

복합법에 의한 롤러-링크 부착형 전도수문 구동용
 유압실린더의 최적 설치점 설계

Design of Optimal Locating Point of the Hydraulic Cylinder
 Actuating a Roller-Link Type Rotating Floodgate

이 성 래
 S. R. Lee

접수일: 2012년 6월 29일, 수정일: 2012년 8월 20일, 게재확정일: 2012년 8월 30일

Key Words : Rotating Floodgate(전도수문), Hydraulic Cylinder(유압 실린더), Complex Method(복합법), Constrained Direct Search(제약 직접 탐색)

Abstract: The hydraulic cylinder is used for actuating the roller-link type rotating floodgate which controls the volume of water in the reservoir. The locating points of hydraulic cylinder are restricted to the limited space and determined to minimize the cylinder force necessary for actuating the floodgate. Generally, the head end point of cylinder is fixed at underground and the rod end point of cylinder is connected to the support link. Therefore there exist three design variables to be determined to minimize the cylinder force within the rotating range of floodgate. First, the mathematical model of the roller-link type rotating floodgate is derived to find the cylinder force corresponding to the floodgate angle. Then, the optimal locating point of hydraulic cylinder is searched using the complex method that is one kind of constrained direct search method.

기호 설명

C : 실린더 로드와 연결점
 \bar{f} : 점 그룹 내 각 점에 해당하는 목적함수들의 평균값
 $f(x)$: 목적함수
 F_C : 유압실린더에 의해 링크에 가해지는 힘 또는 링크에 의해 유압실린더에 가해지는 압축하중
 F_P : 수압에 의해 수문 문비에 수직으로 가해지는 총 합력(G_2 점까지 물이 찬 경우)
 F_G : 유압실린더 1개가 담당하는 수문문비 무게
 F_L : 롤러와 링크의 접점에서 반력
 g : 중력 가속도
 $g_1(x)$: 제약함수
 G : 수문 문비 끝점
 l_{O_2C} : 실린더 길이
 l_{O_4C} : 링크 회전중심점에서 링크와 실린더 로드와 연결점까지의 거리

l_{O_4M} : 링크 회전점에서 링크와 롤러 접촉점까지의 거리
 $l_{O_6C_G}$: 수문문비의 회전점에서 수문문비 무게중심점까지의 거리
 l_{O_6G} : 수문문비의 회전점에서 수문문비 끝단까지의 거리, 수압이 미치는 최대길이
 l_{O_6R} : 수문문비의 회전점에서 롤러중심점까지의 거리
 l_{RM} : 롤러의 반경
 M : 수문문비의 롤러와 링크의 접촉점
 M_C : 유압실린더에 의해 링크에 가해지는 반시계방향 회전모멘트
 M_G : 수문 무게에 의해 수문 문비에 가해지는 시계방향 회전모멘트
 N : 설계변수 벡터(또는 점)의 요소수
 O_2 : 실린더의 헤드측의 회전 중심점
 O_4 : 링크의 회전 중심점
 O_6 : 수문 문비의 회전 중심점, 좌표계 기준점
 P : 설계변수 벡터수(점 그룹내의 점 개수)
 R : 수문 문비 끝단 전의 롤러 중심점
 s : 수면을 기준으로 수문문비를 따라 설정된 좌

이성래(책임저자) : 건양대학교 기계공학과
 E-mail : srlee@konyang.ac.kr, Tel : 041-730-5601

표

(x_C, y_C) : C점의 좌표

(x_M, y_M) : M점의 좌표

(x_R, y_R) : R점의 좌표

(x_{O_2}, y_{O_2}) : O_2 점의 좌표

(x_{O_4}, y_{O_4}) : O_4 점의 좌표

\bar{x} : 점 그룹에서 x^R 을 제외한 나머지 5개 점의 평균값, 단 탐색종료조건에서는 점 그룹 전체의 평균값

x^m : x^R 에서 \bar{x} 을 지난 건너편 점

$x_i^{(L)}, x_i^{(U)}$: i번째 설계변수의 하한과 상한

$x^p = [x_{O_2}^p, y_{O_2}^p, l_{O_4C}^p]^T$: p번째 설계변수 벡터(또는 p번째 점)

x^R : 6개의 점 중에서 목적함수값이 최대인 점

W : 유압실린더 1개가 담당하는 수문 문비의 폭

α : 최대 목적함수값을 갖는 점의 이동거리를 결정하는 반사 파라미터

$\alpha_{O_4C-O_4L}$: $\overline{O_4L}$ 선분 또는 $\overline{O_4M}$ 선분을 기준으로 한 선분 $\overline{O_4C}$ 의 반시계방향 각도

