

풍력발전기용 유압식 피치제어장치와 브레이크 Hydraulic Pitch Control device and Brake for Wind Turbines

이용범 · 이근호 · 남용운
Y. B. Lee and G. H. Lee, Y. Y. Nam

1. 서 론

현재 국내에서 설치되어 운영되고 있는 225~750 kW급 풍력발전기들의 피치(pitch)제어장치와 브레이크 장치는 유압시스템으로 구성되어 있다. 풍력발전기에서 양질의 전기를 최적(최대)으로 생산 하기 위해서는 블레이드(blade)의 각도를 조절하여 큰 양력을 받도록 피치제어(fine pitch position control)를 하여야 하고, 정비나 강풍 등으로 인하여 시스템을 정지하기 위해서는 양력이 발생되지 않도록 피치제어(furthering position control)를 하여야 한다.

유압식 피치제어장치는 블레이드의 회전체와 링크구조로 결합되고 실린더의 변위가 링크를 회전시키는 메커니즘으로 구성되어있으며, 유압실린더의 출력이 큰 토크를 발생시킬 수 있어, 발전을 위한 피치제어와 외부충격의 흡수 및 돌발적인 단전이 발생 하였을 때 축압기에 저장된 유체에너지에 의해서 대응제어를 할 수 있는 등의 장점이 있다.

또한 주축의 고정하기 위한 브레이크는 대형 Disc plate에 3~4개의 유압식 Caliper가 부착되는 콤팩트한 구조와 매우 높은 제동력을 갖는다.

본고에서는 국내에서 최초로 설치된 제주도의 행원 풍력단지에서 설치된 풍력발전기의 현황과 대표적 모델인 600 kW급 풍력발전기의 유압식 피치제어장치와 브레이크 장치의 원리와 작동회로에 대하여 정리하였다.

2. 풍력 발전기의 설치 현황 및 사양

2.1 풍력발전기의 설치 현황

풍력발전은 신재생에너지 중에서 가장 상업화에 앞서 있는 그린에너지원이며 급속한 시장 확대와 산업의 발전을 가져온 분야이다. 1990년대에 개발되어 설치 운용되고 있는 중대형 풍력발전기들은 약 15만대가 세계 여러 곳에서 상업발전을 하고 있으며, 최근 설치 환경이 육상에서 해상으로 변하면서 MW급 발전기가 상용화되는 추세에 있다.

그러나 국내에서 설치되어 운영되고 있는 발전기는 유럽에서 도입한 것으로 225 kW, 600 kW, 660 kW 및 750 kW급의 중소형 풍력발전기들이 많고, 이들의 피치(pitch)제어장치와 브레이크 장치는 유압시스템으로 구성되어 있다.

제주도행원풍력발전단지에는 표 1과 같이 203억 원을 들여 1998년부터 2003년 4월까지 총 15기의 풍력 발전기가 세워져 있으며, 1998년 8월에 600kW 풍력발전기 1·2호기의 상업운전을 시작으로 2003년까지 750 kW 5기, 660 kW 7기, 600 kW 2기, 225 kW급 1기 등 총용량 9.75 MW 규모의 풍력발전기가 가동되고 있다.

표 1 행원풍력발전단지 개요

사업명	풍력발전단지 실용화사업
위치	제주도 북제주군 구좌읍 행원리
공사기간	1997. 8 ~ 2003. 4
사업비	203억 원 (국비156억, 도비43억, 민자3억)
총 시설용량	9,750 kW (15기)
기종 및 기수	V27-225 kW(Vestas)×1기
	V42-600 kW(Vestas)×2기
	V47-660 kW(Vestas) × 7기
	NM 48/750 (NEG-Micon) × 5기

2.2 풍력발전기의 사양 및 특성

그림 2.1의 600 kW 풍력발전기는 설계기준이 기준풍속 42.5 m/s, 난류강도 0.18에 해당하는 Class IIA의 풍력터빈등급이며, 20년의 내구연한을 가지는 풍력발전기이다. 17 m/s의 정격풍속에서 600 kW의 정격출력을 가지며, 발전을 시작하는 시동풍속이 4 m/s, 강풍 시에 발전을 정지시키는 종단풍속이 25 m/s이다.

