

선박용 윈치의 특성 및 유체 정역학적 구동 Characteristics of ship Winches and Their Hydrostatic Drives

이동렬 · 천성한
D. R. Lee and S. H. Chun

1. 윈치의 기본원리

선박이 계류된 상태에서 밀물·썰물, 하역 작업, 파도 등이 작용하면 선박 계류용 로프에 작용하는 장력(tension)이 변화한다. 자동계선위치(automatic mooring winch)는 선박의 운동 방향에 상관없이 일정한 장력을 유지한다.

윈치에 작용하는 부하토크에 따라서, 윈치는 다음과 같이 감음/풀어줌의 작용을 한다(그림 1 참조).

① 유압모터 토크(압력×배제용적) = 윈치 부하 토크 : 이 때는 윈치는 정지하며, 장력은 일정하다.

② 유압모터 토크 > 윈치 부하 토크 :

윈치는 로프를 감아들이며, 마침내 장력이 증가하여 ①의 상태에 도달한다.

③ 유압 모터 토크 < 윈치 부하 토크 :

윈치에 감긴 로프가 풀리며, 마침내 장력이 감소하여 ①의 상태에 도달한다.

②의 경우, 유압장치는 유압모터의 역할을 수행한다. 이 때 유체 에너지(압력×유량)는 기계적 에너지(토크×회전속도)로 변환된다.

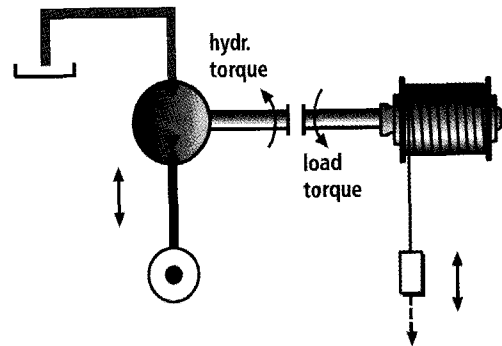


그림 1 윈치의 원리

③의 경우, 즉 장력에 의하여 윈치가 역회전하는 경우에는 유압장치가 펌프와 같은 작용을 한다. 이때에는 기계적 에너지가 유체 에너지(압력×유량)로 변환된다. 마치, DC전동기를 외부동력으로 회전시키면 전동기가 발전기처럼 작동하여 그 전기 에너지를 전력공급원으로 보내주는 것과 마찬가지로 이치이다. 그러나 선박에서 이러한 역방향 전력공급은 단지 한정된 범위 내에서만 가능하다.

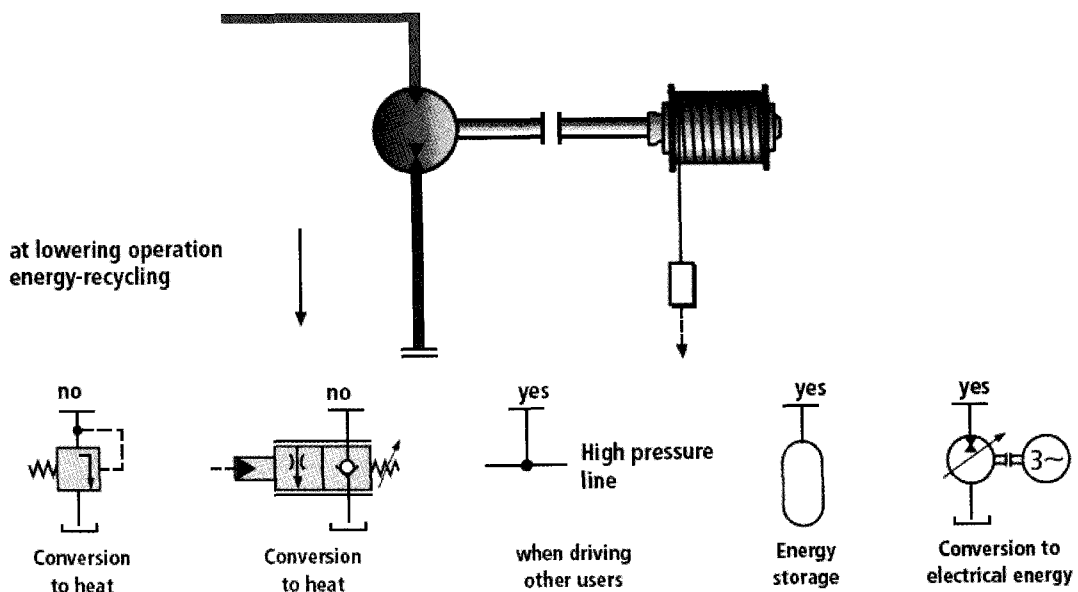


그림 2 부하 하강시의 에너지 변환

그림 2는 위에서 설명한 ②의 경우, 즉 유압모터가 풀릴 때 발생하는 에너지가 어떻게 다른 형태의 에너지로 변환되는가에 대하여 보여주고 있다.

