

유압 시스템 에너지 절감시스템 적용 사례 Case Studies of Energy Saving in Industrial Hydraulic System

김성진 · 구영모
S. J. Kim and Y. M. Koo

1. 유압펌프 운전방법 개선에 의한 에너지 절감 사례

유압시스템에서 에너지 절감을 위하여 구성하는 회로방식에는 여러 가지가 있다. 가장 간단한 방법은 가변용량 펌프를 사용하는 것이고, 그 외에는 기본적으로 무부하 회로를 구성하는 것이다. 고압 저용량 펌프와 저압 대용량 펌프를 조합하여 시스템 회로를 구성하는 것도 잘 알려져 있는 방식이다. 즉, 실린더 동작시에는 양쪽 펌프가 동시에 유량을 공급하고 실린더 동작이 필요 없을 시에는 저압대용량 펌프의 유량은 무부하 밸브를 통하여 탱크로 복귀시키는 방식으로 에너지를 절감하는 것이다. 그 외에 보다 일반적인 방법으로서 주로 탱크용량이 큰 시스템에 적용되는 어큐뮬레이터와 압력 스위치를 조합하여 펌프를 부하/무부하 운전시키는 방식이 있다. 즉, 기본적인 유량은 어큐뮬레이터에서 공급하고 보다 많은 유량이 필요하여 시스템 압력이 저하되는 경우 압력 스위치 신호에 의해 펌프가 부하 운전됨으로써 어큐뮬레이터에 유량을 재충진하는 방식이다. 시스템의 압력정도에 따라 부하 운전되는 펌프의 수량을 지정할 수 있으므로 보다 효과적으로 에너지 절감을 할 수 있다.

1.1 기존 유압시스템의 사양 및 현황

포스코 광양제철소 열연공장 정정라인에는 열연공장에서 생산된 코일 중 평탄도 개선 등이 필요한 경우 SHL(Skin Pass Line)에서 재처리를 하게 되는데 여기에 사용되는 유압시스템이 고압 저용량 펌프와 저압대용량 펌프를 조합한 방식으로 구성되어 있다. 기본적인 회로구성 및 시스템 사양은 다음과 같다.

1.1.1 시스템의 사양

- 탱크: 6,000 ℓ (작동유: 광유계유압유)
- 펌프
 - 고압 소용량: 45.1 ℓ/m, 140 bar
 - 저압 대용량: 111.4 ℓ/m, 130 bar

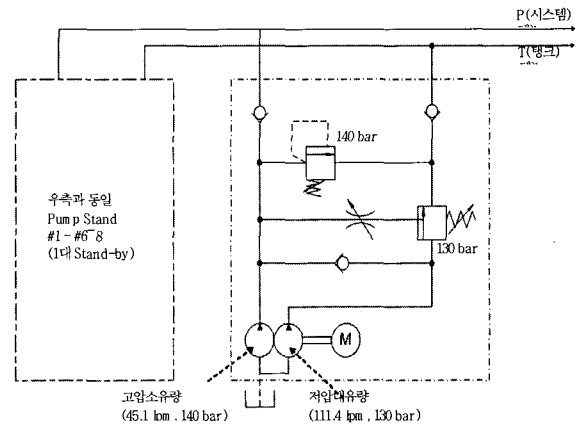


그림 1 열연 SHL 펌프 유닛 회로도

- 펌프가 조합된 타입(베인펌프): 총 7~9대, 6~8대 상시구동, 1대 스탠바이

1.1.2 운전특성

- 실린더 동작시: 두 펌프의 합친 유량이 실린더로 공급됨(통상 100~130 bar)
- 실린더 정지시: 시스템의 압력이 130 bar 이하면 저압 대용량은 무부하로 되고 (통상 5~20 bar), 고압 소용량은 릴리프 밸브(설정 압력140 bar)를 통해 탱크로 복귀됨

1.1.3 기존회로의 문제점

상기한 고압 소용량-저압 대용량 방식은 설비 건설초기부터 적용되어 온 방식으로 기본적으로는 무부하 회로를 구성하고 있으나 실제 운용해본 결과 여러 가지 문제점이 발생하였다. 주요 문제점을 요약하면 다음과 같다.