고 풍속에서 출력을 제어하는 방식은 블레이드의 피치각도를 조절하는 유압식 피치제어 방식이며, 전력을 생산하는 발전기는 비동기 발전기를 사용하고 있고, 60Hz 계통 주파수에 일치시키기 위하여 로터

와 발전기 사이에 증속기를 채택하고 있는 간접구동식(g geared type) 풍력발전기이다. 로터의 회전축이 바람의 방향과 평행한 수평축 풍력발전기이며, 바람으로부터 회전력을 얻는 블레이드의 개수는 3개이며, 로터 블레이드가 나셀의 전방에 있는 순방향(up-wind) 방식의 풍력발전기이다.

제 작 사	VESTAS (덴마크)	
모 델	V42-600 kW	
정격출력	600 kW	
풍력터빈 등급	Class IIA	
계통주파수	60 Hz	
발 전 기	3상 비동기발전기	
출력제어	유압식 피치제어	
브레이크	유압식 Caliper disc	
정격풍속	17 m/s	
시동풍속	4 m/s	
중단풍속	25 m/s	
로터직경	42 m	
증속기	1 : 60.7	
타 위	강재 원통형	
허브 높이	45 m	

그림 2.1 풍력발전기의 주요 제원

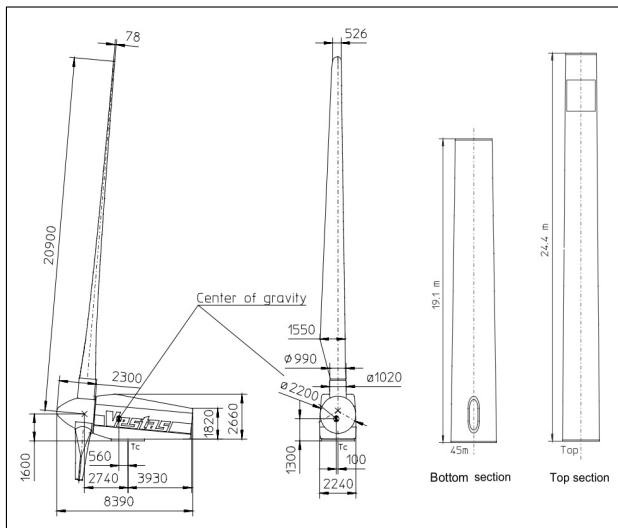


그림 2.2 풍력발전기의 외형 치수

표 2와 같이 이 풍력발전기의 타워는 상부와 하부 단면이 각각 15.7 ton과 17.3 ton이고, 총 중량은 33 ton이며, 블레이드 1개의 무게는 1.1 ton이고, 3개의 블레이드와 허브를 포함한 로터의 무게는 8.5 ton이며, 발전기의 무게는 3.245 ton이다. 블레이드

를 포함한 나셀의 총 중량은 약 17.9~20.6 ton 정도이다. 그림 2.3과 2.4와 같이 프로펠러 형 수평축 풍력발전기로 블레이드의 회전력이 로터 주축을 통하여 전달되고, 저속의 회전이 기어를 통하여 증속기에서 고속으로 변환되어 발전기의 회전자로 전달되는 구조이다.

표 2 풍력발전기의 주요 구성품의 무게

구 성 품	무 게
블레이드	1.1 ton
발전기	3.245 ton
로터(블레이드+허브)	8.5 ton
나셀(블레이드 포함)	17.9~20.6 ton
타워	33 ton

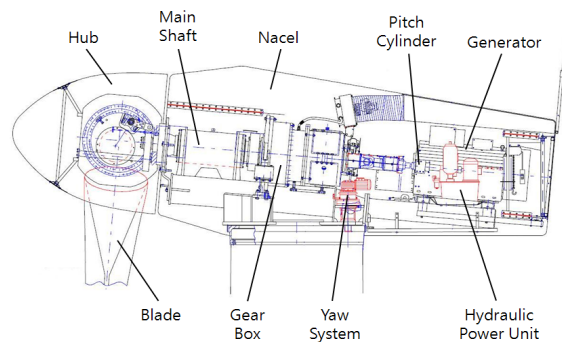


그림 2.3 풍력발전기의 내부 구조(측면도)

