

# 트랙터 기계식클러치 링크메카니즘의 최적설계

## The Mechanism Optimization of a Tractor Clutch Link-system

김경원\* 조희근\* 전종길\* 윤진하\* 이인복\* 성대모\*\*  
정회원 정회원 정회원 정회원 정회원 정회원

G. W. Kim H. K. Cho J. G. Jeun J. H. Yun I. B. Lee D. M. Sung

### 1. 서론

2000년 현재 우리나라 농가의 트랙터 보유대수는 총 191,000대로 이 중에서 40, 50마력급 이하는 165,000대로 대부분을 차지하고있으며 이러한 중소형 트랙터는 대부분 트랙터 클러치의 조작용 링크시스템으로한 기계식 클러치이다.

오늘날 농가인력은 고령화가 심화되어있고 또한 부녀자의 영농참여 비중이 높아지고있는 실정이며, 나아가 인체공학 등을 포함시킨 농업기계기술개발이 중요시되고 있는 실정이다. 오늘날 우리나라 농가에 보급된 농업기계는 대부분 남성을 대상으로 설계되어 있어 여성이 조작하기에는 어려운 점이 많으며, 특히 트랙터인 경우 기계식 클러치에서 농업 여성의 80%정도가 조작할 수 없는 것으로 보고된바 있다.

따라서 본 연구는 트랙터 여성운전자들에게 취급조작이 용이한 트랙터 클러치 링크시스템을 개발하고자 1차적으로 현재에 사용중인 40hp급 1기종을 대상으로 하여 트랙터 클러치 행정과 링크시스템의 힌지(hinge)위치의 변경 없이 현장적용이 용이하도록 하는 링크시스템의 메카니즘을 최적설계하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 공시재료

클러치의 동력을 링크식으로한 기계식 클러치는 주로 40HP중소형 트랙터에서 많이 사용되고 있어 본 연구의 클러치 공시재료는 그림 1과 같이 KJ-40hp 다이어프램식 클러치를 선정하여 전자식 만능재료 시험기(DY-30T)로 스프링관위에 릴리스베어링을 자유상태로하여 올려놓고 속도 10mm/s의 정적시험을 수행하여 클러치 스프링의 변위에 따른 내력을 구하였다.



Fig. 1 Diaphragm type clutch disk spring

\* 농업기계화연구소 기초기술기계과

\*\* 국제종합기계주식회사

링크식 동력전달은 그림 2와 같이 2개소의 힌지점과 1개의 연결대(connector)로 된 4관절 링크시스템으로 이루어 지고 힌지 위치와 릴리스레버 및 페달레버의 각도와 길이는 KJ-40hp 도면치수이며 이를 링크시스템 최적설계의 기본치수로 적용하였다.