$\alpha_{O_6C_G-O_6G}$: $\overline{O_6G}$ 선분을 기준으로 한 선분 $\overline{O_6C_G}$ 의 반시계방향 각도

$\alpha_{O_6R-O_6G}$: $\overline{O_6G}$ 선분을 기준으로 한 선분 $\overline{O_6R}$ 의 반시계방향 각도

δ, ϵ : 탐색 종료조건

θ_{O_4L} : 링크 회전각(수평선기준 반시계방향)

θ_{O_6G} : 수문문비 회전각(수평선기준 반시계방향)

ρ : 물의 밀도

1. 서 론

농수원이나 식수원으로 사용되는 담수보의 물을 효과적으로 관리하기 위해 보에는 수문이 사용된다. 현재 사용되는 월류형 유압동력식 보수문의 종류는 Fig. 1과 Fig. 2와 같다.

Fig. 1은 유압실린더 로드 끝이 직접 수문에 힌지로 연결되어 있다. 유압실린더가 신장하면 수문은 반시계방향으로 회전하여 보수문이 닫히게 되며 유압실린더가 수축하면 수문은 시계방향으로 회전하여 보수문이 열리게 된다. Fig. 2는 유압실린더 로드 끝과 지지링크가 직접 힌지로 연결되고 수문에는 롤러가 부착되어 롤러는 지지링크면에 접촉하면서 회전한다. Fig. 1의 경우는 유압실린더가 수문 문비에 직

접 연결되는 구조로서 제작은 용이하나 현장에서 설치할 때 유압실린더가 물, 바람 등에 노출되어 유지 보수 및 미관상으로 좋지 않다. Fig. 2의 경우 수문 문비는 물에 접촉하지만 롤러, 링크, 유압실린더는 수문 좌우 양단의 콘크리트 박스 내에 설치되어 외부에 노출되지 않는 구조이다. 따라서 현장에서는 Fig. 1의 구조보다는 Fig. 2의 구조를 대부분 채택하고 있다.

Fig. 2에서 수문의 회전각은 지면을 기준으로 반시계방향으로 정의되며, 보통 0도에서 60도까지 회전한다. 회전각이 증가함에 따라 수문 자중에 의한 회전모멘트는 감소하나 수압에 의한 회전모멘트는 증가한다. 또한 수문의 구조와 설치 위치, 유압실린더의 크기와 설치 위치 그리고 수문의 회전각도에 따라 유압실린더에 작용하는 압축하중의 크기는 변화한다. 따라서 유압실린더가 받는 압축하중의 크기를 최소화시킬 수 있도록 유압실린더의 설치위치를 결정하는 것은 매우 중요하다.

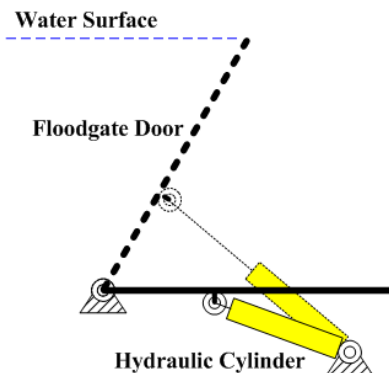


Fig. 1 Schematics of the floodgate door actuated by the hydraulic cylinder

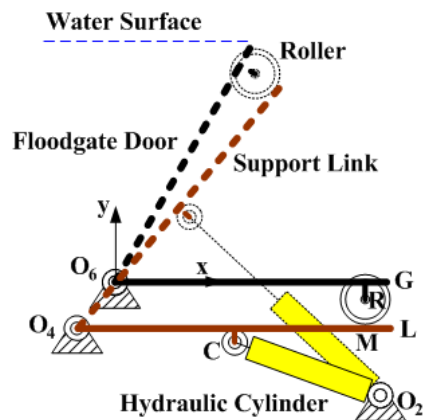


Fig. 2 Schematics of the floodgate door, roller and support link actuated by the hydraulic cylinder

본 연구에서는 Fig. 2 에 나타난 전도수문을 설계, 제작 및 설치하는 업체의 실무자들이 쉽게 이해할 수 있고 사용하기에 편리하도록 유압실린더의 설치 지점을 설정하면 유압실린더가 받는 압축하중을 계산할 수 있는 부하해석 프로그램을 개발하였다.¹⁾ 일반적으로 부하해석 프로그램을 이용하여 처리하더라도 유압실린더의 압축하중이 최소가 되는 유압실린더의 설치지점을 찾기에는 많은 시행착오가 필요하게 된다.

