

유용방향법 최적화 알고리즘을 이용한 트랙터 클러치 최적설계

조희근 김경원 이인복

Design Optimization of Tractor Clutch Mechanism Systems by Using Feasible Direction Method

H. K. Cho K. W. Kim I. B. Lee

Abstract

In order to optimize an agricultural tractor clutch mechanism system, its structural static and kinematic mechanism were analyzed. The operating force of the mechanical tractor clutch system is currently not appropriate to drive comfortably. So it is needed to reduce the clutch operating force by applying advanced engineering design techniques. In the present study, an optimization technology is applied to the design of tractor clutch systems to reduce the operating force.

As a result of the optimization using 2 link-angles and 1 link-length which are the main design variables of the clutch linkage system, the maximum pushing force of the maximum clutch pedal was found 182.8N, 14% decreased compared to the existing clutch system. The effectiveness of the optimum design is certified by means of an experiment.

Keywords : Tractor clutch, Optimization, Feasible direction method

1. 서론

국내외 농작업에 가장 많이 사용되고 있는 농기계 중의 하나가 트랙터이다. 존디어, 대동, 엘지 등 유명 메이커의 트랙터가 현재 많이 보급되어 있는 실정이다. 현재 우리나라 농가의 트랙터 보유대수는 수십만 대에 이르며 이 중에서 40~50마력급이 대부분을 차지하고 있다. 최근 농촌인구의 노령화에 편승하여 고령자 및 여성도 농작업 참여 비율이 점점 높아지고 있다. 이러한 고령자 및 여성이 트랙터를 운전하기 위해서는 쉽게 적은 힘으로 운전할 수 있는 운전환경이 필요하게 되며(Firstine, 2007; Fujii, 2008), 본 연구에서는 이러한 경향에 비추어 트랙터 클러치 시스템을 편리하게 작동시키기 위하여 소요담력을 최소화 하는데 그 목적을 두었다. 쉽고 편리한 작동과 노령 및 여성들의 트랙터이용을 늘리기 위해서는 우선적으로 클러치페달의 소요담력을 최소화할 필요가 있으며, 연구에서는 1차적으로 트랙터 클러치 링크시스템의 구조와 규격을 조사하고, 그리고 기계역학적 특성을 분석하여

트랙터 클러치페달의 최적설계를 위한 기본설계를 수행하였다(Choi, 2000; Gotoh, 2010; Green, 1983; Kim, 2009; Lee, 2009).

이러한 기본설계 계산 자료를 바탕으로 트랙터 40 HP (29.8 kW) 급 1기종을 대상으로 트랙터 클러치의 행정과 링크시스템의 힌지(hinge)위치의 변경 없이 현장적용이 용이하도록 하는 링크시스템의 메커니즘을 최적설계 하였으며, 그 결과 클러치 조작에 필요한 담력을 주목할 만큼 낮출 수 있었다. 클러치 링크 시스템의 최적화를 위해서 공학용 최적화 알고리즘을 적용하였다. 엔지니어링 최적설계를 위하여 적용하는 최적화 알고리즘에 대한 연구가 현재까지 높은 수준까지 진행되었으며, 수많은 설계 문제에 훌륭히 적용되었다. 최적화 알고리즘은 크게 두 가지로 나누어지며 전통적인 경사도 방법과 최근에 활발한 연구가 진행되고 있는 확률론적 방법인 비경사도 방법(genetic algorithm, particle swarm optimization)이 있다. 대표적인 경사도 최적화 방법의 하나인 유용방향법(feasible direction method) 최적화 알고리즘을 적용하였다.

The article was submitted for publication on 2010-08-31, reviewed on 2010-09-25, and approved for publication by the editorial board of KSAM on 2010-10-08. The authors are Hee Keun Cho, Senior Researcher, KAIST, KSAM member, Kyung Won Kim, Senior Researcher, FACT, KSAM member, and In Bok Lee, Professor, Seoul National University, KSAM member. Corresponding author; H. K. Cho, Senior Researcher, KAIST SaTReC, 335 Gwahangno Yuseong-gu, Daejeon, Korea; Tel: +82-42-350-8617; E-mail: <hkcho@satrec.kaist.ac.kr>.

본 연구에서 제시한 최적화 설계 방법론 및 절차는 농작업을 위한 각종 기계 및 장치의 설계에 적용이 가능하므로 앞으로 이러한 분야에 대한 활발한 연구가 기대된다.