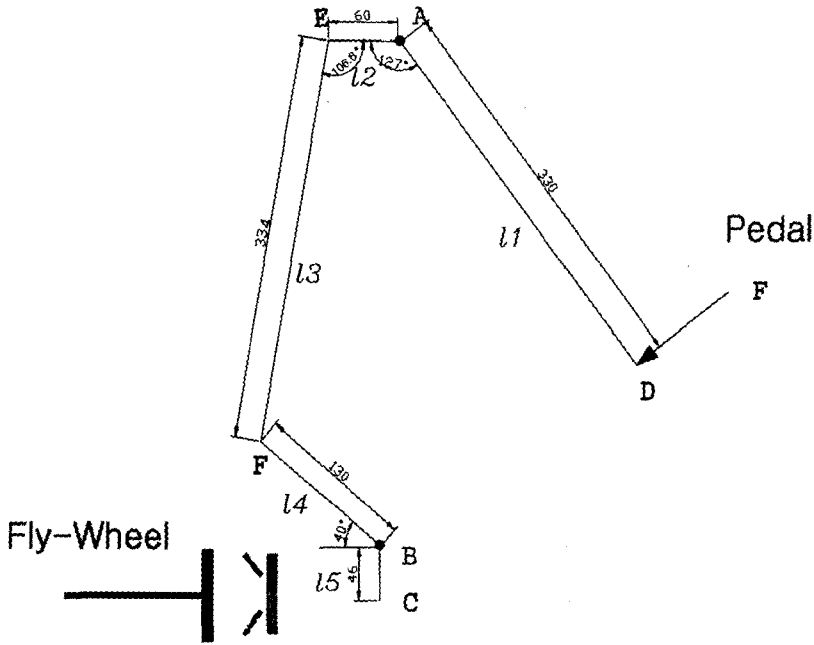


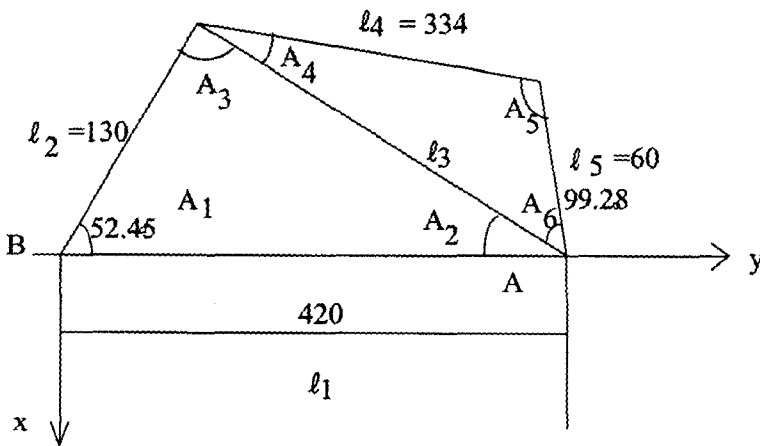
Fig. 2 Clutch mechanism free body diagram of KJ40hp tractor

나. 링크시스템의 기계역학특성 이론분석

(1) 링크시스템의 링크각 운동 이론

4절링크의 회전운동 분석은 그림 3과 같은 2개의 3각형에 의해 기하학적 접근으로

해결할 수 있으며, 이는 필요충분조건이 되며, 조건의 성립은 A, B 힌지점을 기준으로 각각의 링크가 회전할 때 B 링크의 회전이 초기 52.45°에서 0도(zero)가 될 때까지이다.



기존 링크시스템의 페달행정은 125mm이고 이때 Joint B에서의 링크의 회전각( $\theta_1$ )은  $52.45^\circ \rightarrow 52.45^\circ - 11^\circ$ 로 되고 식 (2)에 의한

Fig. 3 Mechanism analysis model of clutch link system

Joint A에서의 링크의 회전각( $\theta_2$ )는  $80.72^\circ \rightarrow 80.72^\circ + 22^\circ$ 로 변화 됨을 알 수 있다. 따라서 페달행정과 링크각의 변화는 서로 직접 관련되고 회전각( $\theta_1$ )이  $11^\circ$  변할 때까지는 회전각( $\theta_2$ )와는 linear 성향을 나타낸다. 최적화 설계시 기존과 같은 페달행정을 고려함으로써 링크각의 변화는 없고 단지 이 범위의 각도에서  $\theta_1, \theta_2$  상호간의 직선 성향을 나타내도록 하여 페달 작동중에 급격히 링크 상호간의 회전각 변화가 없도록 한다. 식 (1)와 식 (4)은 링크각이 변함에 따른 A, B 점 링크의 local cartesian coordinate 성분변화를 나타낸다.

$$x = l_2 \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta_1\right), \quad y = l_2 \sin\left(\frac{\pi}{2} + \theta_1\right) \quad \dots\dots\dots\text{식(1)}$$

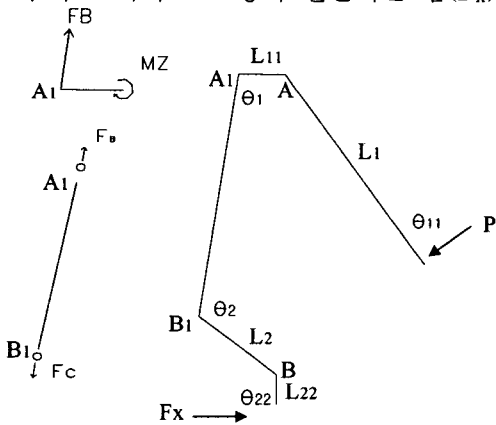
$$\theta_2(A_2+A_6) = \sin^{-1}\left(\frac{l_2 \cdot \sin \theta_1}{l_3}\right) + \cos^{-1}\left(\frac{l_5^2 + l_3^2 - l_4^2}{2 \cdot l_5 \cdot l_3}\right) \quad \dots\dots\dots\text{식(2)}$$