실제로 대부분의 경우, 장력 조절 기능이 자동 윈치에 요구된다. 이에 추가하여, 자동운전(automatic drive) 전과 후에는 수동운전(manual drive) 또한 가능해야 한다. 이러한 요구 조건들을 달성하기 위한 다음과 같은 몇 가지 구동 방식들이 있다.

2. 독립 구동(Individual Drives)

주로 폐회로에 적용된다(그림 3). 속도, 토크 그리고 회전 방향의 제어는 대개 양방향 가변 용량형 유압 펌프의 용량 제어와 유동 방향제어를 통하여 실행된다. 독립구동형 선박 윈치의 예를 그림 4에서 살펴볼 수 있다.

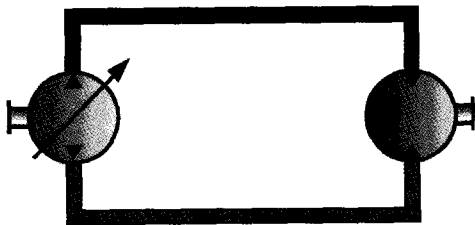


그림 3 독립 구동원리

<장 점>

- 필요한 만큼의 압력을 발생시킬 수 있다. 시동(starting)시에 필요한 짧은 시간동안 높은 압력 발생이 아무런 문제없이 만들어진다.
- 재생적 제동(regenerative braking)이 가능하다.
- 온도 상승이 적다.
- 카운터 밸런스 밸브가 필요 없다.

<단 점>

- 다수의 윈치가 설치되어 있는 곳에서 동시에 작동을 하려면 각각의 펌프를 구동시켜야 할 뿐만 아니라 압력 배관도 각각 필요하다.
- 기관실에 유압 펌프가 설치된 경우 매우 긴 제어용 배선이 필요하다.
- 주 압력 배관이 길어짐에 따른 다음과 같은 문제가 발생한다
 - 기름 압축성의 따른 영향
 - 유체 점도의 영향
 - 응답 시간의 영향
 - 제동 제어 민감도의 영향

대부분의 경우 동시에 작동되지는 않기 때문에 윈치는 절환밸브(cross over valve)와 잠금 장치(locking mechanism)를 갖춘 하나의 펌프로부터 기름을 공급받게 된다.

위에 언급된 단점들은 전동기, 유압 펌프, 유압 모터, 밸브류, 쿨러, 탱크 등이 동일 구역에 배열되는 콤팩트 윈치(예: 그림 5)에는 유효하지 않다.