2. 재료 및 방법

가. 클러치 페달의 구조 및 기구학 해석

(Kim, 2009; Lee, 2009; Grisso, 2001)

1) 트랙터 클러치의 구조

트랙터 클러치의 작동 장치는 기계식인 경우 다관절 링크 시스템으로 되어있었으며, 그림 1과 같이 페달의 조작력은 릴리스포크를 통하여 릴리스스프링을 거쳐 다이어프램 스프링 → 압력판 → 클러치디스크로 힘이 전달된다. 반면 유압식은 마스터실린더와 릴리스실린더를 통해 증폭된 힘이 릴리스포크를 가동하도록 메커니즘이 구성되어있다. 트랙터의 마력별 스프링의 규격과 페달의 규격 및 조작력의 조사는 트랙터를 생산하는 주요업체의 40~50 HP (29.8~37.2 kW) (KukJe, Korea) 급을 대상으로 설계도면을 참고로 하였다.

클러치의 동력전달을 링크식으로 한 기계식 클러치는 주로 40~50 HP급 중소형 트랙터에서 많이 사용되고 있어 클러치 스프링의 공시재료는 그림 2와 같이 다이어프램식 클러치 (KJ-40ps: KukJe-40ps, Korea)를 선정하여 트랙터 클러치의 스프링 특성을 분석하였다. 클러치 스프링의 특성분석은 스프링 프랜지부 변위에 따른 하중변화를 분석하여 링크시스템의 모멘트 특성과 페달행정 등을 구명하는 기초자료로 활용하는데 있다. 클러치스프링의 하중과 변위 특성곡선을 얻기 위해 전자식 만능 재료시험기(UTM_DY-30T, INSTRON 4206, USA, Load_cell 500 kgf)를 사용하였으며, 이 시험판 위에 클러치스프링판의 후면이 접하도록 하고 이 스프링판 전면의 중앙부에는 릴리스베어링을 자유상태로하여 올려놓

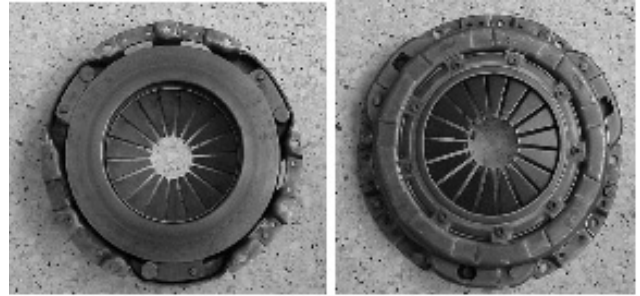


Fig. 2 Diaphragm type tractor clutch spring.

아 실제와 동일조건의 접촉이 되도록 하였다. 이 때 가력판을 사용하여 릴리스베어링 상부를 가력하는 시험속도는 4.0 mm/min로 하여 정적시험이 되도록 하였다.

2) 링크시스템 기구학해석

링크시스템의 링크회전각별 모멘트 등을 구명하기 위해서는 우선적으로 트랙터 클러치 링크시스템의 힌지점 (A, B)에서의 링크각 상대운동과 링크의 x, y좌표성분 변화의 관계식 정립이 필요하다. 그림 3에서 보는바와 같이 계식클러치 링크시스템의 4절링크 메커니즘 해석을 위한 선도는 클러치 페달이 위치하는 힌지점 A의 L_1, L_{11} 레버가 있는 상부링크부와 클러치스프링 및 릴리스베어링이 위치하는 힌지점 B의 L_2, L_{22} 레버가 있는 하부링크부, 그리고 커넥터로 상·하부링크가 연결되는 기구로 표시하였다. 이 링크시스템의 회전운동 분석은 L_3 를 경계로 2개의 3각형($\triangle AA_1B_1, \triangle ABB_1$)에 의해 기하학적 접근으로 해결하였으며, 이러한 링크시스템의 기하학적 분석은 4절링크 해석의 정력학적 해석이다. 트랙터 클러치는 작동시 고속으로 움직이지 않기 때문에 관성모멘트가 고려되는 동력학적 해석이 필요 없으며 기구학적 해석만으로도 충분히 정확한 값을 얻을 수 있다. 이 모델의 운동은 A, B 힌지점에서 각각의 회전각 θ_1, θ_2 , 그리고 좌표성분 x, y의 관계식 (1)~(7)로 표현되며, 운동조건은 A, B 힌지점을 기

