12(3) : 42-49
2. 閔永鳳, 金容煥, 李基明, 許承道. 1986. 마이크로 컴퓨터를 利用한 엔진 性能 測定裝置 (I). 韓國農業機械學會誌 11(1) : 24-30
3. 柳寬熙, 柳永善, 姜垠, 朴普淳, 張世權. 1986. 트랙터의 圃場性能 評價를 위한 資料蒐集 시스템의 開發. 韓國農業機械學會誌 10(2) : 19-26
4. 柳寬熙, 鄭昌柱, 朴普淳. 1987. 마이크로 컴퓨터를 利用한 엔진 性能試驗의 自動化에 관한 연구 (I) - 엔진 性能試驗과 데이터 蒐集의

- 자동화 -. 韓國農業機械學會誌 12(3) : 7-16
5. 劉壽男, 劉寬熙. 1981. 바인더 벧단의 크기가 自動脫穀機의 脫穀性能 및 負荷特性에 미치는 影響. 韓國農業機械學會誌 6(1) : 60-72
6. 朴勇菴, 朴南鐘, 吳仁植, 李東鉉. 1986. 콤바인 利用實態 調查 研究. 農事試驗研究論文集 28(2) : 36-43
7. 鄭昌柱, 柳寬熙, 崔永秀. 1988. 自動脫穀機의 供給率 制御 (I) - 供給率에 따른 負荷特性 -. 韓國農業機械學會誌 13(3) : 20-31
8. 曹永吉, 崔圭烘, 朴阪圭. 1988. 콤바인 還元裝置 改良에 관한 研究. 農事試驗研究論文集 30(1) : 72-79
9. 崔昌鉉. 1989. 단일보드 마이크로 컴퓨터를 利用한 資料 蒐集裝置. 韓國農業機械學會誌 14(4) : 221-228
10. 田邊 一, 岩尾俊男, 矢野康博, 松井康紀. 1974. 自脫型コンバイン의 負荷變動ついて. 日本農業機械學會 關西支部報 36 : 51-53
11. 川村 登, 山下律也, 中谷正一, 池田善郎. 1967. 콘바인의 機能에 關する 研究 (第2, 3報) - 各部의 토크變動特性과 接地壓分布 -. 日本農業機械學會誌 29(2) : 73-76
12. 川村登, 山下律也, 並河 清, 池田善郎. 1968. 自脫型コンバイン의 機能에 關する 研究 (第1報) - 自動脫穀機의 各部平均所要動力について -. 日本農業機械學會誌 30(1) : 19-23
13. Huisman, W. 1983. Optimum Cereal Combine Harvester Operation by Means of Automatic Machine and Threshing Speed Control. Ph. D. Thesis, Agricultural Univ. Wageningen, Netherlands
14. Schuller, J.K. 1983. Modeling and Analysis of the Technical and Economic Feasibility of Corn Combine Forward Speed Control. Ph. D. Thesis, Purdue University.