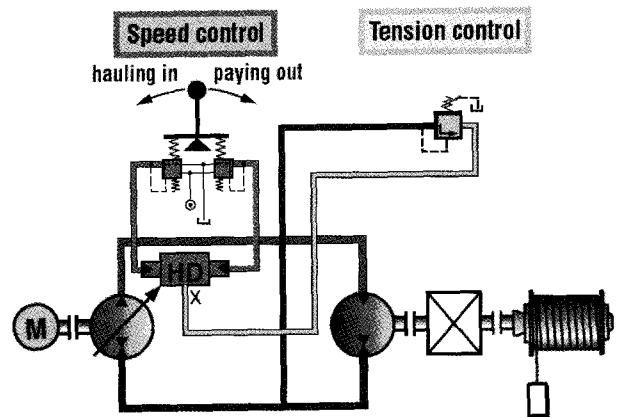


그림 5 유압 펌프에 의한 독립 구동

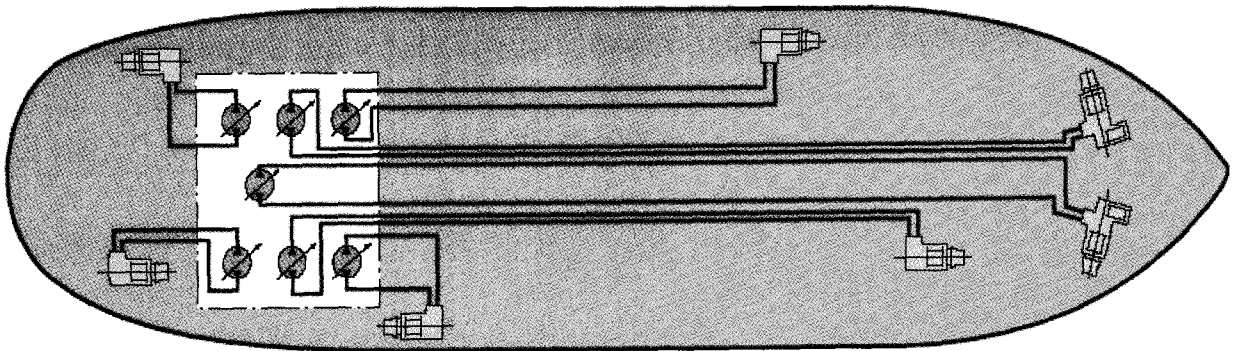


그림 4 유압 독립 구동에서 윈치의 예

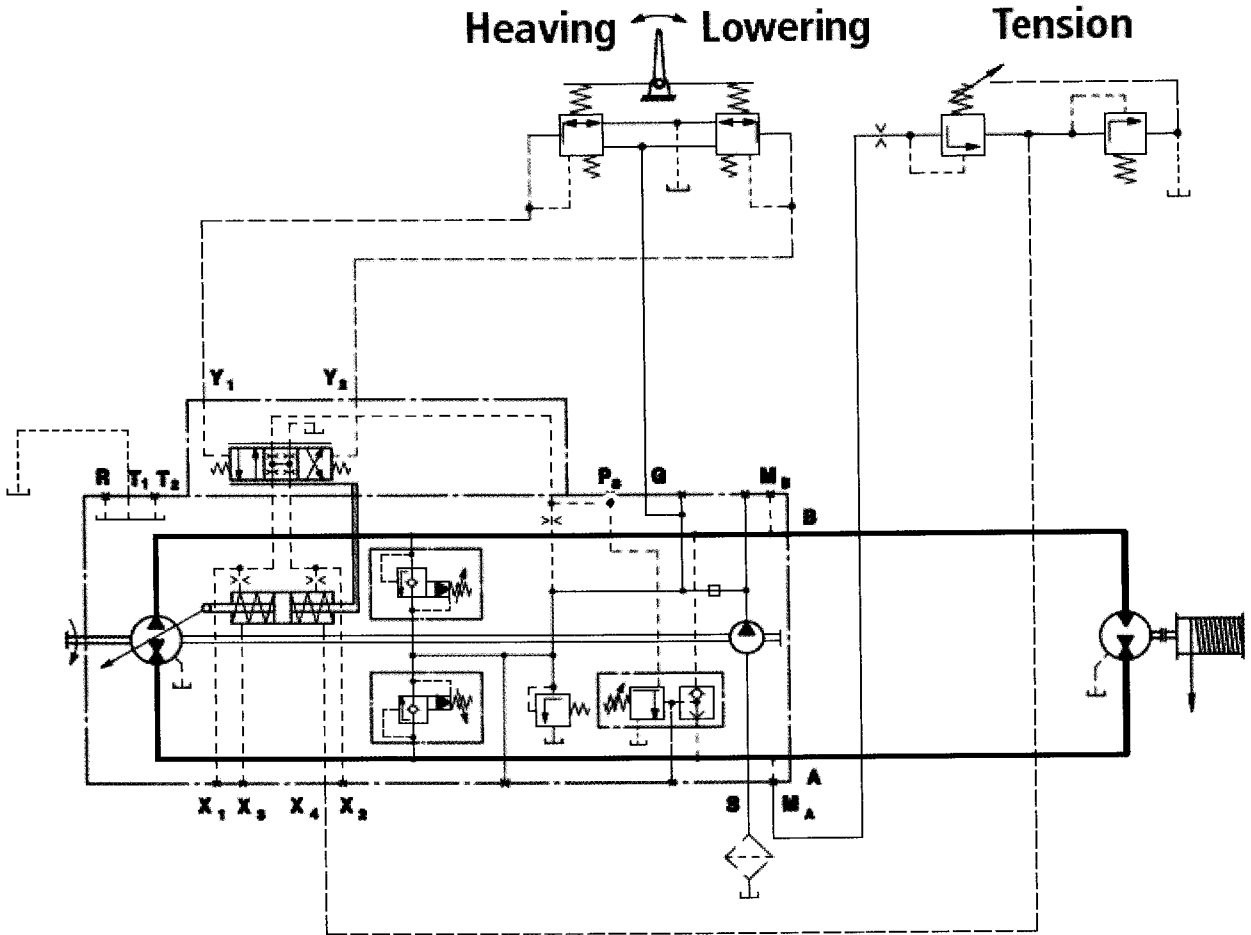


그림 6 독립 구동 - 상세 그림

이러한 콤팩트 윈치를 설치할 때는 조선소는 전동 윈치에 요구되는 것과 같은 동력용 전선과 제어선들을 설치하면 된다. 이러한 경우, 전동 윈치의 속도는 극수변화로 제어할 필요는 없으며, 유압 윈치에 의하여 연속적인 제어가 가능하다.

