

풍력발전기 유지보수로봇을 위한 표면 적응 이동 시스템

A Surface Adaptive Moving Mechanism for Wind Turbine Blade Maintenance Robot

김병곤¹, 박소라¹, 전민석¹, 전경태¹, 홍대희^{2,✉}
Byunggon Kim¹, Sora Park¹, Minsoek Jun¹, Kyungtae Jun¹, and Daehie Hong^{2,✉}

¹ 고려대학교 기계공학과 대학원 (Graduate School of Department of Mechanical Engineering, Korea Univ.)

² 고려대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Korea Univ.)

✉ Corresponding author: dhong@korea.ac.kr, Tel: +82-2-3290-3369

Manuscript received: 2013.3.14 / Revised: 2013.8.12 / Accepted: 2013.8.18

As energy shortage is getting more serious, wind energy source is more promoted around the world. Blade is a key component of wind turbine. Local breakages and/or contamination in the blade bring degradation in aerodynamic efficiency and life-time. However, it is not easy and even dangerous for human workers to access the blade for inspection and maintenance since its size is huge and located at high mountains and rough sea, which are windy places. This paper deals with a novel moving mechanism that efficiently carries human workers or robots to the wind turbine blade. The proposed mechanism utilizes flexible tube with pressurized air that rolls and climbs over the blade surface. So, the tube naturally adapts the changing surface of the blade and acts no harm to it. This paper discusses about its concept, detail design, and advantages. The feasibility of the proposed mechanism is proved through experiments prototype.

Key Words: Wind Turbine (풍력 발전기), Rotor Blade (회전 날개), Surface Adaptive (표면적응), Moving Mechanism (이동 장치), Maintenance robot (유지 보수 로봇)

1. 서론

자원의 고갈과 환경의 오염이 증가함에 따라 태양력, 풍력, 수력과 같은 신재생 에너지의 개발 필요성이 증대되고 있다.¹ 그 중에서도 풍력 발전기는 다른 신재생 에너지에 비해 설치 비용은 높은 편이나, 환경 보호와 에너지 효율 면에서 높은 개발 가치를 지니고 있다. 전 세계적으로 풍력 발전기의 설치는 지속적으로 이루어 지고 있고, 그 규모 또한 대형화 되고 있다. 5MW 급 이상의 대형 풍력발전기의 경우에는 나셀(Nacelle)의 높이가 100 m 정도이고 블레이드의 길이는 70 m 정도이다. Fig. 1은 일반적인 5MW 급 풍력발전기의 부분 명칭과 규모를 나타낸다. 이러한 대형 풍력발전기는

안전성과 일정한 풍력을 제공받기 위해 해상에 설치되는 추세이다. 국내에서도 미래의 전력 공급과 환경문제 등을 고려하여 서남 해안권에 5GW 급 대형 풍력단지 조성할 것으로 계획하고 있다.²

풍력발전기가 대형화 되고 해상에 건설됨으로 인해 필연적으로 유지 보수의 어려움이 뒤따른다. 현재까지 풍력발전기 블레이드의 유지 보수 작업은 인력에 의존하고 있는데, 해상에서 적용하기에는 인명피해의 위험성이 크고 경제적으로 비효율적이다. 이러한 이유로 국내, 국외에서 풍력발전기 용 유지보수 자동화 로봇의 필요성이 대두되고 있다.³ 로봇 또는 작업자를 해수면 에서 블레이드 하단까지 도달시키는 동시에 블레이드를 따라 상단으로 이송시키기 위한 방안으로 풍력발전기 나셀



Fig. 1 Wind turbine



Fig. 2 Hemosu, A metrological observation tower

에 와이어를 걸어 윈치를 이용하는 방법이 현재까지는 거의 유일하다.⁴ 그러나 이 방법은 작업자가 와이어를 설치하기 위해 풍력발전기 상단으로 올라가야 하는 시간적 손실이 있고, 와이어에 매달린 로봇의 진자 운동량을 블레이드가 모두 받게 되는 구조이다. 본 논문은 이러한 풍력발전기용 유지보수 로봇의 개발과 관련하여, 와이어를 이용한 방법의 단점을 극복하고, 로봇을 해수면부터 블레이드 상단까지 이송해줄 새로운 방식을 제안한다. SAMM (Surface Adaptive Moving Mechanism) 으로 명명한 이 이송방식은 하단에서 직접 힘을 가하여 밀어 올린다는 점에서 여타 와이어를 이용해 끌어올리는 방식과 큰 차이점을 갖는다.