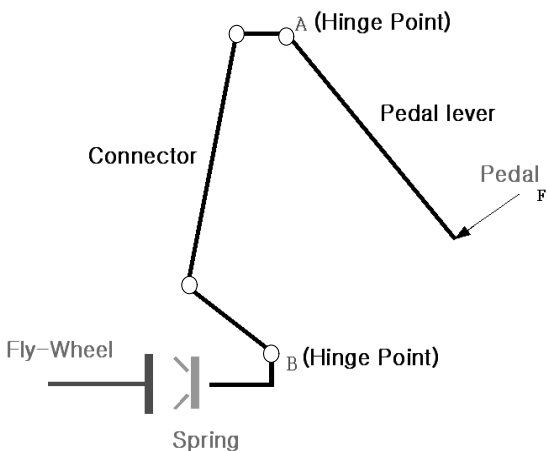


Fig. 1 Schematic configuration of mechanical clutch system.

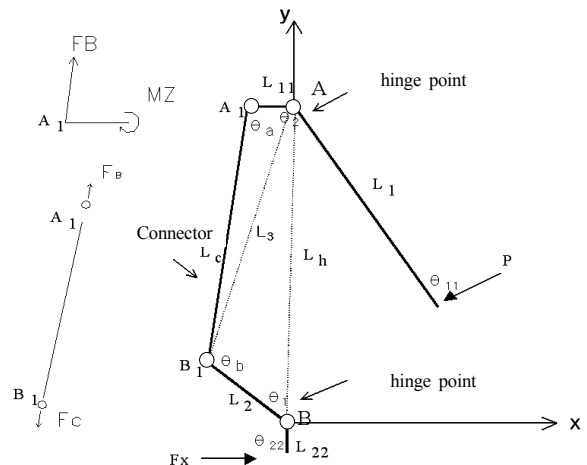


Fig. 3 Free body diagram of 4-link clutch system analysis.

준으로 각각의 링크가 회전할 때 관성력 없이 운동하는 것으로 가정하였다.

$$x_2 = \ell_{11} \cdot \cos\left(\frac{3}{2}\pi - \theta_2\right), \quad (1)$$

$$y_2 = \ell_h + \ell_{11}\sin\left(\frac{3}{2}\pi - \theta_2\right)$$

$$x = \ell_2 \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta_1\right), \quad y = \ell_2 \sin\left(\frac{\pi}{2} + \theta_1\right) \quad (2)$$

$$\theta_1 = \theta_i - \theta_{rot}$$

Where θ_1 : \angle between L_h and L_2 (3)

θ_2 : \angle between L_h and L_{11}

θ_a : \angle at joint A

θ_b : \angle at joint B

$$\ell_3^2 = \ell_2^2 + \ell_1^2 - 2\ell_2 \cdot \ell_1 \cos(\theta_1) \quad (4)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1}\left(\frac{\ell_3^2 + \ell_h^2 - \ell_2^2}{2 \cdot \ell_h \cdot \ell_3}\right) + \cos^{-1} \quad (5)$$

$$\left(\frac{\ell_{11}^2 + \ell_3^2 - \ell_c^2}{2 \cdot \ell_{11} \cdot \ell_3}\right)$$

$$\theta_a = \cos^{-1}\left(\frac{\ell_{11}^2 + \ell_c^2 - \ell_3^2}{2 \cdot \ell_{11} \cdot \ell_c}\right) \quad (6)$$

$$\theta_b = 360^\circ - (\theta_a + \theta_1 + \theta_2) \quad (7)$$

링크 A와 링크 B에서의 모멘트 평행은 식 (8), (9)로 표현되고 커넥터(connector) 절점에서 전달되는 FB와 FC는 힘의 크기는 같으나 방향은 반대이다. 이로부터 클러치 스프링에 전달되는 힘 F_x 를 식 (10)으로 구할 수 있으며, 식 (11)로부터는 클러치페달에 소요되는 압력 P 를 산정하도록 하였다. 이때 페달과 운전자의 발이 이루 각도(θ_{11}), 그리고 릴리스레버와 릴리스페어링축이 이루는 각도(θ_{22})는 모두 90° 로 가정하였다.

$$\sum M_{ZA} = F_B \sin \theta_a \times L_{11} - P \sin \theta_{11} \times L_1 = 0 \quad (8)$$

$$\sum M_{ZB} = -F_C \sin \theta_b \times L_2 + F_x \sin \theta_{22} \cdot L_{22} = 0 \quad (9)$$