- 스탠바이 1대를 제외하고는 24시간 상시 구동하는 방식이나 실제 사용 패턴 분석 결과 7대가 풀가동되어야 하는 비율은 많지 않으며 나머지 시간은 작동유가 탱크로 바이패스 되고 있어 비효율적인 전력사용
- 고압 소용량 펌프는 24시간 고압을 유지해야 하므로 전력비가 낭비되며, 펌프수명이 저하되어

트러블 발생이 잦고(베인이 펌프 케이스에 소부되는 현상발생) 하절기 유온 상승 (60℃) 과다로 경보 빈번

대비하여 펌프 1대 당 4 kw/h 이상의 전력비 절감을 확인하였다.

1.2 시스템 개선 내용

기존 시스템을 어큐물레이터와 압력 스위치를 조합하여 펌프를 부하/무부하 운전하는 방식으로 변경하였다. 개선된 회로도도 다음과 같다.

1.3 결론

유압시스템에서 에너지를 절감할 수 있는 방법은 여러 가지가 있으며 상술한 방식도 하나가 될 수 있다.

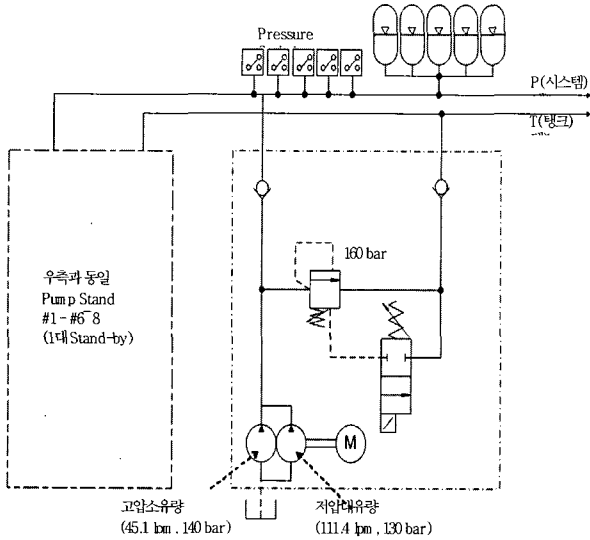


그림 2 SHL 개선 회로도

어큐물레이터의 경우 기존에 1대가 있었으나 시스템을 변경하면서 추가로 4대를 설치하였다. 목적은 시스템의 압력변동을 완화하여 안정적으로 유지하며, 펌프 2대를 상시 오프하여 전력비를 절감하기 위함이다. 개선된 시스템의 운전방안은 다음과 같다.

표 1 압력에 의한 펌프의 부하/무부하 운전

Pressure Switch	Action	비 고
#1	125 ~ 140 bar	Lead Pump
	#1,2 Pump OnLoad / Unload	
#2	120 ~ 135 bar	No.1 Lag Pump
	#3,4 Pump OnLoad / Unload	
#3	110 ~ 130 bar	No.2 Lag Pump
	#5,6 Pump OnLoad / Unload	
#4	100 ~ 125 bar	No.3 Lag Pump (Motor On/Off 제어)
	#7 Pump OnLoad / Unload	
#5	90 ~ 125 bar	No.4 Lag Pump (Motor On/Off 제어)
	#8 Pump OnLoad / Unload	

*펌프 1대는 Stand-By임

1.2.1 운전방안

표 1과 같이 유압 펌프의 부하/무부하는 압력 스위치와 연동되어 시스템의 압력에 따라 결정된다. 예를 들어 #1,2 펌프의 경우 #1 압력 스위치와 연동되어 시스템의 압력이 140 bar를 초과하면 무부하운전을 하게 되고, 압력이 125 bar 이하로 떨어지면 다시 부하운전을 하게 된다. 그리고 부하운전 횟수가 많지 않은 펌프 2대는 2대의 압력 스위치에 의해 모터 온/오프 제어를 하게 된다.