본 논문은 튜브를 이용한 이송방식의 실현성과 정량적 제어 가능성을 증명하기 위한 실험 내용을 담고 있다. 2장에서 해양 풍력발전단지에 대한 분

석과 설계 환경을 정의하고 개념설계에 대한 내용을 보인다. 3장에서는 SAMM의 자세한 구조와 상세설계를 다룬다. 4장에서는 SAMM의 세가지 시제품에 대해 서술하고 회수공급장치의 성능실험결과를 보인다.

2. 설계 환경조건 정의

2.1 설계 환경

2.1.1 대형 블레이드 작업 환경

풍력발전기는 설치 후 에너지 생산에 소모되는 비용은 적으나, 발전기 자체의 설치비용과 교체 비용이 매우 높은 발전방식이다. 그렇기 때문에 풍력발전기의 경우 무리한 가동을 최소화 하고 고장이 나지 않도록 유지, 보수하는 것이 중요하다. 풍력발전기의 주요 부품 중에서 블레이드는 매우 핵심적인 요소로 발전기의 에너지 효율에 큰 영향을 주며, 빠른 속도로 회전하며 강한 풍력 하중을 받게 된다.⁵ 세 개의 블레이드 중 하나라도 파손 또는 변형이 발생할 시, 회전 밸런스가 무너져 나셀에 위치하는 기어박스과 발전기까지 고장이 나는 원인이 된다. 그러므로 풍력발전기의 블레이드는 고장이 발생하기 전에 주기적인 관리가 필요하다.

국내 서남 해안권에 설치될 예정인 5MW 급 풍력발전기는 나셀까지의 높이가 100 m 정도이고, 70 m 의 길이와 최대 폭이 6 m 인 초대형 블레이드가 설치된다. 또한 해수면에서 블레이드 하단까지의 높이가 30 m 이고 최대 높이가 170 m 에 이르는 초대형 풍력발전기 이다.

2.1.2 해상 풍력단지 작업 환경

해상 풍력단지 지역은 육지나 국내 다른 해상 지역보다 비교적 빠르고 일정한 풍속을 보이는 지역이다.⁶ 해상 풍력단지의 한 예로 국내 서남 해안권 풍력 개발 단지를 들 수 있다. Fig. 2는 서남 해안권 해상풍력단지의 기상타워 해모수의 모습이다. 현장 작업자에 의하면 일반적으로 풍력발전기는 7 m/s 정도의 풍속에서 안정적인 운행이 가능하고 풍속이 너무 빠르거나 느릴 때는 운행이 중지된다. 80 m 높이에서 측정된 서남 해안권의 연간 평균 풍속은 7.1 m/s 로 풍력발전기를 운행하는 데 최적의 기후이나, 유지 보수 작업을 수행하는 데는 위험한 환경으로 발전기 운행시기에는 높은 파고로 인해 유지 보수를 위한 접근이 불가능하다. 블레이드 유지 보수 작업은 풍속이 낮아 운행이 중지

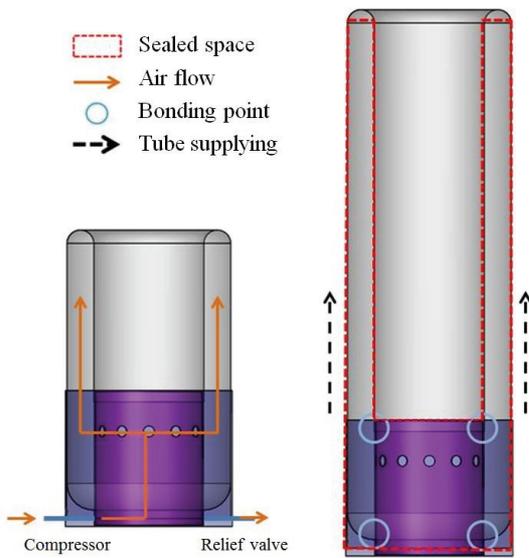


Fig. 3 Conceptual design of SAMM

되는 시기에 수행하게 될 것으로 예상되며, 선박 운행이 가능한 시기에도 평균 파고는 1 m 정도이다. 충분히 선박이 흔들릴 수 있는 환경이기 때문에 파도에 의한 선박의 진동 또한 고려하였다.