$$l_3^2 = l_2^2 + l_1^2 - 2 l_2 \cdot l_1 \cos(\theta_1) \quad \dots\dots\dots\text{식(3)}$$

$$x_2 = l_5 \cdot \cos\left(\frac{3}{2} \pi - \theta_2\right), \quad y_2 = l_1 + l_5 \sin\left(\frac{3}{2} \pi - \theta_2\right) \quad \dots\dots\dots\text{식(4)}$$

(2) 링크시스템의 모멘트 평형

링크 A와 링크 B에서의 모멘트 평형은 그림 4의 모델로부터 식 (5),(6)로 표현되고 연결대(connector) 절점에서 전달되는  $F_B$ 와  $F_C$ 는 힘의 크기는 같으나 방향은 반대이다. 이로부터 크러치 스프링에 전달되는 힘( $F_x$ )를 식(7), (8)로 구할 수있다.



$$\sum M_{ZA} = F_B \sin \theta_1 \times L_{11} - P \sin \theta_{11} \times L_1 = 0 \quad \dots\dots\dots\text{식(5)}$$

$$\sum M_{ZB} = -F_C \cdot \sin \theta_2 \times L_2 + F_x \sin \theta_{22} \cdot L_{22} = 0 \quad \dots\dots\dots\text{식(6)}$$

여기서,  $F_C = F_B$

$$F_x = \frac{F_C \cdot \sin \theta_2 \times L_2}{\sin \theta_{22} L_{22}} \quad \dots\dots\dots\text{식(7)}$$

$$F_x = \frac{P \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot \sin \theta_2 \cdot \sin \theta_{11}}{L_{11} L_{22} \sin \theta_1 \cdot \sin \theta_{22}} \quad \dots\dots\dots\text{식(8)}$$

Fig. 4 Moment equilibrium of clutch link system

다. 링크시스템 메카니즘의 최적화 알고리즘

링크시스템의 메카니즘을 최적화 하기 위해 우선 그림 5과 같이 2개의 회전각과 1개의 길이를 변수로 하여 설계변수 총 3개를 설정하여 4절링크 메카니즘설계의 필요 충분조건을 만족하도록 하였다. 최적화의 결과를 트랙터에 적용할 때 시스템의 간섭없이 적용되도록 하기 위해 표 1에서와

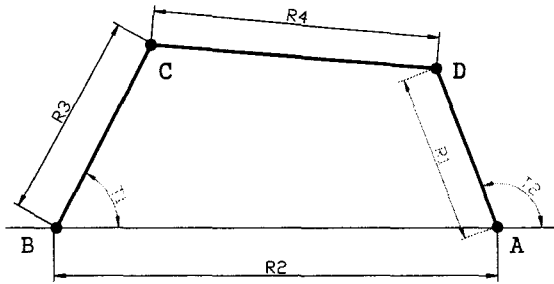


Fig. 5 Clutch mechanism design optimization model  
계산토록 프로그램을 작성하였다.

표 1 최적화 변수 구조

상태변수					최적화 변수 = 10.6		
R2(mm)	R3(mm)	A 링크회전 (deg.)	B 링크회전 (deg.)	페달행정 (mm)	R1 (mm)	T1 (deg.)	T2 (deg.)
420	130	22	11	125	$30 \leq R1 \leq 120$	$10 \leq T1 \leq 170$	$10 \leq T2 \leq 170$

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 클러치 스프링의 기계역학특성 분석

클러치 스프링의 하중 변위 특성 곡선을 분석하여 모멘트 평행관계식으로부터 페달에 소요되는 답력을 산정하고 최적화시 각도별 링크의 모멘트 변화를 분석하는 초기값을 얻고자 전자식 만능시험기를 사용하여 정적 실험한 결과, 그림 6