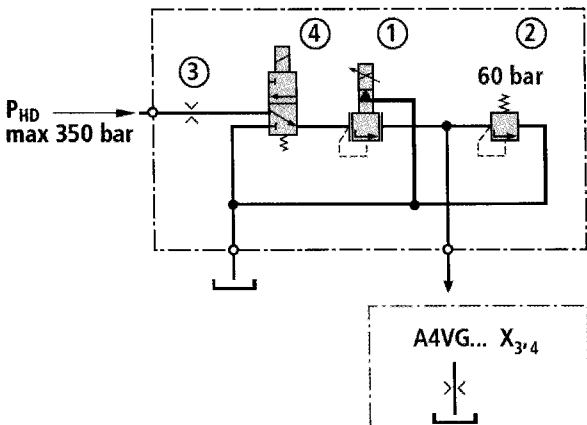


그림 7 장력 설정을 위한 밸브 배치

그림 6에 나타난 장력(tension) 설정용 밸브들의 구성 예를 그림 7에 나타내었다. 그림 7에는 방향 온-오프 역할을 하는 방향 변환 밸브 ④가 필요에 따라서 추가될 수 있음을 보였다.

그림 6에 나타낸 윈치에서 일정한 작동압력(flat mooring pressure) 곡선을 얻으려면 무어링 파일릿 밸브의 드레인 관로를 별도로 기름 탱크로 연결해야 한다.

그림 8에서 보는 바와 같이, 작동압력 P_B 는 윈치가 감기고 풀릴 때 일정하게 유지된다. 설정압력 P_{X4} 는 펌프 1회전당 용량에 따라 10~40bar로 조절이 된다. 중립상태에서는 펌프 제어용 실린더 내 스프링의 작용으로 센터링이 실현된다. 자동 작동 시에는 펌프 제어가 윈치를 감아 올리는 방향으로 고정되고, 그 값은 0~100%사이에서 설정 가능하다. 자동 작동 시에는 어떤 경우에도 자동 장력 제어 기능이 작동한다. 펌프의 압력 및 윈치의 장력이 감소할 때(예: 로프가 멈추어 섰을 때)에는 미리 설정된 감기는 속도로 다시 작동한다(그림 9 참조).

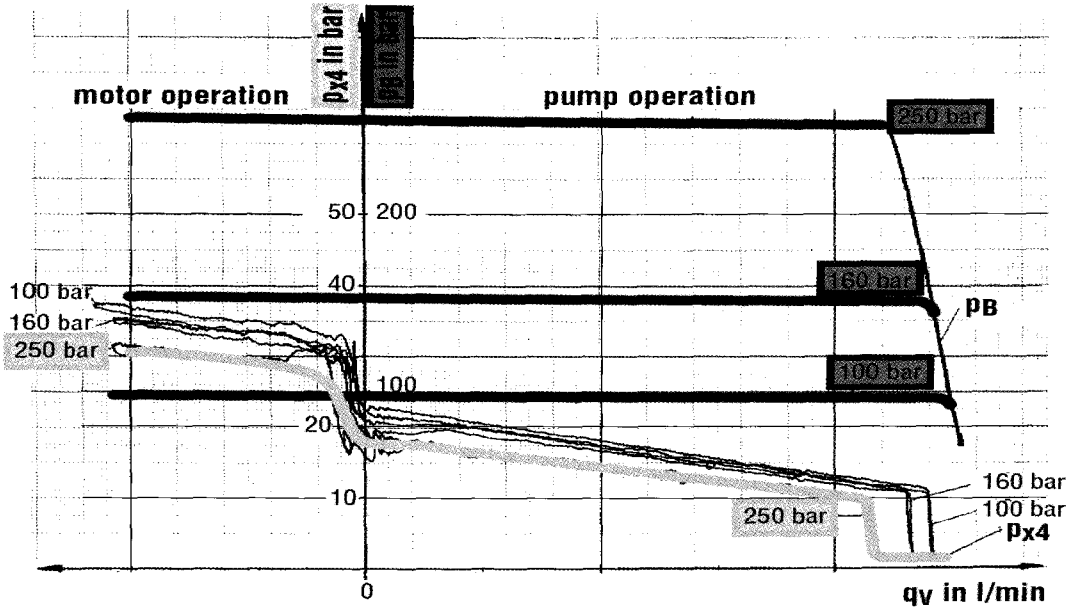


그림 8 자동 제어 기능에서의 압력 곡선

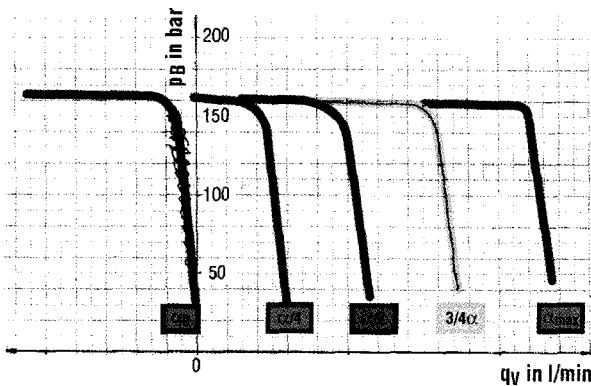


그림 9 감는 속도의 사전 설정

3. 중앙 집중식 구동(Central Hydraulic)

이 구동 방식은 일정한 펌프 압력을 기초로 설계되어 있다.