2. 압력부하해석을 통한 유압시스템 에너지 절감 사례

1.2.2 시스템 개선 상황

시스템을 개선한 후에 상황을 보면 기존 문제점이 모두 해결되었고 펌프 두 대를 상시 오프 함으로써 상당량의 전력을 절감하였고, 무부하시에도 기존과

그러나 부하상태를 무부하로 바꾸는 것만으로는 그리 큰 효과가 없으며 좀더 효과적인 방법은 모터를 직접 제어하는 것으로 판단된다. 사용조건이나 압력변동 패턴 분석 등에 의한 알고리즘과 VVVF를 조합하여 모터의 회전수를 제어하는 방식에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

복수의 펌프를 사용하여 시스템 압력의 구간에 따라 공급 유량을 조절하는 유압공급 시스템에 있어서, 언로드(unload)된 펌프도 항상 정상 속도로 회전시키기 때문에 무부하 운전 상태임에도 불구하고 펌프를 구동하는 모터 전력 소비가 부하 운전시의 30%까지 달하고 있다. 특히, 펌프들의 부하 운전 시간보다 무부하 대기 시간이 훨씬 길다면 대기 전력의 손실은 무시할 수 없는 비용이라고 할 수 있을 것이다. 이에 대한 해결 방안으로 언로드 된 펌프를 지속적으로 회전시키다가 부하 운전 시에만 정상속도로 동작시킨다면 그만큼의 전력 소비를 절감할 수

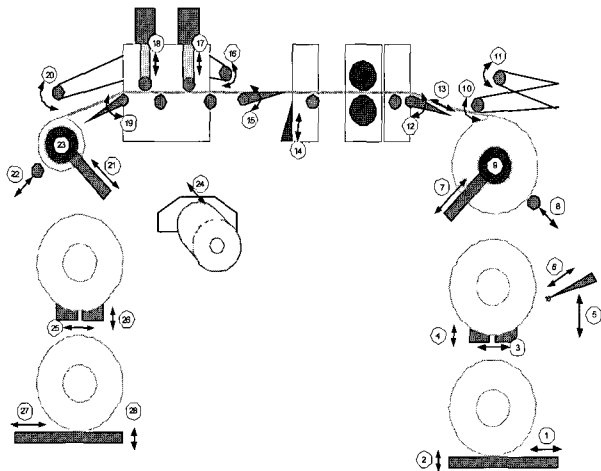
있을 것이다. 하지만 이 경우 언로드 된 펌프를 저속에서 정상속도로 가속하려면 약 5초 정도의 시간이 소요되고, 이 시간 지연 때문에 공급 유량이 보충되는 시간도 지연되어 원활한 작업이 어려워지는 문제가 발생 될 수 있다.

본 사례는 언로드 된 유압 펌프를 다시 로드시켜야 하는 시점을 시스템의 압력부하 해석을 통해 미리 파악하여 펌프 구동 모터를 정상 회전 속도까지 가속시키는 시간 지연을 보상해 주어 유압시스템의 안전성을 확보한 상태로 무부하시의 대기 전력을 획기적으로 절감한 사례에 대한 내용이다.

2.1 적용 대상 설비 현황

2.1.1 적용 대상 설비 공정

적용 대상 설비를 그림 3에 나타낸다. 이 설비의 유압 공급 시스템은 그림 4와 같이 리드(lead) 펌프



1	Entry coil conveyor traversing	15	Scrap table
2	Entry coil conveyor lifting	16	Knock down roll
3	Entry coil car traversing	17	Bending roll
4	Entry coil car lifting	18	Deflector roll
5	Coil opener upper table tilting	19	Delivery guide table
6	Coil opener upper table sliding	20	Tension reel guide roll
7	Pay-off reel out board bearing	21	Tension reel out board bearing
8	Pay-off reel snubber roll	22	Delivery snubber roll
9	Pay-off reel drum expansion	23	Tension reel drum expansion
10	Pay-off reel pressure roll	24	Tension reel stripper plate
11	Hole down roll	25	Delivery coil car traversing
12	Entry guide table tilting	26	Delivery coil car lifting
13	Entry guide table sliding	27	Delivery coil conveyor traversing
14	Up cut shear	28	Delivery coil conveyor lifting

그림 3 광양 1열연 recoil 설비의 구성도

3대와 래그(lag) 펌프 4대로 구성되어 각각의 펌프는 1200 rpm의 속도로 구동되며, 표 2에서 보는 바와 같이 4개의 압력 스위치의 신호에 의해 해당 언로드 밸브가 동작한다.

2.1.2 시스템 압력 변동 패턴 분석

Recoil 설비의 시스템 압력을 측정하여 패턴을 분석한 결과, 그림 5와 같이 작업구간을 recoil재 wind 작업, recoil재 이동 및 절단 작업, 그리고 작업소재 처리가 없는 대기 상태의 3가지 구간으로 나눌 수 있다.