2.2 개념 설계

앞서 풍력 발전기의 유지 보수 로봇을 해수면으로부터 블레이드에 접근 시키고 블레이드 하단에서 상단까지 이송시키기 위한 작업 환경을 분석하였다. 해양 풍력발전기의 유지보수 환경은 빠른 풍속과 높은 파고, 대상 블레이드의 거대한 규모 등으로 인해 와이어나 로프를 이용해 인력으로 수행하기에는 위험한 환경이다. 강풍이나 파도에 의해 배가 진동하는 환경에서 블레이드에 충격을 주지 않도록 강체가 아닌 튜브를 이용하였다. 또한 로봇 또는 작업용 플랫폼을 끌어 올리기 위해 작업자가 블레이드 상단으로 올라갈 필요가 없도록 하기 위해 물체를 하단에서부터 밀어 올리는 메커니즘을 시도하였다. 작업자는 안전하게 선박에서 로봇 플랫폼의 상하 운동을 조작할 수 있도록 한다. Fig. 3은 앞서 나열한 조건들을 수용하여 나타낸 SAMM (Surface Adaptive Moving Mechanism)의 개념 설계안을 나타내며 Fig. 4는 분해도이다. 튜브는 공기 유입박스의 상단에 접촉된 상태로 바깥쪽으로 뒤집어져 내려와 공기유입박스 하단에 접촉된다. 이로써 점선 내부 공간은 튜브와 공기 유입

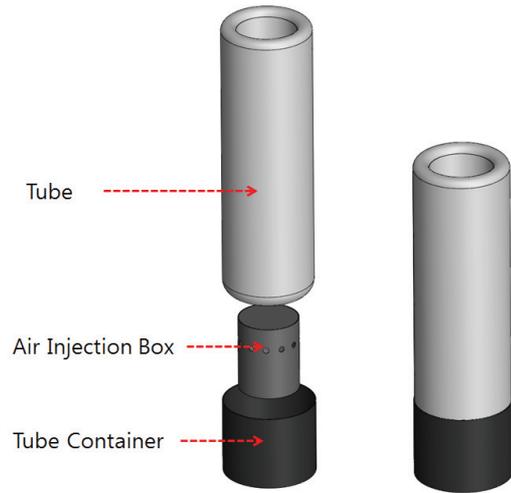


Fig. 4 Deal drawing of SAMM

박스에 의해 밀폐공간이 형성되고 하단의 밸브로 컴프레서로부터 공기가 유입된다. 실선 화살표는 공기의 유입 경로를 나타낸다. 공기가 유입되면 공기 유입박스과 튜브 컨테이너 사이의 공간에 수납되어 있던 튜브가 공급되며 튜브기둥이 위로 성장하게 된다.

3. SAMM의 구조 및 동작 원리

SAMM은 앞서 정리한 조건을 고려하여 도르레나 윈치와 같은 기구 없이 하단에서 바로 물체를 밀어 올릴 수 있고, 풍속의 변화에도 블레이드에 물리적 충격 없이 안정적으로 로봇을 이송하기 위해 개발되었다. SAMM은 크게 나누어 튜브와 공기 유입부, 튜브 회수공급장치부 3부분으로 구성된다. 물체의 무게를 지탱하고 밀어 올리는 힘으로는 공압을 사용하고, 블레이드에 충격을 주지 않도록 강체가 아닌 튜브를 이용한다. 컴프레서를 이용해 튜브 내부로 공기를 불어 넣으며 튜브의 회수, 공급은 공압과 함께 롤러와 모터를 사용한다. Fig. 5는 튜브 회수공급 장치의 유닛과 조립도를 나타낸다.