따라서 본 논문에서는 Fig. 2에 나타난 수문의 작동 범위(0도~60도)에서 유압실린더에 작용하는 최대 압축하중이 최소화되도록 유압실린더의 설치점인 O_2 점과 C 점의 위치를 결정하기 위해 유압실린더의 압축하중에 대한 수학적 모델링을 수행하고 직접탐색기법의 일종인 콤플렉스법(complex method)^{2,3,4)}을 적용한 알고리즘을 개발하여 유압실린더의 최적 설치점 탐색에 적용하였다.

2. 유압실린더 구동식 롤러-링크 부착형 전도수문의 수학적 모델

Fig. 2에서 유압실린더의 헤드측 힌지점 O_2 은 지면에 고정되어 있으며 유압실린더의 로드측 힌지점 C 는 지지링크에 연결된다. 유압실린더가 신장되면 링크는 지면에 고정된 O_4 점을 회전 중심으로 하여 시계반대방향으로 회전하며 지지링크면 위에 있는 롤러는 롤러 중심점을 중심으로 회전하면서 동시에 롤러 중심점은 수문 문비에 고정된 회전점 O_6 을 중심으로 수문 문비와 함께 시계반대방향으로 회전한다. 여기서 수문 문비의 양단 상부에는 축이 돌출되어 콘크리트 박스 측면벽에 형성된 원호 형상의 홈을 따라 원운동을 하며 이 돌출된 축에 롤러가 연결된다.

롤러가 부착된 문비, 지지링크, 실린더로 구성된 전도수문의 수학적 모델은 다음과 같이 유도된다.

Fig. 3에 나타난 수문 문비의 자유물체도에서 수문 문비의 하단에서 상단까지 물이 차 있는 경우 수문 문비에 수직으로 작용하는 수압에 의한 총합력은 식 (1)로 표현된다.

$$F_P = \int_0^{l_{O_6C}} \rho g s \sin(\theta_{O_6G})(Wds) = \frac{1}{2} \rho g l_{O_6G}^2 W \sin(\theta_{O_6G}) \quad (1)$$

수압에 의해 수문을 시계방향으로 회전시키는 모

멘트는 식 (2)로 표현된다.

$$M_P = \frac{1}{3} l_{O_6G} F_P \quad (2)$$

수문자중에 의해 수문을 시계방향으로 회전시키는 모멘트는 식 (3)과 같다.

$$M_G = x_{C_G} F_G \quad (3)$$

여기서 x_{C_G} 는 수문 무게중심점의 x축 좌표로서 식 (4)에 의해 구할 수 있으며 x축 및 y축의 기준점은 O_6 점으로 정의한다.

$$x_{C_G} = l_{O_6C_G} \cos(\theta_{O_6C_G}) \quad (4)$$

$$\theta_{O_6C_G} = \theta_{O_6G} + \alpha_{O_6C_G - O_6G} \quad (5)$$

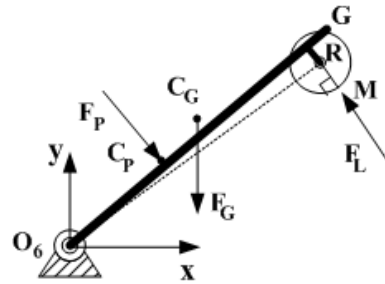


Fig. 3 Free body diagram of the floodgate door and roller

링크 반력, F_L 에 의해 수문 문비에 가해지는 반시계방향 회전모멘트, M_L 은 식(6),(7),(8)에 의해 구해진다.

$$\vec{M}_L = \vec{O_6M} \times \vec{F}_L \quad (6)$$

$$\vec{M}_L = [(x_M \vec{i} + y_M \vec{j}) \times \frac{[(x_R - x_M) \vec{i} + (y_R - y_M) \vec{j}]}{l_{RM}}] F_L \quad (7)$$

$$M_L = \frac{[x_M(y_R - y_M) - y_M(x_R - x_M)]}{l_{RM}} F_L \quad (8)$$

정적인 평형상태에서 수압과 수문자중에 의한 수문의 시계방향 모멘트의 합은 링크반력에 의한 수문의 반시계방향 모멘트와 같으므로 링크반력은 식 (9)에 의해 구할 수 있다.

$$F_L = \frac{l_{RM}}{[x_M(y_R - y_M) - y_M(x_R - x_M)]} (M_P + M_G) \quad (9)$$

여기서 롤러 중심점 R점의 좌표는 식 (10), (11), (12)에 의해 구할 수 있다.