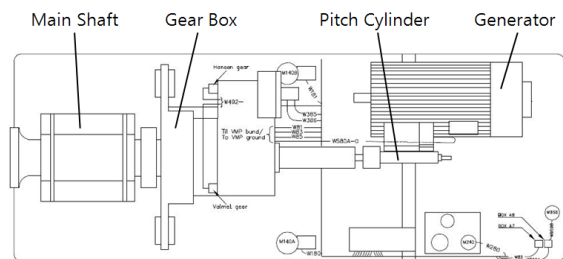


그림 2.4 풍력발전기의 내부 구조(평면도)

2.3 풍력발전기의 유압식 피치제어 시스템

풍력발전기의 출력을 제어하는 방식은 블레이드의 피치각도를 조절하는 피치제어 방식이다. 피치각도를 조절하는 방법은 유압실린더를 사용한 링크 방식이며, 3개의 블레이드 피치각도가 동시에 조절된다.

그림 2.5와 같이 유압실린더내의 피스톤이 전진하면 블레이드가 시계방향으로 회전하여 페더링 상태가 된다. 반대로 피스톤이 후진하면 블레이드는 반시계방향으로 회전하여 운전상태가 된다.

그림 2.6과 같이 피스톤의 최대로 전진할 때 블레이드의 피치각도는 88°로서 블레이드가 양력을 받지 않는 페더링(feathering) 상태가 된다. 또한 그림 2.7과 같이 피스톤이 후진하여 우측 끝에 위치할 때 블레이드의 피치각도는 -5°로서 블레이드의 앞전(leading edge)이 바람이 불어오는 방향과 반대되어 최대 양력을 받게 된다.

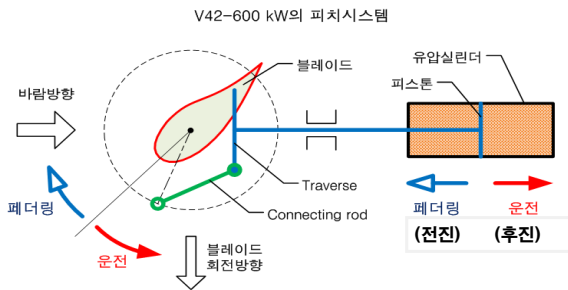


그림 2.5 유압식 피치시스템의 작동도

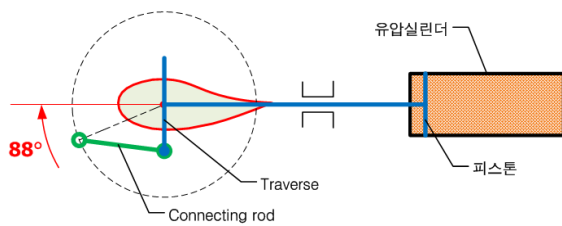


그림 2.6 피치시스템의 페더링 상태

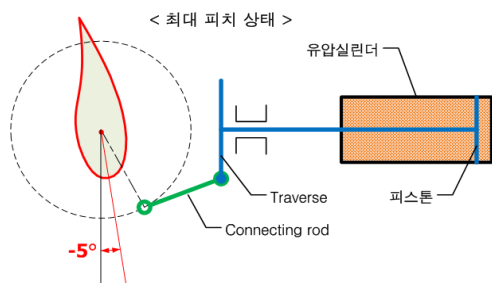


그림 2.7 피치시스템의 최대 피치 상태

2.4 피치제어 시스템의 유압회로 및 동작설명

본 풍력 발전기는 그림 2.8과 같이 구성된 유압시스템에 의하여 피치 제어를 한다. 유압펌프(2)가 작동하여 토출된 고압의 유량이 체크밸브(4)와 방향제어밸브(7) 그리고 파일럿체크밸브(16)를 통과해서 피치실린더(25) 헤드부분에 공급된다. 이때 피치실린더로드부에 있던 오일은 방향제어밸브(15)를 통과해서 탱크(1)로 귀환된다.