Where, $F_C = F_B$

$$F_x = \frac{F_C \sin \theta_b \times L_2}{\sin \theta_{22} L_{22}} \quad (10)$$

$$F_x = \frac{P \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot \sin \theta_b \cdot \sin \theta_{11}}{L_{11} L_{22} \sin \theta_a \cdot \sin \theta_{22}} \quad (11)$$

정상상태 시스템의 연속방정식 개념을 클러치 시스템에 적용하여 링크설계의 적절성을 평가하고자 하였다. 클러치 시

스템에서 마찰에 의한 손실 및 클러치 링크의 관성력을 무시하면 시스템의 에너지 평형이 이루어진다. 식 (12)는 Joint (A) 및 (B)에서 행한 일이며, 식 (13)은 클러치의 작동중 일의 손실량을 나타내고, 식 (14)는 각 Joint에 연결된 링크의 평행한 힘의 성분으로 인한 내부손실을 나타낸다. 결국 이러한 내부손실이 클러치의 작동기간 중 손실일로 인한 것이다. 동력을 전달하는 동안 손실되는 에너지는 각 링크의 상대적인 각도 배치에 따른 힘의 손실로 인하여 절점에서의 압력에 의한 열 및 소리 등으로 변환될 수 있는 물리량이다.

$$W_A = \int M_A T_1, \quad W_B = \int M_B T_2 \quad (12)$$

$$W_B - W_A = \delta W \quad (13)$$

$$\int \int_{t_1}^{t_2} F dt = \int \int_{t_1}^{t_2} P A dt = \delta W = \Delta E \quad (14)$$

나. 클러치 시험 장치

클러치 링크시스템의 수치해석 및 최적설계 결과의 효과성을 검증하기 위하여 클러치 시스템에 대한 시험 장치를 구성하였다. 다이어프램 스프링형식의 트랙터 클러치의 기계적 거동을 파악하기 위하여 만능 재료시험기를 사용하여 하중변위 곡선을 구하였다. 그림 4는 다이어프램 접시스프링을 직접 기계장치를 사용하여 시험한 결과를 그래프로 나타낸 결과이다. 이 그래프는 클러치의 작동에 필요한 하중을 확인하는데 반드시 필요한 데이터 이다. 즉 클러치를 작동시키기 위하여 각 변위 구간별로 가해 주어야 하는 하중의 양을 나타낸다. 다이어프램 형식의 접시스프링은 전 작동구간 중에 변위가 증가하면서 동시에 하중이 증가하는 구간과, 변위는 증가하지만 오히려 하중이 감소하는 구간이 존재하게 된다. 이러한 현상을 스냅스루(snap-through)라고 하며 좌굴(buckling) 현상의 전형적인 한 특성이다. 이러한 클러치 스프링의 특성 곡선을 활용하여 최대하중을 받는 지점에서의 하중감소를 위한 최적설계를 적용한다.

본 연구에서 수행한 링크 메커니즘의 기구학적 해석과 더불어 최소의 힘으로 클러치를 작동시키기 위하여 최적화 알고리즘을 적용하여 링크 메커니즘을 최적설계하였다. 이러한 설계의 해석결과를 검증하기 위하여 그림 5와 같은 장치를 구성하였다. 이 작동력 검증장치의 가력부는 수동 핸들조작에 의한 피치 4.0 mm의 스크루 이동으로 크로스헤드를 움직이도록 하였으며, 크로스헤드는 이중헤드로 하여 로드셀에 항상 수직으로 접촉되어 원운동(R: 345 mm, 접촉부행정: 132.5 mm)에 의한 가력이 되도록 하고, 가력속도는 29.4 mm/min

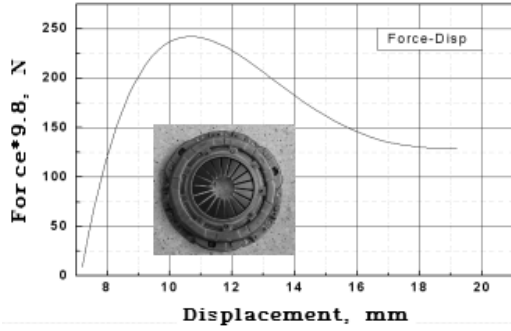


Fig. 4 Load-displacement curve of diaphragm clutch spring.