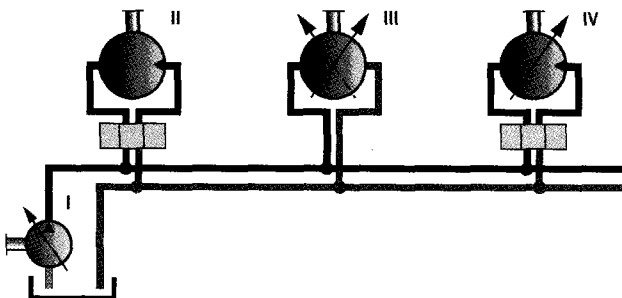


그림 10 중앙 집중식 구동 원리

■ 그림 10의 I: 파워 팩(Power pack)

압력은 중앙 집중식 펌프장치(Power Pack)에서 생성된다. 이 장치에서는 하나의 펌프로 여러 개의 각각 다른 윈치를 동시에 작동시킬 수 있다.

펌프 동력 장치의 용량은 각 윈치들의 용량을 합한 수치보다 작아질 수 있다. 그 이유는 여러 개의 윈치를 실제로 동시에 최대 출력으로 작동하지는 않을 것이기 때문이다.

■ 그림 10의 II: 일정 용량형 윈치

이 윈치의 속도, 토크, 회전 방향은 메인 라인의 압력 및 유량 그리고 전용 제어 밸브에 따라 제어된다.

■ 그림 10의 III: 가역·가변 용량형 윈치

이 윈치의 속도, 토크, 회전 방향은 (메인 라인의 유량으로 조절되지 않고) 단지 구동 모터의 1회전당 용량을 정·역방향으로 조절함으로써 제어된다. 이 방식의 제어를 제2차 제어(secondary control)라 부르며 그림 II을 참조하기 바란다.

■ 그림 10의 IV: II와 III의 혼합형 윈치

보쉬렉스로스사의 A6VM 모터를 적용한 것과 같이, 이 윈치는 메인 라인의 유량 조절 뿐만 아니라 모터 1회전당 용량을 조절하여 속도, 토크, 회전 방향을 제어한다.

일정한 압력하에서는 토크는 오직 모터 1회전당 용량의 조절에 따라 좌우된다. 그림 11에서와 같이 반대로 전환하면 토크의 작용방향이 반대로 변한다.

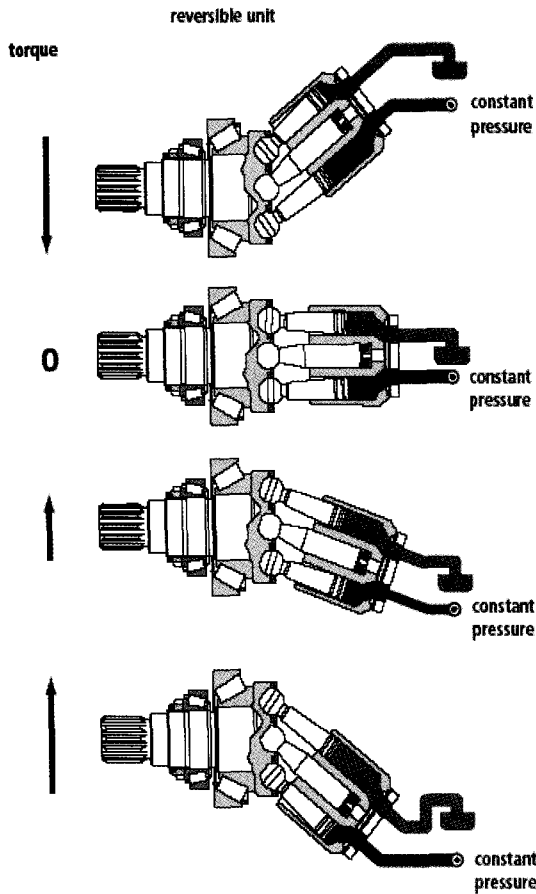


그림 11 제2차 제어의 원리

아래의 장치들은 동시에 작동시킬 필요가 없는 것들이다.

- 앵커 윈드라스(Anchor windlasses)
 - 카고 펌프(Cargo pumps)
 - 바우 스러스터(Bow thrusters)
 - 호스 취급용 크레인(Hose handling cranes)
- 또한 카고 펌프류 및 윈치류가 모두 동시에 작동되는 것은 아니다. 따라서 위의 윈치류들에는 중앙 집중식 유압 구동의 적용이 가능하다.