$$\theta_{O_6R} = \theta_{O_6G} + \alpha_{O_6R-O_6G} \quad (10)$$

$$x_R = l_{O_6R} \cos(\theta_{O_6R}) \quad (11)$$

$$y_R = l_{O_6R} \sin(\theta_{O_6R}) \quad (12)$$

롤러와 링크의 접점 M은 링크 상에서 이동하기 때문에 구하는 절차가 상당히 복잡하지만 결국은 식 (13)과 식 (14)로 구성된 연립방정식에서 x_M, y_M 을 구하는 것이다.

$$l_{RM}^2 = (x_M - x_R)^2 + (y_M - y_R)^2 \quad (13)$$

링크 길이 선분, $\overline{O_4L}$ 과 롤러 반경선분, \overline{RM} 은 직교하므로 식 (14)와 같이 벡터곱의 결과는 0가 된다.

$$(x_M - x_{O_4})(x_M - x_R) + (y_M - y_{O_4})(y_M - y_R) = 0 \quad (14)$$

식(13)과 식(14)로 구성된 연립방정식을 풀면 식 (15)~식(19)에서 x_M, y_M 을 구할 수 있다.

$$x_M = \frac{(x_R - AB) + C}{(A^2 + 1)} \quad (15)$$

$$A = \frac{(x_R - x_{O_4})}{(y_R - y_{O_4})} \quad (16)$$

$$B = \frac{x_{O_4}x_R + l_{RM}^2 - x_R^2}{(y_R - y_{O_4})} \quad (17)$$

$$C = \sqrt{(x_R - AB)^2 - (A^2 + 1)(B^2 - l_{RM}^2 + x_R^2)} \quad (18)$$

$$y_M = y_R - \sqrt{l_{RM}^2 - (x_M - x_R)^2} \quad (19)$$

마지막으로 Fig. 4에 나타난 링크의 정적인 평형상태에서 링크반력, F_L 에 의한 링크의 시계방향 모멘트, M_M 은 유압실린더 반력, F_C 에 의한 링크의 반시계방향 모멘트, M_C 와 같으므로 유압실린더 반력은 식 (20)~(28)에 의해 구할 수 있다.

$$M_M = l_{O_4M} F_L \quad (20)$$

$$\vec{M}_C = \vec{O_4C} \times \vec{F}_C \quad (21)$$

$$\theta_{O_4L} = \tan^{-1} \frac{y_M - y_{O_4}}{x_M - x_{O_4}} \quad (22)$$

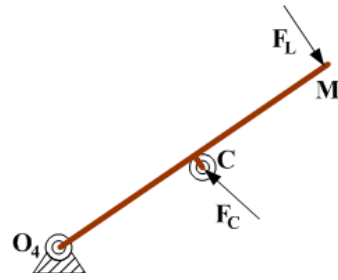


Fig. 4 Free body diagram of the link

$$\theta_{O_4C} = \theta_{O_4L} + \alpha_{O_4C-O_4L} \quad (23)$$

$$x_C = x_{O_4} + l_{O_4C} \cos(\theta_{O_4C}) \quad (24)$$

$$y_C = y_{O_4} + l_{O_4C} \sin(\theta_{O_4C}) \quad (25)$$

$$M_C = \frac{D}{l_{O_2C}} F_C \quad (26)$$

$$D = (x_C - x_{O_4})(y_C - y_{O_4}) - (y_C - y_{O_4})(x_C - x_{O_4}) \quad (27)$$

$$F_C = \frac{l_{O_2C}}{D} l_{O_4M} F_L \quad (28)$$

유압실린더에 걸리는 부하압력은 식 (28)을 유압실린더의 헤드측 가압면적으로 나누어 구할 수 있으며, 유압실린더의 길이는 Fig. 3에 나타난 선분 $\overline{O_2C}$ 의 길이와 같으므로 O_2, C 점의 좌표값을 이용하여 길이를 구할 수 있다.

3. 유압실린더의 최적 설치점 설계

Table 1에 유압실린더 구동식 롤러-링크 부착형 전도수문에 대한 시스템 값이 나타나 있다. Table 1에 나타난 바와 같이 수문의 폭이 5.0m, 수문의 높이가 1.55m, 수문의 자중이 29400N인 수문이 0도~60도인 범위에서 회전하는 경우, 수압 및 수문 자중에 의해 발생하는 부하회전모멘트는 Fig. 5에 나타난 것과 같다.