로 하여 클러치 스프링기계역학특성의 하중-변위 실험 상태와 같은 속도가 되도록 처리하였다.

이때 로드셀의 한쪽 끝단은 페달레버길이 330 mm 지점에 고정하여 크로스헤드와 같이 움직이도록 하였다. 로드셀로부터의 힘 데이터 수집을 위한 작동력 검증장치의 계측부는 TAKEI 1269E, Digital Dynamometer 1269, (USA)를 사용하였고, 페달회전각도는 크로스헤드 가이드부위에 1도 간격으로 마킹하여 수동으로 읽는 장치와 가변저항기를 사용하여 로드셀 데이터와 실시간 처리하는 방법을 병행하였다.

3. 클러치 링크 시스템 최적설계

가. 유용방향법 최적화 알고리즘

유용방향법은 제약 최적화 문제를 푸는 가장 먼저 개발된 기본법의 한가지이다. 이방법의 기본원리는 한 유용설계에서 보다 개선된 유용설계로 이동시키는 것이다. 따라서 유용설계 $X^{(k)}$ 가 주어지면 개선하는 유용방향 $S^{(k)}$ 를 결정하여 충분히 작은 이동거리 $\gamma > 0$ 에 관하여 다음의 두 성질을 만족하도록 한다.

1) 새로운 $X^{(k+1)} = X^{(k)} + \gamma * S^{(k)}$ 는 유용이고

2) 새로운 목적함수는 지난번 것보다 작다.

$$\text{즉 } f(X^{(k+1)}) < f(X^{(k)})$$

일단 $S^{(k)}$ 가 결정되면 $S^{(k)}$ 방향으로 얼마나 진행하여야 하는지를 정하는 선 탐색을 수행한다. 이렇게 하여 새로운 유용설계 $X^{(k+1)}$ 을 얻게되고 그곳에서 이 과정을 반복한다. 이 방법에서 설계변화 결정은 탐색방향과 이동거리 결정의 부문제로 나누어진다. 개선되는 유용방향은 작은 이동거리에서 엄격히 유용내에 남으면서 목적함수를 줄이게 정의한다. 따라서 유용영역내부에 존재하면서 목적함수의 강하방향이 된다. 개선되는 유용방향 S 는 조건 $\nabla F^T S < 0$ 와 $g^{(i)T} S < 0$ 를 만족한다. 이것은 $\nabla F^T S < 0$ 와 $g^{(i)T} S < 0$ 를 최대화시키는 최소화를 통하여 구한다. 이것을 목적함수 β 로 최대화를 나타내면 다음과 같이 방향 탐색 부 문제가 정의된다.

$$\begin{aligned} &\text{Minimize : } \beta \\ &\text{Subject to :} \\ &\quad \nabla F(X)^T S \leq \beta \\ &\quad \nabla g_j(X)^T S \leq \beta \\ &\quad -1 \leq S_j \leq 1 \quad j=1, n \end{aligned} \tag{15}$$

식 (15)의 마지막 부등식의 정규화제약은 유용영역의 해를 얻기 위하여 도입하였다. 유용방향법 알고리즘은 다음과 같다. 제약조건이 있는 최적화 문제를 풀려고 하면 먼저 목적함수 $F(X)$, 제약조건 $g_j(X) \leq 0, j=1, M$ 그리고 설계변수의 상한과 하한을 정의한다. 초기의 X^0 벡터가 주어지면 식 (16)에 따라서 설계를 계속 변경해 나간다.

$$X^q = X^{q-1} + \alpha * S^q \tag{16}$$

전반적인 최적화 프로세스는 다음과 같다.

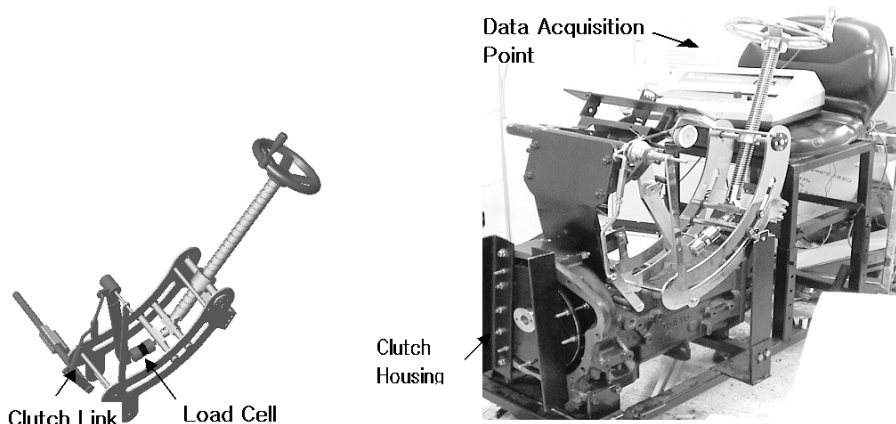


Fig. 5 Experimental test devices for clutch link mechanism's force measurement.