중앙집중식의 장점으로는,

제어의 측면에서는

- 신호선이 짧아진다.
- 제어의 응답성이 우수하다.

배관의 측면에서는

- 고압 관로, 저압(회귀) 관로 및 드레인 관로(분리시킬 필요가 있는 경우)가 각각 1개씩의 공통 관로로서 족하다

중앙 집중식의 단점으로는

- 윈치들 가운데서 가장 높은 압력을 필요로 하는 윈치의 요구 압력이 전체 시스템의 압력으로 고정된다.
- 다른 윈치가 부분 부하의 상태로 작동될 경우 압력 감소와 온도 상승의 요인이 발생된다.
- 밸브의 교축으로 속도제어를 하므로 에너지 손실이 크다.
- 재생적 제동(regenerative braking)이 불가능하며, 손실에너지는 항상 열로 변한다.

위의 단점들 가운데서 일부는 가변용량형 유압모터의 사용, 부하 감응형 시스템(이 경우, 매우 긴 제어용 관로가 필요할 수 있음)의 적용으로 부분적으로 개선할 수도 있을 것이다. Kordak박사(Rexroth사)와 Niklaus교수(Hamburg대학)의 연구에 따르면, 에너지 회복 기능을 갖는 제2차 제어(the secondary control)는 재생제동(regenerative braking)과 에너지 저장이 용이하게 하는 시스템이다.

중앙 집중식 구동형 윈치류의 예를 그림 12에서 살펴볼 수 있다.

4. 자동 장력 윈치 (Automatic Tension winch)

자동 구동은 항상 로프의 “뒤쫓음”(follow up)을

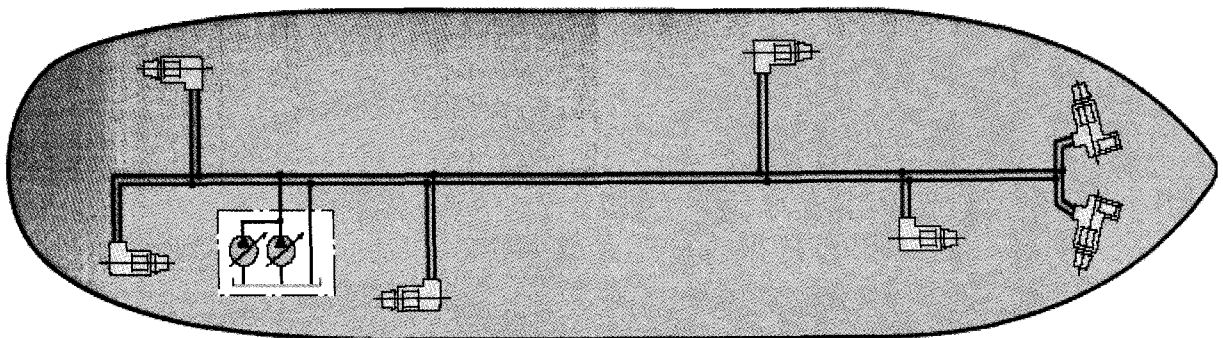


그림 12 중앙 집중식 윈치 구동 장치에 의한 윈치의 예

의미하고, 속도와 방향은 밀물과 썰물, 유압 구동, 윈치의 기계적 마찰 및 그 외 다른 외적 요인에 의해 결정된다. 그림 13을 통해 자동 구동의 일반적인 원리를 쉽게 이해할 수 있다.

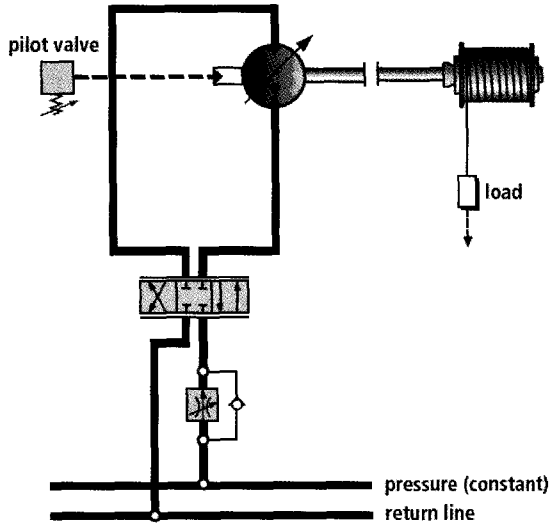


그림 13 자동윈치의 원리(간략화 회로)

감아올릴 때는 시스템 압력~작동 압력 사이의 압력 강하량 조절, 윈치를 풀어줄 때는 작동압력~회귀관로 압력(low press.) 사이의 압력 강하량 조절을 하면 된다(그림 14 참고).