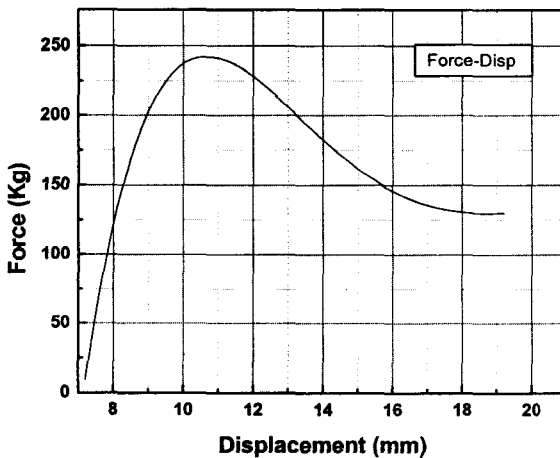


Fig. 6 Variation of diaphragm spring force vs. its displacement for static test

같이 트랙터의 페달행정과 힌지 Joint 위치 등을 화시키지 않고 상태변수 5개에 의해 최적화가 되도록 하였다.

최적화를 위한 프로그램은 MS-Fortran을 사용하여 3개의 설계변수를 얻 242.3 N수 G(x)인 모멘트를 최소화하도록 하는 최적화 알고리즘은 LAGRANGIAN 최적화방법에 의해서 계산 되도록 하고, 초기의 설계변수를 계속 반복계산 하면서 최적의 변수값을

얻기 위하여 정적 실험한 결과, 그림 6에서와 같이 이 스프링은 접시 스프링의 특성인 Snap-through 현상이 나타났고 스프링의 최대하중이 변위 10.6mm에서 최대 242.3kgf였다. 이 때 페달의 최대 답력은 페달행정이 50mm에 있을 때 최대 19.11kgf로 나타났으며 리턴스프링의 저항이 2.4kg 작용함으로 총 페달 소요답력은 21.5kg으로 되어 KJ-40HP 공칭답력과 일치함을 알 수 있었다.

나. 클러치 링크시스템 메카니즘의 최적화 결과

최적화된 링크메카니즘 결과로서 그림 7에서와 같이 하부링크(B joint)의 회전각(°~11°)별 모멘트는 회전각 4.3°에서 상부링크(A joint)의 최대모멘트는 5,447kg·mm로 나타났고 기존

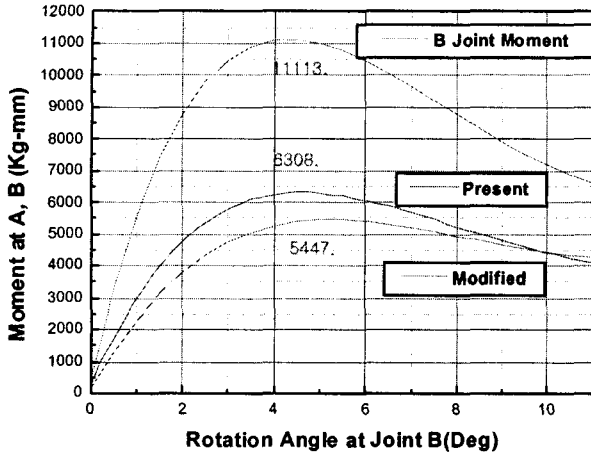


Fig. 7 Variation of moments according to link rotation of A joint

KJ-40hp의 상부링크(A joint)의 모멘트는 6,308kg·mm였으며 하부링크는 동일 스프링을 사용함으로써 기존과 같이 최대모멘트 11,113kg·mm로 분석되었다. 식 (1)로 부터 Work-in에 해당하는 상부링크가 한일은 표 2에서와 같이 기존 클러치 시스템인 경우 18.7J이었으나 최적화 것은 16.6J이었다. Work-out에 해당하는 하부링크가 한일은 16.2J로 분석되어 최적화된 링크시스템의 에너지 효율은 97.6%로 기존시스템에 비하여 약 11% 증가되었다.