3.1 튜브

SAMM에 적용될 튜브의 조건으로는 유지 보수 로봇을 밀어 올릴 수 있는 정도의 내압에 견딜 수 있는 강성을 가져야 하고, 롤러방식의 회수 공급 장치의 적용을 위해 비교적 높은 마찰계수를 가지고 있어야 한다. 1차 시작품의 스케일인 500 mm

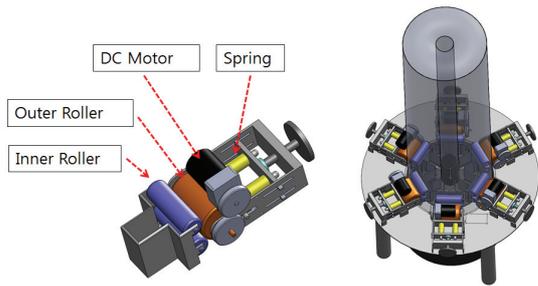


Fig. 5 Detail design of SAMM

지름 튜브 기둥의 경우 내압 1.3 atm 을 버티고 물체를 밀어 올리기 위한 최소 인장 강도는 약 20 Mpa 이다. 허용 하중은 튜브 기둥의 단면적과 내압의 곱으로 정해지고 앞서 설정한 조건의 경우 허용하중은 100 kg 정도이다. 강성 이외에 유연성과 마찰 계수등을 고려하여 선정된 재질은 0.5 mm 두께를 갖는 타포린이다. 타포린 1.5 mm 를 1차 시작품 스케일인 500 mm 공기 튜브에 적용할 시, 최대 내압 1.5 atm 을 견딜 수 있고, 이때 허용 하중은 약 150 kg 이다. 동하중임을 고려하여 안전계수 5를 적용할 시 실제 허용하중은 30kg 로 정해진다. 튜브 기둥은 기본적으로 원통 형태의 튜브가 한번 말려 들어간 형태로 원통 내부가 아닌 원통 벽에 공기를 주입하는 방식이다. 원통 안쪽 튜브는 하단에 고정이 되어있고, 바깥쪽 튜브는 컨테이너로부터 공급이 되며 위로 성장하게 되는 데 이는 아메바의 진진운동과 유사하다.⁷

3.2 공기 유입부

공기 유입 시스템은 바깥쪽의 튜브 컨테이너와 내부의 공기유입 박스로 이루어져 있다. Fig. 5는 튜브와 공기 유입부의 명칭과 분해도이다. 공기 유입 박스는 외부의 에어 컴프레서로부터 밀폐공간인 튜브 기둥 벽면 내부로 공기를 불어 넣는 통로를 만들어 준다. 이때 컴프레서에 연결되는 밸브와 튜브가 접합되는 위치, 내부 공기통로의 위치는 Fig. 5에 나타난다.

공기유입 박스에는 컴프레서로부터 공기를 제 공받는 밸브와 튜브 기둥의 내압을 조절하는 릴리프 밸브, 컴프레서로부터 받는 공기를 튜브기둥 내부로 보내주는 통로가 존재한다. 필요한 만큼의 허용하중이 결정되면 튜브기둥의 단면적을 고려하여 내압을 산정한다. 컴프레서로부터 공급 받은 유량이 많아져 필요 압력 이상으로 올라가게 되면

릴리프 밸브를 통해 초과 유량이 배출 되어 내압이 유지된다. 튜브 컨테이너는 공급될 튜브를 저장하는 역할을 함과 동시에 비탈면 형태의 벽면으로 제작되어, 튜브가 하단에서 부풀어 올라 위쪽으로 공급되지 못하는 현상을 방지한다. 이 현상은 튜브가 내부에서 전방위로 부풀어 올라 컨테이너와 공기 유입 박스를 강하게 접촉하여 나타나는 일종의 Self locking 현상이다.

3.3 회수 공급 장치

튜브의 상하 운동을 컴프레서와 릴리프 밸브만으로 조작할 경우 정밀한 제어가 어렵다. 공압과 상단 하중에 의해 수동적으로 이루어지던 튜브의 회수, 공급을 능동적으로 컨트롤 하기 위해 DC모터와 롤러를 이용한 장치를 설계하였다. 기본적으로 튜브의 회수, 공급은 롤러와 튜브의 마찰력을 이용한다. 정지 시에는 회수, 공급장치의 롤러가 튜브가 움직이지 않도록 고정한다. 이때 컴프레서는 공기를 불어 넣고 있는 상태이며, 릴리프 밸브의 설정압력은 상단 물체의 하중과 롤러의 마찰력을 합산하여 정해진다. 롤러를 회전시켜 튜브를 공급하게 되면 튜브기둥의 내압이 상단 물체의 하중보다 높기 때문에 기둥은 위로 성장하게 된다.