이와 같은 상태의 유압회로 제어는 피치실린더를

최대 행정거리까지 전진하게 하고, 이위치를 블레이드(blade)가 양력을 거의 받지 않는 공학적 브레이크 상태인 Feathering position 이라고 한다.

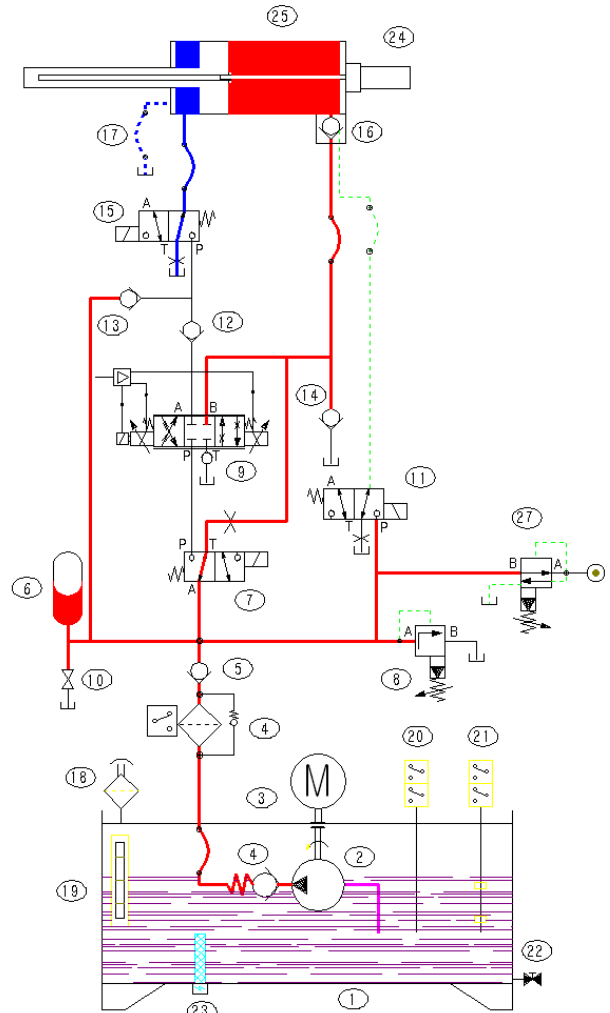


그림 2.8 페더링제어의 유압회로도

풍력발전기의 블레이드가 양력을 받아 회전을 시작하기 위해서는 그림 2.9와 같이 피치실린더가 최대로 전진한 Feathering position에서 후진을 하여야 한다. 유압펌프(2)에서 토출된 고압의 유량이 체크밸브(4)와 방향제어밸브(7)의 솔레노이드가 여자(energized)되어 A-Port에서 P-Port로 연결되고, 고압의 유량은 비례제어밸브(9)에 의해 P-Port에서 B-Port로 공급하고 방향제어밸브(15)의 솔레노이드가 여자 되어 P-Port에서 A-Port로 공급된 오일이 피치실린더(25)의 로드부에 공급된다.

또한 피치실린더(25) 헤드부의 오일은 방향제어밸브(11)의 솔레노이드가 여자 되어 P-Port에서 A-Port로 공급된 오일이 파일럿체크밸브(16)를 열