Recoil재의 이동 및 절단 작업 시에는 압력이 약 10초 단위로 변하고, 또한 그림에서 표시된 부분과 같이 급격하게 압력이 저하되는 부분이 나타난다. 그리고 recoil재 wind 작업 시에는 약 1분 단위로 압력이 변하고 있으며, 대기 상태에서는 압력 변화가 약 2분단위로 나타남을 그림에서 볼 수 있다.

따라서 recoil재 이동 및 절단 시 구간을 제외하고, recoil재 wind 구간과 대기 상태에서 펌프의 언로드 속도를 제어하여 전력비의 절감이 가능한 것으로 나타났다.

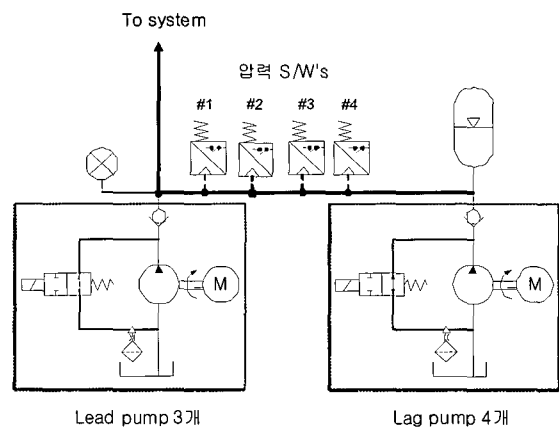
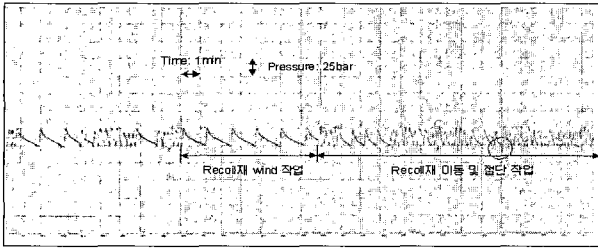


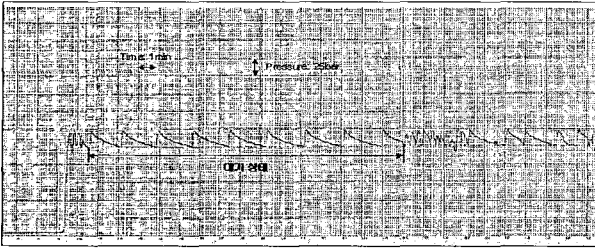
그림 4 유압 공급 시스템

표 2 펌프의 작동 압력 범위

Pressure switch	Action	비고
#1	125 140(bar)	Lead pump
	Onload Unload	
#2	120 135(bar)	Lag #1
	Onload Unload	
#3	110 130(bar)	Lag #2
	Onload Unload	
#4	100 125(bar)	Stand by
	Onload Unload	



(가) Recoil재 처리시의 압력 변동



(나) 작업소재가 없는 대기 상태의 압력 변동
그림 5 대상설비의 압력 변동

2.2.2 유압 에너지 절감 시스템의 구축

유압 에너지 절감시스템은 1열연의 HDL #2에 그림 7과 같이 래그 펌프에 설치되었으며, 에너지 절감 시스템은 인버터, 컨트롤 유닛, 시스템 부하신호로 구성된다.

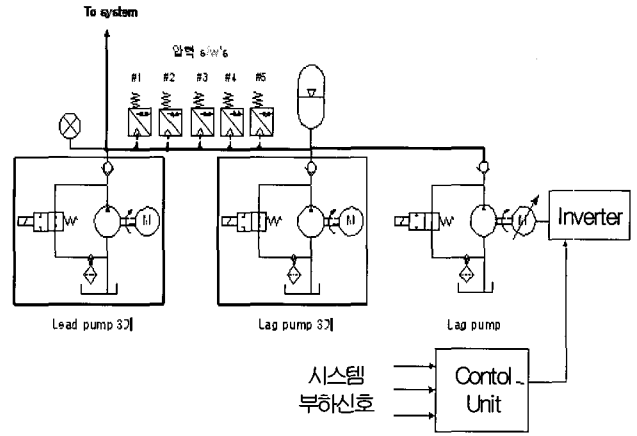
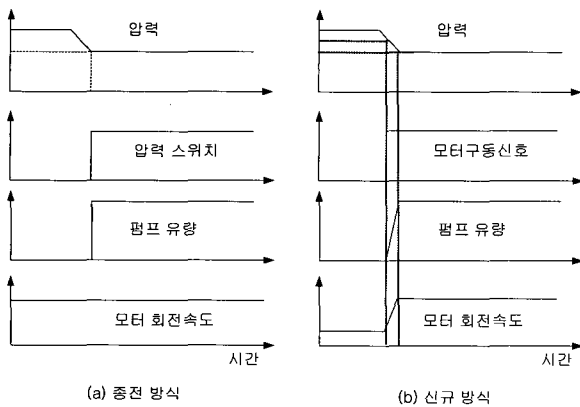