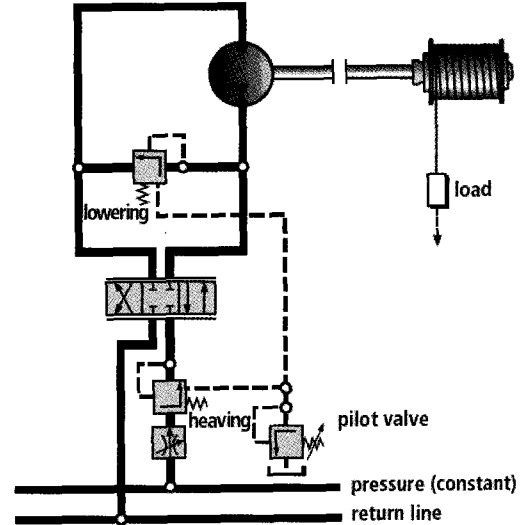


그림14 압력 조절로서 장력 제어가 가능한 자동윈치

일정한 위치 “감김(heaving)”은 자동 작동에 대응한다(그림 14 참조). 윈치의 장력(tension)은 설정된 시스템 압력과 유압 모터의 1회전당 용량에 따라 결정된다. 이 장력을 제어하려면 유압 장치의 압력이나 1회전당 용량의 조절이 가능하도록 설계되어야 한다(그림 15, 16 참조).

부분적 장력(partial tension)을 얻으려면, 윈치를

그림 16은 전자식 센서를 사용하여 피드백 제어를 수행하는 자동 장력 제어 윈치의 구성을 나타낸다. 정밀한 제어를 수행하려면 장력(tension), 드럼 토크를 별개로 정확하게 측정해야 하지만, 선박에서 허용되는 수준에서 적절한 타협이 적용될 수도 있다. 그리고 완벽한 설계를 위하여, 윈치와 센서 제작자 사이의 충분한 협의가 이루어져야 한다.