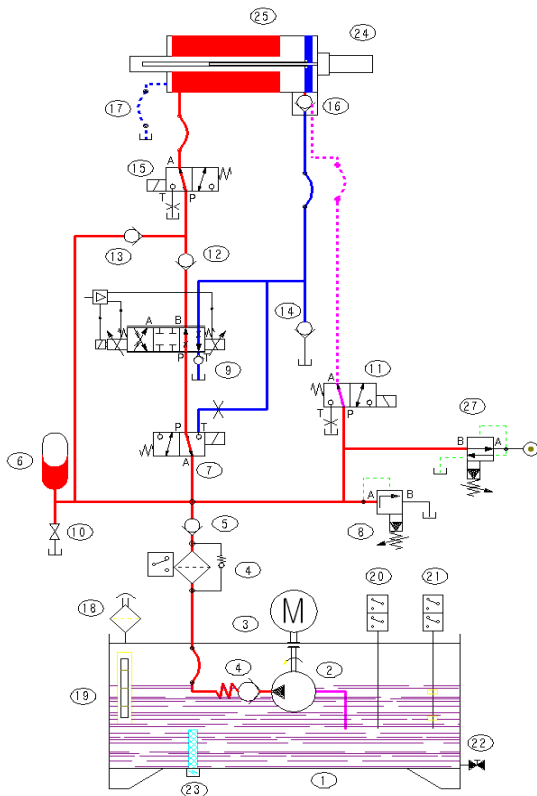


Fig. 2.9 피치제어의 유압회로도

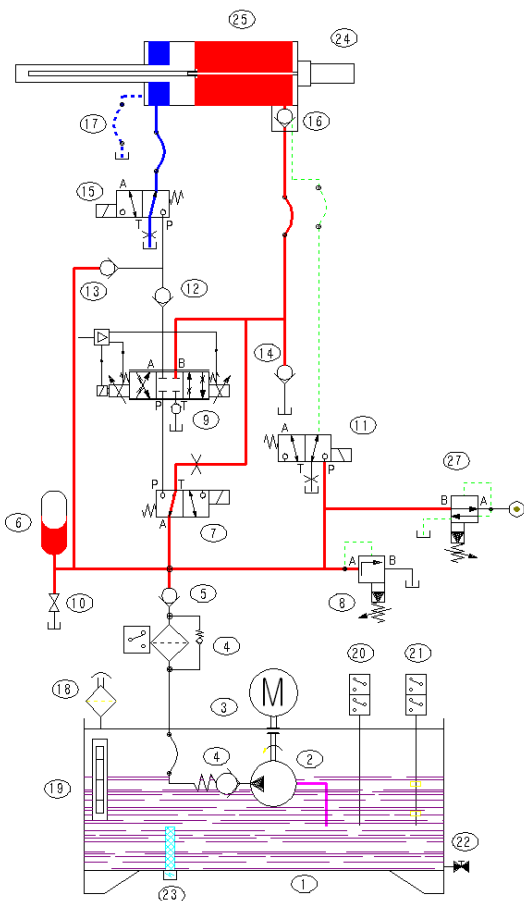


Fig. 2.10 비상정지제어의 유압회로도

어 역류가 가능하도록 한다. 이때 오일은 비례제어 밸브(9) T-port를 통과하고, 배압이 약 1bar인 체크 밸브 통해서 탱크로 귀환한다. 피치실린더(25)가 최대로 후진한 상태가 Pitch fine position이다.

돌발적인 사태로 정전이 발생하여서 펌프가 구동되지 못할 경우는 그림. 10과 같이 고압(180 bar)의 축압기(6)에 충전된 오일이 방향제어밸브(7)과 파일럿체크밸브(16)를 통과해서 피치실린더(25) 헤드부분에 유압유가 공급되어 Feathering position이 되는데 이때 발전을 위해 피치실린더(25) 로드부분에 공급되었던 오일은 방향제어밸브(15)를 통해서 오일 탱크로 귀환된다.

특히 피치실린더 헤드부에 매니폴드 형태로 조립된 파일럿체크밸브(16)가 역류를 방지하기 때문에 피치실린더의 헤드부에 있는 오일은 충전된 상태가 유지된다.

태풍이나 돌풍 등으로 풍속이 적정속도(25 m/s)를 초과하게 될 경우 풍력발전기의 보호해야 할 경우와 정비나 점검을 할 때 Feathering position 으로 유압제어가 필요하다.

2.5. 디스크 브레이크의 유압회로 및 동작설명

풍력발전기의 주축을 고정하기 위한 브레이크는 대형 Disc plate에 3~4개의 유압식 Caliper가 부착 것으로서 콤팩트한 구조로서 매우 큰 제동력을 발생된다. 이는 캘리퍼에 내장된 유압피스톤, 디스크, 마찰패드, 유압배관 등으로 구성되며, 유압이 공급되어 피스톤을 전진시킴으로서 브레이크 마찰패드를 디스크에 강하게 접촉함으로써 제동력이 발생된다.