그림 7 유압 펌프 모터 에너지 절감시스템

2.2 압력부하해석 유압 에너지 절감시스템 적용

2.2.1 제어 알고리즘

펌프 구동 모터의 VVVF 제어를 통한 전력 절감기는 원활한 작업을 위해 그림 6과 같이 언로드 된 펌프가 로드 되기 전에 펌프 구동 모터의 속도를 저속에서 정상속도로 가속시켜 주는 신호를 인버터에 보낼 수 있어야 한다. 이를 위해 적절한 신호를 이용하여 펌프 구동 모터를 미리 저속에서 정상속도로 가속시킬 수 있어야 하며, 작업 구간을 구별하여 펌프의 로드 및 언로드 조건이 짧은 시간 내에 교차되는 경우에는 펌프 회전 속도를 그대로 유지하여 펌프를 보호해야 한다. 또한 압력 변화 주기가 짧은 구간에서는 중간단계의 회전속도로 낮추어 정상회전까지 걸리는 상승 시간을 줄일 수 있도록 제어 알고리즘이 구성 되었다.



(a) 종전 방식

(b) 신규 방식

그림 6 펌프 모터의 시간 지연 보상

2.3 압력부하 해석 유압시스템 에너지 절감시스템 적용 효과

대상 설비에 대한 펌프 모터 전력 절감기의 설치로 인한 전력 소비 형태는 그림 8과 같이 3 구간으로 구분 할 수 있다. 각각에 대한 전력 소비는 표 3과 같다.

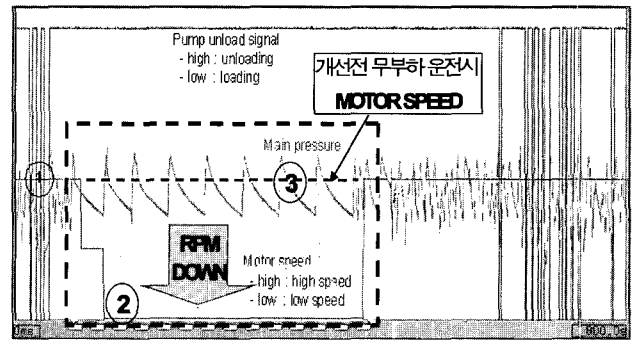


그림 8 펌프 모터의 운전 상태

표 3 개선 전후의 소비전력 비교

구간	펌프 운전	모터 속도	전압 (V)	전류 (A)	소비전력 (kW)
1	부하운전	100%	440	100	44
2	압력해석 무부하운전	20%	100	35	3.5
3	개선전 무부하 운전	100%	440	29	12.8

표 3에 나타난 바와 같이 압력부하해석을 통해 펌프 모터 소비전력을 73%의 절감 효과를 보이고 있다.

2.4 결론

본 사례의 압력부하해석을 통한 유압시스템 에너지 절감기의 확대 적용시 산업체 전력비의 획기적인 절감을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.



[저자 소개]

김성진(1장)

E-mail : mulybm@posco.co.kr

Tel: 061-790-6787

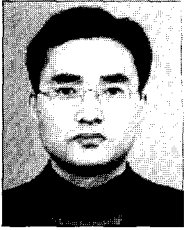
1969년 3월 8일생

1992년 포항공과대학 기계공학과

졸업, 1993년 포스코 입사, 1999년 미

국 오클라호마주립 대 기계공학 석사,

현재 포스코 광양제철소 유공압유회사
그룹 총괄



[저자 소개]

구영모(2장)

E-mail : young@poscotfs.com

Tel : 02-3412-4025

1967년 7월 17일생

1992년 동아대학교 기계공학과 졸업,

1992년 포스코(주) 입사, 1997년 포스코

광양제철소 유공압그룹 담당, 현재 TFS

Global 프로젝트사업부 부장