- ① Start $q = 0, X = X^0$
- ② $q = q+1$
- ③ $F(X^{q-1}), g_j(X^{q-1})$ 을 계산.
- ④ 결정적인 제약벡터를 확인.
- ⑤ $\nabla F(X^{q-1}), \nabla g_j(X^{q-1})$ 을 계산.
- ⑥ 탐색 방향 S^q 를 결정.
- ⑦ α 를 결정하기 위한 1차원 탐색.
- ⑧ $X^q = X^{q-1} + \alpha * S^q$ 계산.
- ⑨ 수렴성 확인.

9번 단계에서 수렴하면 알고리즘을 빠져 나오고 수렴하지 못했으면 다시 2번 단계로 간다.

나. 클러치 링크 시스템 최적화

1) 최적설계 알고리즘

본 연구에서는 전통적인 경사도 방법 중에서 구속조건 (constraint)이 주어진 문제에 적용 가능한 유용방향법을 사용하였다. 그림 6은 최적화를 위한 알고리즘을 나타낸다.

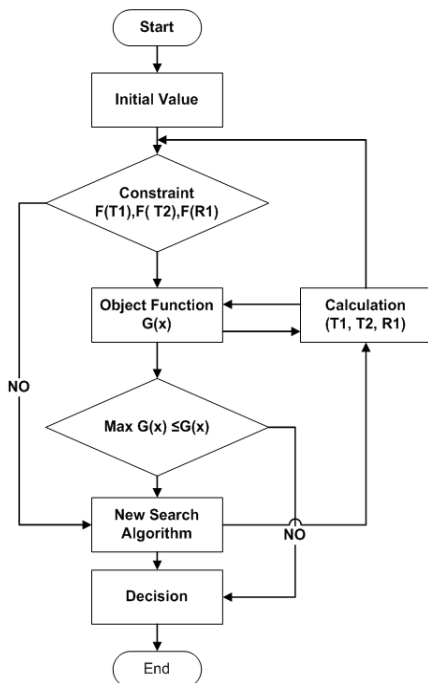


Fig. 6 Clutch link system optimum design algorithm.

클러치 시스템의 최적화 문제는 다수의 설계변수와 구속조건이 주어지는 전형적인 최적화 문제이다. 최적화 문제를 위하여 유용방향법 최적화 알고리즘의 프로그램이 개발되었고 이것을 목적함수와 프로그램과 연결하여 문제를 풀었다. 경사도 방법을 적용한 최적화 문제는 국부적인 최대 혹은 최소점을 찾을 위험성이 있기 때문에 다수의 시작점에서 여러번

계산을 수행하는 것이 전체 설계영역의 최대 혹은 최소점을 찾을 확률을 높인다.

2) 클러치 링크 최적화 문제 정의

클러치 링크 메커니즘을 최적화하기 위해 그림 7과 같이 2개의 회전각 T1, T2와 1개의 길이 R1을 설계변수로 설정하였고 4절링크 메커니즘의 설계필요 충분조건을 만족하도록 하였다. 최적화의 결과를 트랙터에 적용할 때 시스템의 간섭 없이 적용되도록 하기 위해 트랙터의 페달행정과 힌지 위치 등을 변화시키지 않고 최적화가 되도록 하였다. 최적화를 위한 프로그램은 MS-Fortran을 사용하였으며, 그림 6과 같이 3개의 설계변수를 움직여 목적함수 G(x)를 최소화하도록 하였다. 여기서 목적함수는 $G(X) = M_A(\text{Maximum})$ 과 같이 정의되며, 그림 7의 힌지 A점에서 최대모멘텀을 최소화하는 목적함수이다. 이것은 클러치의 조작력(답력)을 최소화하는 것이다.