Fig. 5에서 수문이 0도~60도인 범위에서 회전하는 경우, 수압에 의한 수문 문비의 부하회전모멘트는 0Nm에서 26338Nm까지 증가하며 수문 자중에 의한 수문 문비의 부하회전모멘트는 22620Nm에서 13680Nm로 감소하는 것을 알 수 있다. 수문 문비의 총부하회전모멘트는 22620Nm에서 수문의 회전각이 56도일 때 40130Nm까지 증가하다가 40017Nm로 감소한다.

Fig. 2에 표시된 유압실린더의 설치점인 O_2 점과 C 점의 위치, 수문의 회전각 θ 에 따라 유압실린더에 작용하는 압축하중값이 결정된다. 수문회전각(0도~60도)에 따른 실린더 압축하중 중에서 가장 큰 값이 최소가 되도록 O_2 점과 C 점의 위치를 결정하기 위해 직접탐색기법의 일종인 콤플렉스법(complex method)을 적용하였다.^{2,3,4)}

(1) 설계 변수

O_2 점의 좌표는 (x_{O_2}, y_{O_2}) 로 정의되는 지면에 고정된 좌표이며 C 점의 좌표는 (x_C, y_C) 로 링크에 고정되는 점으로 선분 $\overline{O_4C}$ 의 길이인 l_{O_4C} 와 $\overline{O_4M}$ 선분을 기준으로 한 선분 $\overline{O_4C}$ 의 반시계방향 각도 $\alpha_{O_4C-O_4L}$ 에 의해 결정된다. 일반적으로 링크에서 C 점까지의 수직거리는 고정값이므로 결국 유압실린더의 최적설치점을 설계하는 것은 3개의 설계변수, $x_{O_2}, y_{O_2}, l_{O_4C}$ 를 구하는 것이다.

Table 1 System parameters

Items	Parameters
(x_{O_1}, y_{O_1})	(-0.7m, -0.375m)
(x_{O_2}, y_{O_2})	design variables
l_{O_6G}	1.55m
$l_{O_6C_G}$	0.775m
l_{RM}	0.166m
l_{O_6R}	1.372m
l_{O_4C}	design variable
$\alpha_{O_6C_G-O_6G}$	-6.897°
$\alpha_{O_6R-O_6G}$	-6.897°
W	5m
F_G	29400N(3000kgf)

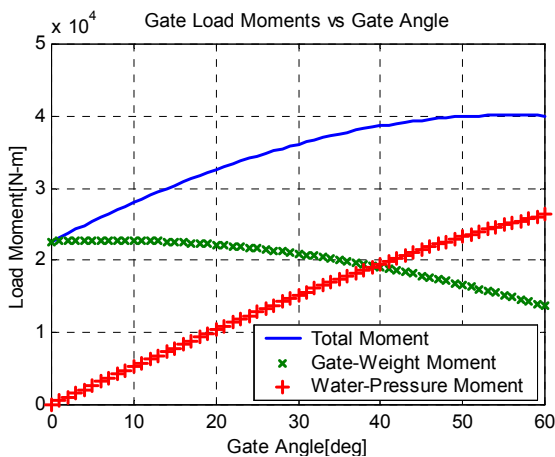


Fig. 5 Gate moments($M_G + M_P, M_G, M_P$) .vs. gate angle

(2) 목적함수

수문이 0도~60도인 범위에서 회전하는 경우, 콤플렉스법에 사용된 목적함수는 식(29)와 같다. 식(1)~식(29)에서 목적함수가 양함수(explicit function)로 표현되기 어렵다는 사실을 알 수 있다.

$$f(x) = \max\{F_C(x, \theta_{O_6G}); \theta_{O_6G} = 0^\circ, 1^\circ, \dots, 60^\circ\} \quad (29)$$

(3) 제약함수

설계변수의 변화 범위는 다음과 같이 제한시키며 $0.1 \leq x_{O_2} \leq 1.8$ [m], $-0.6 \leq y_{O_2} \leq -0.4$ [m], $0.3 \leq l_{O_4C} \leq 1.8$ [m], 수문의 회전 범위에서 실린더의 최대길이와 최소길이의 비가 1.6 이하이도록 설계변수를 제약한다.

$$1.0 \leq g_1(x) = \frac{(l_{O_2C})_{\theta_{O_6G} = 60^\circ}}{(l_{O_2C})_{\theta_{O_6G} = 0^\circ}} \leq 1.6 \quad (30)$$

(4) 콤플렉스법의 알고리즘

콤플렉스법은 심플렉스 직접탐색법의 단점을 보완한 것^{2,3)}으로 이를 플로차트로 나타내면 Fig. 6과 같으며 그 내용은 다음과 같다.