표 2 클러치 링크시스템의 에너지 효율

구분	에너지(J)	효율(%)
클러치가 한 일(work out)	16.2	-
기존 페달이 한 일(work in)	18.7	86.6
최적화 페달이 한 일(work in)	16.6	97.6

클러치 페달의 최대 소요압력은 표 3에서와 같이 18.9kgf로 기존대비 12% 감소할 수 있었고 30-40대 여자 평균압력인 18.2kgf에 근접하였으며, 40대 여성의 평균압력 19.2kgf보다는 낮아서 약 60%이상의 여성이 조작가능할 것으로 본다. 표 4에서와 같이 클러치 링크시스템의 최적화된 설계변수 값은 상부링크에서 R1 lever의 길이는 60mm→38mm로, 이때 T2각은 99.28→108.6°로, 그리고 하부링크에서의 T1각은 52.45→35°로 최적화되었으며 connector의 길이는 3개의 설계변수 변동에 의해 334mm→303.8mm로 줄어들었다.

표 3 클러치 페달의 소요압력 비교

Types of push force	Force(kgf)	Return spring(kgf)	Total force(kgf)
유압식	14.8	3.7	18.5
기계식(현재)	19.1	2.4	21.5
기계식(최적화)	16.5	2.4	18.9

표 4 최적화 변수결과

구 분	A(페달부) 링크			B(하부) 링크			컨넥터 길이 (mm)	페달 행정 (mm)
	R1-레버 길이(mm)	페달레버 길이(mm)	T2각 (deg.)	R3-레버 길이(mm)	릴리스부 레버길이(mm)	T1각 (deg.)		
기 존	60	330	99.28	130	46	52.45	334	125
최적화	38	330	108.6	130	46	35	303.8	125

#### 4. 요약 및 결론

여성운전자들에게 취급조작이 용이한 트랙터 클러치 페달의 메카니즘설계를 위해 먼저 클러치 스프링의 하중-변위 특성 곡선을 분석하고 링크각의 운동모델로부터 운동식을 산정한 뒤 링크의 상대회전각과 클러치페달의 행정을 산정하였으며, 링크 시스템의 모멘트 평행식으로부터 답력을 산출하여 최적화 프로그램에 의한 링크메카니즘을 최적화한 결과는 다음과 같다.

- 4절 링크로 된 클러치 시스템의 링크 길이와 각도를 분석하고 링크 각의 상대운동을 분석한 결과 하부링크 각이 최대 11° 변함에 따라 페달부위의 링크 각은 최대 22° 로 약 2배의 상대운동을 하는 것으로 나타났고 이의 상대운동 관계의 수식을 산정 하였다.
- 다이어프램 스프링의 하중의 변위 특성 곡선을 분석하기 위해 전자식 만능시험기를 사용하여 정적 실험한 결과, 이 스프링은 접시 스프링의 특성인 Snap-through 현상이 나타났고 스프링의 최대하중이 변위 10.6mm에서 최대 242.3kgf였다.
- 링크시스템의 모멘트 평형을 이용하여 상 하부 링크에 대한 힘 벡터로부터 답력, 스프링력, 링크 각도의 관계식을 산정하고 위의 정적실험한 스프링 하중-변위 곡선 정보로부터 클러치페달의 기계역학 특성을 분석한 결과 클러치 답력은 19.11kgf 페달행정은 125mm 상하부 모멘트는 6,308kg · mm, 1,1138kg · mm로 각각 나타났다.
- 최적화한 클러치 페달의 최대 소요답력은 18.9kgf로 기존대비 12% 감소할 수 있었고 30-40대 여자 평균답력인 18.2kgf에 근접하였으며, 40대 여성의 평균답력 19.2kg보다는 낮아서 약 60%이상의 여성이 조작가능할 것으로 본다. 여성 및 노약자가 쉽게 트랙터 클러치를 조작하도록 조작 답력을 최소화하는 연구를 계속 수행해야 할 것이다.

#### 5. 참고문헌

- G.ERDMAN. 1992. MECHANISM DESIGN.p439~467
- FERDINAND P. BEER. 1990. VECTOR MECHANISM 1992.P40~80
- ROBERT L. NORTON. 2000. MECHANISM DESIGN AN INTEGRATED APPROACH.p110~200