그림 8은 2절에서 제시한 식 (1)~식 (11)을 적용하여 계산한 국내 A사 40 HP (29.8 kW)급 트랙터 클러치 페달의 작용력과 변위의 관계를 나타낸다. 표 1은 국내 트랙터 40~50 HP (29.8~37.2 kW)급의 클러치 규격과 소요답력을 나타낸다. 그림 8에서 보는바와 같이 페달의 최대 답력은 페달행정이 약 50 mm에 있을 때 최대 188N (19.26 kgf)으로 나타났으며, 총 페달 소요답력은 리턴스프링의 저항 2.4 kg을 포함하여

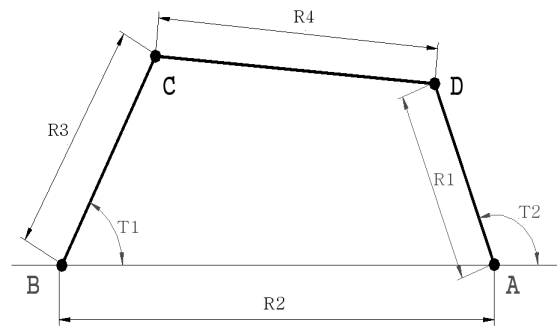


Fig. 7 Clutch link system for optimization.

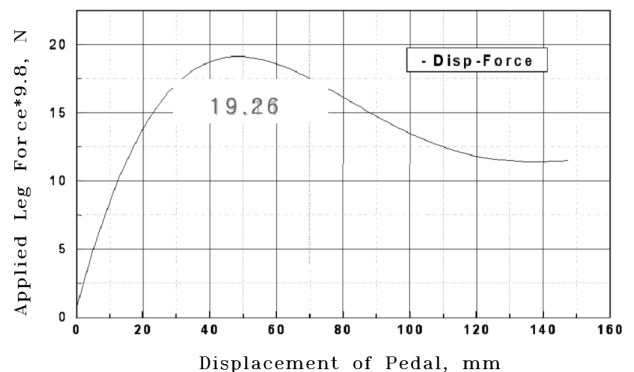


Fig. 8 Pedal's force vs. displacement.

Table 1 Operating force and spec of tractor clutch pedal

Item		A Corp. (40ps)	B Corp. (40ps)	C Corp. (50ps)
Pedan Lever Length (mm)		354	400	380
Pedan Moving Distance (mm)		136	180	187
Operating Force (Push Force, N)	Mechanical	212.3	231.3	249.9
	Hydraulic	181.3	-	-

Table 2 Optimum design results

	A(pedal part) Link			B(lower part) Link			Pedal stroke (mm)
	R1-lever length (mm)	Pedal lever length (mm)	T2 angle (deg.)	R3-lever length (mm)	Release part lever length (mm)	T1 angle (deg.)	
Old	60	330	99.28	130	46	52.45	125
Optimization	38	330	108.6	130	46	35	125

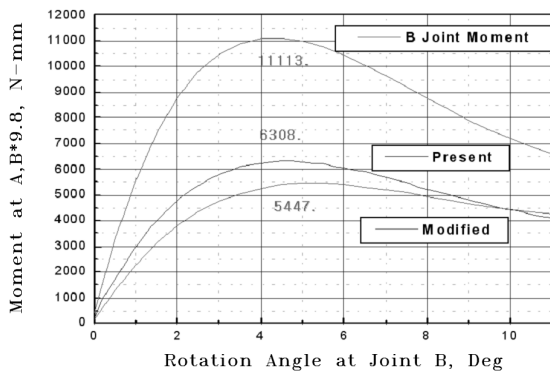


Fig. 9 Momentum variation at joint A(present, modified) and B.

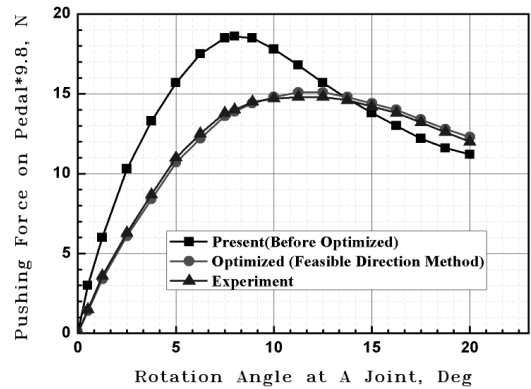


Fig. 10 Optimized clutch pedal's operation force and xperimental data.

212.3N (21.66 kgf)으로 평가되었다. 이는 표 1의 A사 40마력급 규격인 KJ-40ps 공칭 답력과 일치함을 알 수 있다.