1) 풍력발전기 브레이크의 유압회로

풍력발전기 브레이크의 Fig. 11과 같이 유압회로 구성은 피치제어 시스템의 고압(180~165 bar)회로에서 감압밸브(pressure reducing valve)를 사용하여 약 18.5 bar로 압력을 낮춰 사용한다. 브레이크가 제동을 할 때는 감압밸브(27)를 통과한 유량은 체크 밸브(30)를 통과하여 저압 축압기(31)에 충전되고 체크밸브(33)와 방향제어밸브(35) 통과해서 Caliper 피스톤(37)에 공급되어 피스톤이 마찰패드를 디스크(38)에 강하게 접촉함으로써 제동된다.

또한 풍력발전기가 회전하기 위해서는 브레이크가 해제(release)되어야 하는데, 이때 방향제어밸브(35)를 여자(energized)시켜서 캘리퍼 내부의 유압 피스톤에 있는 압축 오일을 탱크로 귀환 시킴으로써 가능하게 된다.

이 디스크브레이크 시스템 또한 안전장치로 회로가 구성되어 있으며, 예기치 못한 정전이 발생하여서 펌프가 구동되지 못할 경우는 피치제어 측 고압 축압기(6)와 브레이크제어 측 저압 축압기(31)의 압축오일이 방향제어밸브(35)를 통과하여 캘리퍼에 공급되어 큰 제동력 발생한다.

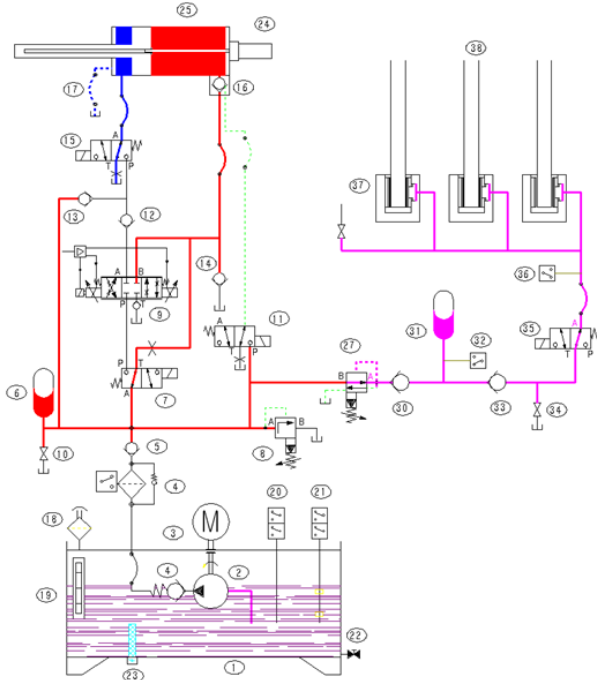


Fig. 2.10 비상정지 브레이크제어 유압회로

2) 디스크 브레이크의 제동력 및 토크

디스크 브레이크는 회전하는 디스크를 유압에 의하여 작동하는 마찰 패드를 양쪽에서 압착하여 마찰력으로 제동하는 것으로서 브레이크의 작동은 약 18.5 bar의 압축된 유체가 caliper내의 유압실린더에

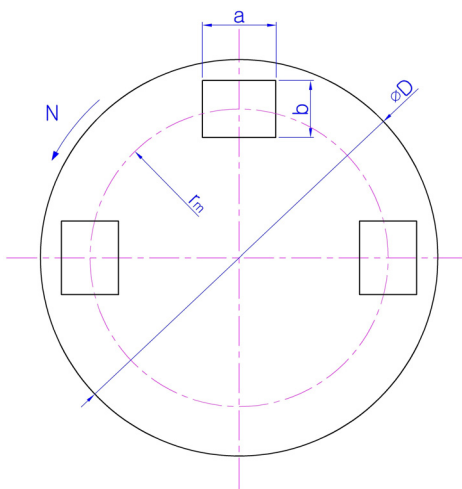


그림 2.10 디스크 브레이크의 layout

공급되면 피스톤은 전진하면서 그 힘이 마찰패드를 가압한다.