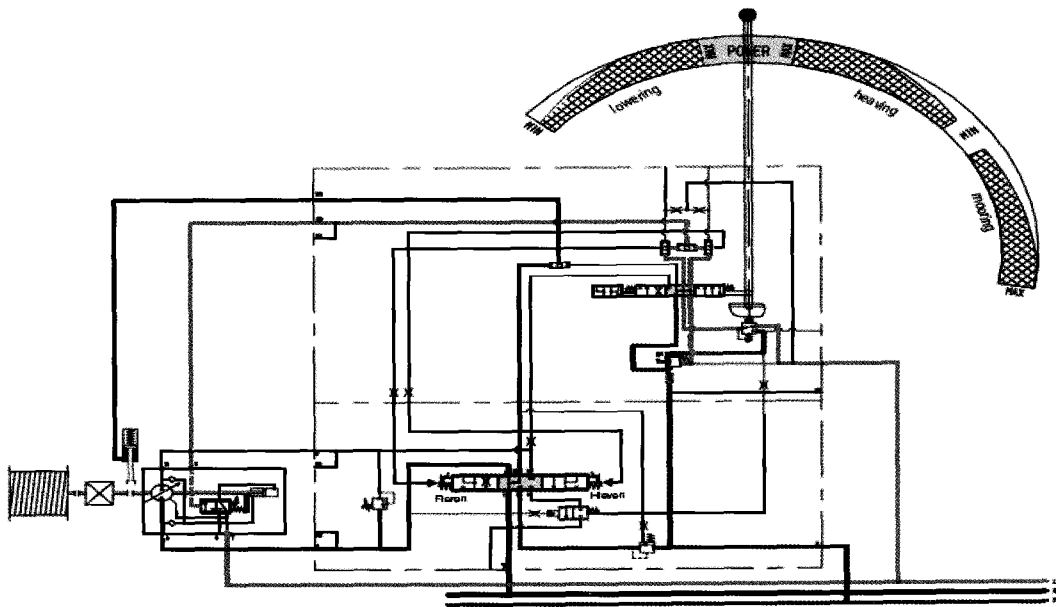


그림 15 유압모터 용량 조절에 의하여 장력 제어가 가능한 자동윈치

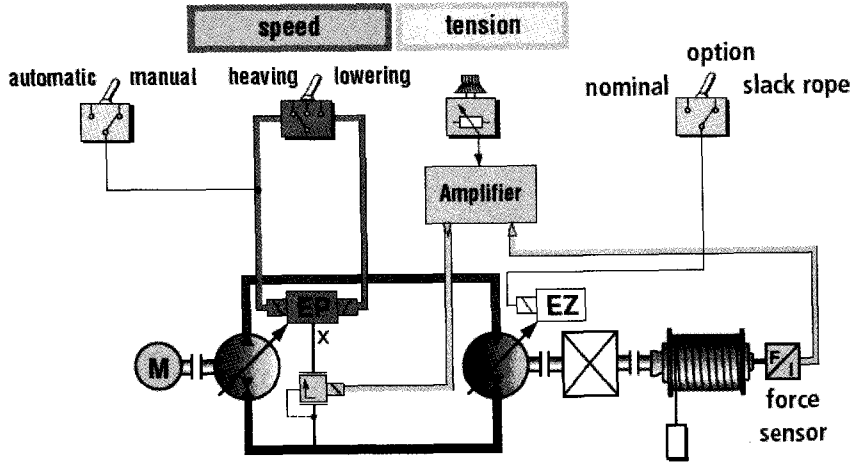


그림 16 전자식 센서로 장력을 계측/제어하는 윈치의 구성

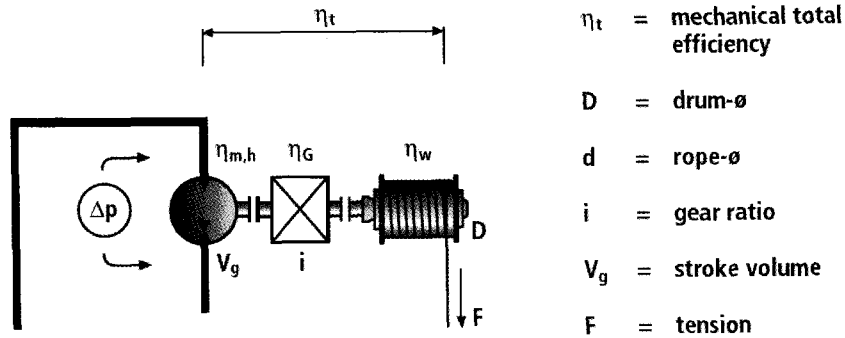


그림 17 윈치 설계 개념 설명을 위한 윈치계 구성도

5. 윈치의 기본 설계

윈치의 설계 개념 설명을 위한 유압 윈치 계 구성도를 그림 17에서 나타내었다(기호 설명은 그림 참조).

윈치에서 발생하는 장력(tension) F 는 다음 식으로 표시된다.

$$F = f(V_g, i, \theta, d, \Delta P) \quad (1)$$

손실에너지 무시했을 때의 장력 F_{th} 는

$$F_{th} = c \Delta P, \quad c = \text{constant} \quad (2)$$

부하를 인양(heaving)할 때, 즉 유압모터의 작용이 일어날 때의 장력 F_h 는

$$F_h = c \Delta P \cdot \eta_{t,h} \quad (3)$$

$$[= F_{th} \cdot \eta_{t,h}], \quad \text{즉 } F_h < F_{th}$$

부하를 강하(lowering)시킬 때, 즉 유압 펌프의

작용이 일어날 때의 장력 F_l 은

$$F_l \cdot \eta_{t,l} = c \Delta P \quad (4)$$

$$[F_l = c \Delta P / \eta_{t,l}], \quad \text{즉 } F_l > F_{th}$$

식(3) 및 (4)에서 F_{th} 를 소거하면 다음 식이 성립한다.

$$F_h / F_l = \eta_{t,h} \cdot \eta_{t,l} \quad (5)$$

여기서, $\eta_{t,h} = \eta_{t,l} = \eta_t$ 로 가정하면

$$F_h / F_l = \eta_t^2$$

예를 들어, 윈치의 용량 $F_l = 20$ ton인 자동 윈치의 기계 효율이 $\eta_t = 0.8$ 이라면, 유압모터가 로프의 장력으로 풀어지는 쪽으로 작동하기 시작할 때 로프에 작용하는 장력

$F_l = F_h / \eta_t^2 = 31.25$ ton, 즉 윈치가 풀어질 때의 힘은 31.25 ton이 되며, 윈치 각부의 강도는 31.25 ton 이상이 되도록 설계 되어야 한다.

그림 17의 윈치 작동 중에 '유압모터 토크 < 윈치 부하 토크'로 될 때, 즉 로프가 자동으로 풀릴 때에는 유압모터가 유압 펌프로 작동한다 이 때에는 저압측으로 기름이 자유로이 공급되어야 한다(그렇지 못하면 캐비테이션이 발생). 그러나, 선박에서는 대개 관로의 길이가 매우 길기 때문에, 개루프 관로계인 경우에는 자유로운 기름 공급의 실현이 곤란하다. 따라서 기름이 자유로이 공급되기 위한 별도의 조치가 필요하다.

[저자 소개]



천성한

E-mail : sunghan.chun@boschrexroth.co.kr
Tel : 051-260-0787
2001년 울산대학교 조선공학과 졸업, 현재
(주) 보쉬렉스로스코리아 선박 기술영업 대리

[저자 소개]



이동열(책임저자)

E-mail : dongreal.lee@boschrexroth.co.kr
Tel : 051-260-0759
1986년 동아대학교 기계공학과 졸업, 현재
(주) 보쉬렉스로스코리아 선박 기술 영업 팀장