3) 클러치 최적화 결과

링크회전각 2개의 설계변수와 상부레버 길이변수 1개로 클러치 링크메카니즘 최적화한 설계변수 결과는 표 2에 나타내었다. 상부링크에서 R1 레버의 길이가 60 mm에서 38 mm로, 이때 T2각이 99.28°에서 108.6°로 최적화되었으며, 하부링크의 T1각이 52.45°에서 35°로 최적화되었다.

그림 9에서 보는 바와 같이 최적설계결과, 상부링크(A joint)의 최대모멘트는 5,447 kg·mm로 나타났으며 기존 KJ- 40ps의 상부링크(A joint)의 최대모멘트 6,308 kg·mm와 비교하여 86%수준으로 낮게 평가되었으며 이는 클러치페달의 답력 감소와 직접 관련된다. 한편, 클러치 하부링크는 최대모멘트 11,113 kg·mm로 분석되었다. 이것을 기준으로 최종 클러치 페달의 답력을 계산하였으며 그림 10에 그 결과를 나타내었다.

최적설계 된 클러치 페달의 최대 답력은 그림 10에서와 보는바와 같이 상부 링크부 회전이 11.80에서 148 N (15.1 kgf)

으로 나타났다. 클러치 페달레버의 길이는 최적화시 330 mm로 하여 계산하였으나 실제로 페달 조작시 클러치페달의 끝단 354 mm에서 페달각도가 120° 상태로 가력됨으로 이 기준에서의 답력은 182.8 N이었으며, 기존 클러치 답력에 212.3 N 비해 14% 감소 되었다. 최적화를 통하여 최종적으로 클러치 답력을 14% 감소시킬 수 있었다. 이렇게 최적화된 링크 시스템의 규격을 적용하여 그림 5와 같은 시험 장치를 제작하였다. 제작된 시험 장치를 통하여 클러치의 로드셀로 부터 클러치의 답력을 얻을 수 있었으며 이것은 그림 10에서 보는 바와 같이 잘 일치함을 알 수 있다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 트랙터 클러치 링크 시스템의 최적화 설계를 통하여 클러치의 축답력을 최소화하였다. 최적화를 위한 알고리즘으로 전통적인 경사도 최적화 알고리즘인 유용방향법을 사용하였다. 최적화를 위한 링크 시스템의 수식화, 방법론 및 결론을 실험치와 함께 제시함으로써 해석결과의 신뢰

성을 확보하였다. 본 연구는 상용트랙터의 클러치 시스템을 대상으로 하여 해석을 수행하였으며 최적화를 통하여 약 14% 정도의 작동력을 감소 시킬 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Firestine, N., L. Furrey, C. Aslin, E. Crivella and J. A. Sautter. 2007. The farmer's handbook for energy self-reliance. The Institute for Energy and the Environment Vermont Law School 20-26. South Royalton, USA.
2. Fujii, Y. 2008. Recent trends in energy saving for development and use of agricultural machinery in Japan. SIEMSTA 2008 International Symposium of KSAM: Energy Saving in the Field of Agricultural Machinery Engineering 3-38. KSAM, Suwon, Korea. (In Korean)
3. Choi, C. H. and M. J. NahmGung. 2000. Load measurement of tractor on field performance. Proceedings of the KSAM 2000 Summer Conference 5(2):29-34. (In Korean)
4. Gotoh, T. and T. Teshima. 2010. Effect of operating conditions of an agricultural tractor on fuel consumption(part 4)- fertilizing, cultivating and road traveling test-. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery 72(1):72-79. (in Japanese)
5. Green, M. K., B. A. Stout and S. W. Searcy. 1983. Instrumentation package for monitoring tractor performance. ASAE Paper No. 83-1562. ASABE, St. Joseph, MI, USA.
6. Kim, S. C., K. U. Kim and D. C. Kim. 2009. Analysis of drawbar load acting on tractor engine at maximum drawbar power. Journal of Biosystems Engineering 34(2):71-76. (In Korean)
7. Lee, J. H. and Y. M. Koo. 2009. Centrifugal clutch design for unmanned helicopter-simulation of optimal forces. Journal of Biosystems Engineering 34(2):89-94. (In Korean)
8. Grisso, R. D. and R. Pitman. 2001. Gear Up and Throttle Down - Saving Fuel. Virginia Cooperative Extension Publication 442-450. Virginia Tech, Blacksburg, VA. USA