단계1) 설계변수의 개수 3의 2배에 해당하는 6개의 유용한 점들로 구성된 점 그룹을 형성한다. 그룹에 속하는 각 점은 식(31)에 나타난 것처럼 3개의 설계변수로 구성된다.

$$x^p = [x_{O_2}^p, y_{O_2}^p, l_{O_4C}^p]^T, \quad p = 1, 2, \dots, 6 \quad (31)$$

단계2) 6개의 점 중에서 목적함수값이 최대인 점, x^R 을 찾는다.

단계3) Fig. 7에 나타난 것처럼 점 그룹에서 단계2)에서 구한 점, x^R 을 제외한 나머지 5개의 평균점, \bar{x} 의 건너편 점, $x^m = \bar{x} + \alpha(\bar{x} - x^R)$ 으로 이동시킨다. α 값은 1보다 큰 값이며 여기서는 1.3을 사용하였다.

단계4) 이동된 점, x^m 의 목적함수값, $f(x^m)$ 이 단계2)에서 구한 최대목적함수값, $f(x^R)$ 보다 작지 않으면 최대목적함수값보다 작아질 때까지 x^m 의 현 위치에서 현 위치와 Fig. 7에 나타난 평균점, \bar{x} 의 중간점으로 이동시킨다. x^m 의 이동된 점이 유용한 점이 아니면 유용한 점이 될 때까지 x^m 의 이동 후 현 위치에서 현 위치와 \bar{x} 의 중간점으로 다시 이동시킨다.

단계5) 6개의 점과 평균점의 오차제곱합이 $\delta = 0.0005$ 보다 작고 6개의 점 각각에 대한 목적함

수값과 평균목적함수값의 오차제곱합이 $\epsilon = 0.00001$ 보다 작으면 종료시킨다. 종료조건이 만족되지 않으면 단계2)로 간다.

(5) 최적 설계 결과

콤플렉스법에 의한 최적설계변수의 탐색 프로그램은 MATLAB^{5,6)}으로 작성하였다. 물론 MATLAB 내에는 콤플렉스법에 관련된 내장함수가 없으며 모든 탐색 프로그램은 자체적으로 작성하였다. 최적설계변수의 탐색과정이 Fig. 8에 잘 나타나 있으며 전체 탐색회수는 180회이며 탐색 결과는 다음과 같다.

$$x_{O_2} = 1.8 \text{ m} \quad y_{O_2} = -0.6 \text{ m} \quad l_{O_1C} = 1.401 \text{ m}$$