이 발전기의 브레이크는 caliper가 1개의 피스톤을 가지고 있고 제동 시에 유압이 작용되면 피스톤이 패드를 압착하고 그 반력으로 caliper 전체가 좌우로 움직여 반대쪽의 패드도 동일한 힘으로 디스크에 압착되며 다음과 같은 제동력이 발생된다.

1) 브레이크의 제동력 (F : frictional force)

$$F = \mu W = \mu F_p$$

2) 제동토크 (T : braking torque)

$$T = \mu F_p r_m = F \cdot r_m$$

여기서,

W : Piston Force

μ : Coefficient of friction

r_m : Disc effective radius

3. 맺음말

유럽의 중소형 풍력발전기에서는 유압을 널리 사용하고 있었으나, 최근 MW급으로 대형화 되면서 제어가 용이한 전기모터에 큰 감속비를 갖는 유성기어박스를 부착하는 전기구동식이 우위를 점하고 있다. 특히 국내에서 개발진행하고 있는 풍력발전기는 모두 전기식을 채택하고 있다.

그러나 출력밀도가 높고 큰 관성에서 정역 회전이 빠르고 진동 충격흡수가 용이하며, 특히 축압기(accumulator)를 이용하여 유체에너지를 공급함으로써 비상정지기능이 우수한 유압제어가 다시 채용될 것으로 판단된다.

이와 같은 현상은 항공기의 양력을 제어하기 위한 Blade 조작이 유압서보액추에이터에 의해서 지속적으로 이루어지고 있으며, 화력 및 원자력 발전소의 스팀제어와 비상정지 회로에서 또한 유압회로가 필수적으로 사용되고 있다.

따라서 풍력발전기용 고기능 고 신뢰성 유압기기 개발 및 유압시스템의 설계개발이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1) Hwang. B. S et al., "An Understanding of Advanced Wind Turbines", A Jin, pp. 107~249, 2009.
 2) Hong. J. P, "Fundamentals of Machine

- Component Design”, Fifth Edition, Bookshill,, pp. 511~542, 2007.
- 3) James A. Sullivan, "Fluid Power", Third Edition, Prentice-Hall, pp.181~251, 1989.
 - 4) John M. Alexander et al, "Basic Lubrication Theory", Third Edition, Ellis Horwood, pp. 167~190, 1981.
 - 5) Jaroslav Ivantysyn and Monika Ivantysynova, "Hydrostatic Pumps and Motor", First English Edition, Alademia Books International, pp. 117~163, 2001.
 - 6) A.B. Goodwin, "Fluid Power Systems (Theory, worked examples and problems)", Macmillan, First Edition, pp. 38~77, 1976.

[저자 소개]



이 용 범(책임저자)
 E-mail : lyb662@kimm.re.kr
 Tel : 042-868-7151
 1959년 4월 3일생.
 2006년 충남대학교 대학원 열유체 전공 박사. 2008년 충남대학교 대학원 겸임교수 재직 중. 1987년 한국기계연구원 입사, 현재 유압기기 및 시스템 설계, 신뢰성 분야 연구.

뢰성 분야 연구.



이 근 호
 E-mail : ghlee762@kimm.re.kr
 Tel : 042-868-7161
 1961년 3월 15일생.
 1997년 University of Connecticut 기계공학과 전공 박사. 동년 한국기계 입사, 현재 풍력발전 및 건설기계 동력전달장치분야 연구 유공압시스템학회, 한국정밀기계학회 등의 회원.



남 용 운
 E-mail : yynam@kimm.re.kr
 Tel : 042-868-7413
 1956년 3월 19일생.
 1994년 부산대 대학원 조선공학 전공 박사. 1987년 한국기계연구원 입사. 현재 구조안전, 풍력발전분야 연구. 한국해양학회, 풍력학회등의 회원.