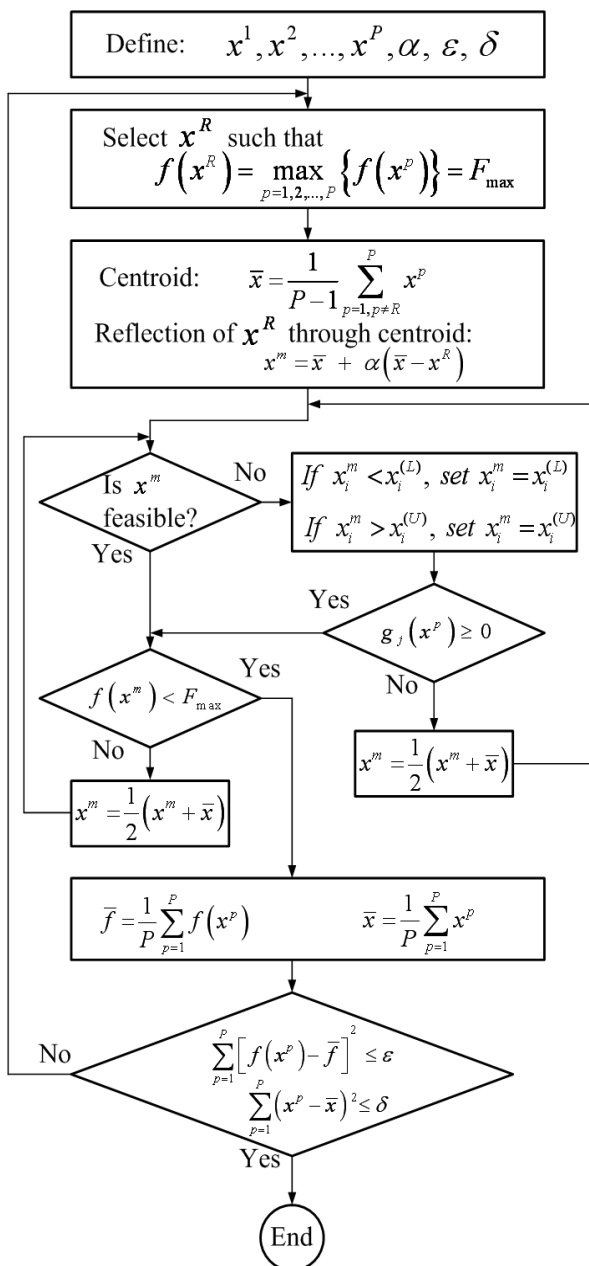


Fig. 6 Flow chart of complex method

또한 탐색과정에서 나타난 목적함수의 값이 Fig. 9에 나타나 있으며 실린더의 최적설치 위치에서 수문의 작동 중 발생하는 최대 실린더 압축하중은 $F_C = 99537\text{N}$ 이 되며 수문회전각(0~60도)에 대한 실린더의 최대길이와 최소길이의 비는 1.60 이다. 최적설계변수값을 적용하여 수문이 완전히 열린 상태(수문각 0도)에서 수문이 완전히 닫힌 상태(수문각 60도)로 될 때까지의 유압실린더 압축하중을 Fig. 10의 상단에 나타냈고 실린더 길이를 Fig. 10의 하단에 나타냈다.

유압실린더 압축하중은 수문각도가 0도일 때 99537N으로서 가장 크며 수문각도가 증가할수록 유압실린더의 압축하중은 점점 감소하여 46306N에 이른다.

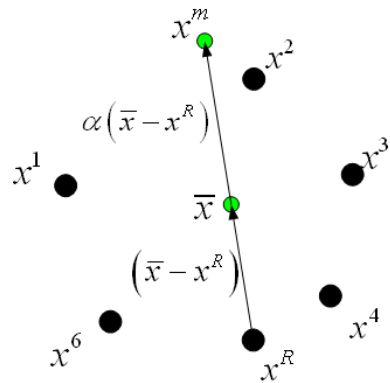


Fig. 7 Search trajectory of complex method

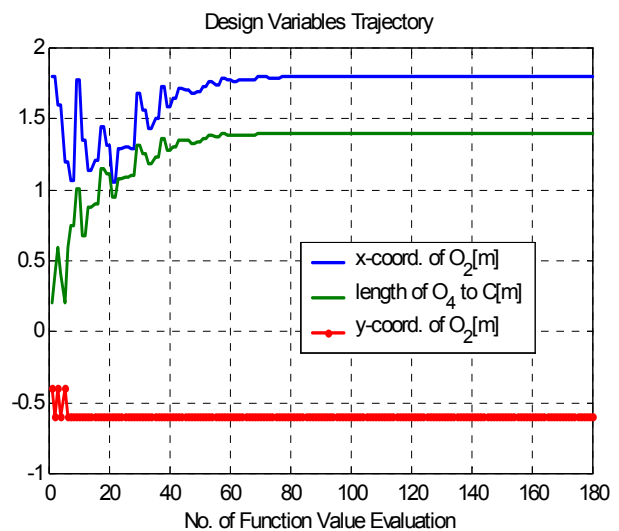


Fig. 8 Trajectory of design variables: (a) top: x_{O_2} (b) middle: l_{O_1C} (c) bottom: y_{O_2}

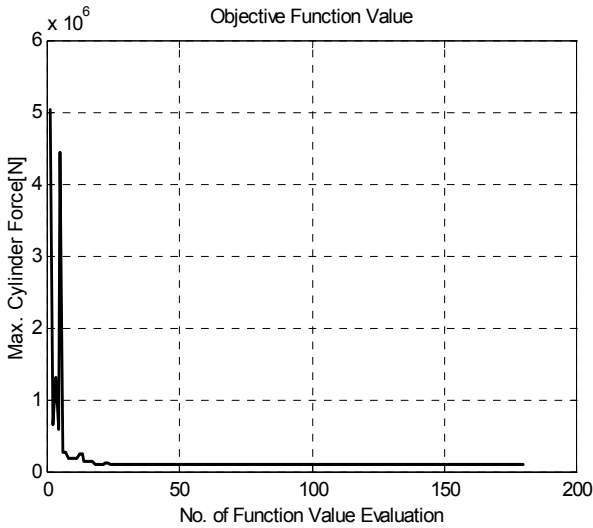


Fig. 9 Trajectory of objective function values, $f(x)$

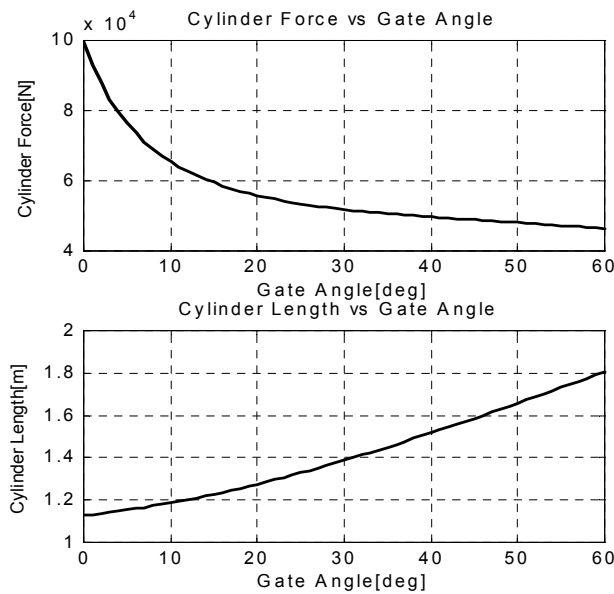


Fig. 10 (1) Cylinder force, F_C (2) Cylinder length, l_{O_2C}

4. 결 론

수문의 폭이 5m, 수문의 높이가 1.55 m, 수문의 자중이 29400N인 담수보용 전도수문을 0도~60도인 범위에서 회전시키는 경우, 수압 및 수문자중에 의한 최대부하회전모멘트는 수문의 회전각이 56도일 때 40130Nm가 된다. 전도수문을 회전시키기 위해 유압실린더가 사용되는데 유압실린더의 설치 위치에 따라 유압실린더에 작용하는 최대압축하중값이 크게 변한다. 유압실린더에 작용하는 최대압축하중값이 최소가 되도록 하는 유압실린더의 설치 지점을 결정하기 위해 롤러-링크 부착형 전도수문에서 유압실린더의 압축하중을 구하는 수학적 모델을 유

도하고 직접탐색기법의 일종인 콤플렉스법을 적용한 프로그램을 개발하여 유압실린더의 최적설치 지점을 탐색하였다.

최적설계변수의 탐색과정에서 목적함수의 총 계산회수는 180회이며 탐색 결과는 $x_{O_2} = 1.8\text{ m}$, $y_{O_2} = -0.6\text{ m}$, $l_{O_2C} = 1.401\text{ m}$ 으로 나타났다. 여기서 유압실린더의 헤드측 힌지점인 O_2 점의 x -좌표는 해당 설계변수의 상한값과 같고 y -좌표는 해당 설계변수의 하한값과 같게 나타났다. 이것은 유압실린더의 헤드측 힌지점이 가능한 아래쪽 및 오른쪽으로 위치할수록 유압실린더에 걸리는 압축하중이 작아진다는 것을 암시하고 있다.

유압실린더의 최적설치지점에서 유압실린더 압축하중은 수문각도가 0도일 때 99537N으로서 가장 크게 나타났고 수문각도가 증가할수록 유압실린더의 압축하중은 점점 감소하여 46306N에 이른다. 또한 수문회전각(0~60도)에 대한 실린더의 최대길이와 최소길이의 비는 1.60 으로서 제약함수의 상한값과 일치하였다.

유압실린더의 최적설치지점을 탐색하는 콤플렉스법은 유압실린더를 사용하는 다른 형태의 수문 또는 중장비 차량(적재함 로더, 덤프트럭) 등에서 유압실린더에 작용하는 최대부하하중값이 최소가 되도록 유압실린더의 설치지점을 결정하는데 적용될 수 있으며, 또한 목적함수가 매우 비선형적이며 도함수를 구하기 어려운 문제에서 최적해를 구하는데 응용될 수 있다.

참고 문헌

- 1) S. R. Lee, "Development of the Load Analysis Program of Rotating-Type Floodgate Actuated by Hydraulic Cylinders", Proceedings of the Korea Society of Fluid Power & Construction Equipments, 2011 Spring Annual Meeting, pp.76~81, 2011.
- 2) G. V. Reklaitis, A. Ravindran and K. M. Ragsdell, "Engineering Optimization Methods and Applications", John Wiley & Sons, Inc., pp. 261~286, 1983.
- 3) M. J. Box, "A New Method of Constrained Optimization and a Comparison with Other Methods", Computer J., Vol. 8, pp. 42~52, 1965.
- 4) S. R. Lee, Y. B. Lee and J. H. Park, "Optimal

Design of Hydraulic System Using the Complex Method”, Journal of the Korea Society of Fluid Power & Construction Equipments, Vol. 4, pp. 1~8, 2004.

- 5) B. Shahian and M. Hassul, "Control System Design Using MATLAB", Prentice Hall, 1993.
- 6) D. Hanselman and B. Littlefield. "The Student Edition of MATLAB", Prentice Hall, 1997.