하강 시에는 릴리프 밸브의 설정압력을 상단 물체의 하중과 동일하게 조정한다. 롤러를 이용해 튜브를 회수하면 튜브기둥의 부피가 작아져 내압이 증가한다. 이때 증가한 압력이 릴리프밸브의 설정 압력을 초과 하게 되고 내압을 낮추기 위해 공기는 배출된다.

4. 시작품 제작 및 실험

4.1 시작품 제작

튜브의 성장 메커니즘과 공기 유입박스, 튜브 컨테이너의 실현 가능성을 알아 보기 위해 실험실 환경하에서 시작품을 제작하였다. 2m 길이의 소형 블레이드를 대상으로 제작하였고, 튜브 기둥의 지름은 500 mm 이다. 허용 하중을 고려하여 튜브의 재질은 인장강도 26.4 Mpa 의 타포린 0.5 mm 로 선정하였다.

Fig. 6은 SAMM시작품의 전체적인 모습과 회수 공급장치의 모습이다. 튜브의 인장강도를 고려할 때 허용 가능한 롤러의 마찰력은 200N 으로 산정하였다. 이를 구현하기 위해 롤러는 천연고무로 제작하였고, 튜브에 가하는 수직항력을 조절하기

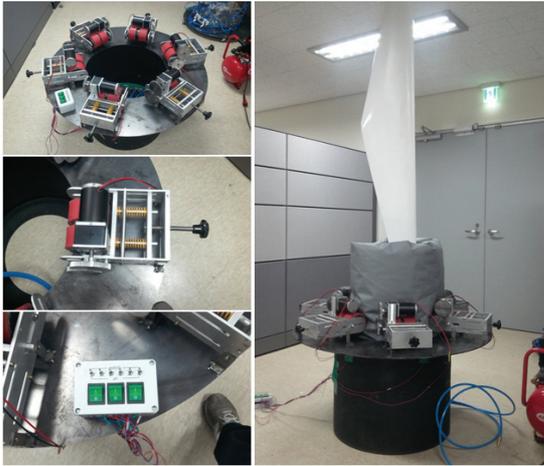


Fig. 6 Prototype of SAMM and tube supply/retrieval units



Fig. 7 Experiment to prove applicability to long stroke

위해 탄성계수 1.45kgf/mm 인 스프링 두 개와 볼 스크류를 사용하였다. 모터는 24V, 24W 최대 3000 rpm DC Motor를 적용하였고, 기어비는 1:50 이다. 공기 유입부와 회수공급장치를 분해할 수 있도록 롤러와 스프링은 전, 후진 이동이 가능하도록 하였다. 튜브의 전방위 방향에서 균형적으로 마찰력을 가하기 위해 회수 공급장치 6개를 원형으로 배치하였고, 내부 롤러는 외부 롤러가 미는 힘을 받쳐 주기만 하는 역할로써 안쪽 공기 유입 박스에 고정되어 외부 롤러와 튜브의 이동에 의해 수동적

으로 회전한다. 내부롤러는 외부롤러와 같이 능동적인 회전력을 제공할 필요가 없기 때문에 고무롤러가 아닌 일반 금속 롤러를 적용하였고, 외부롤러의 수직항력을 고려하여 정적 허용하중 50kgf 베어링을 사용하였다.

Fig. 7에서 볼 수 있듯이 공기 유입부의 용량에 따라 허용 높이를 늘릴 수 있다. 일반적인 해상 풍력발전기의 블레이드는 최대 지름 8 m, 높이 100 m 규모이다. 공기튜브의 지름 500 mm 일때 적어도 6.25 m 이상 상승할 수 있어야 해상용 대형 블레이드에 적용 가능성을 증명할 수 있다. 공기 유입부와 튜브를 대형화 한 시작품을 제작하였고, 건물의 외벽을 따라 상승하도록 실험을 진행하였다.

4.2 회수공급장치 마찰력 특성 실험

회수 공급장치는 튜브의 상승, 하강운동을 정량적으로 조절하는 구성요소로써 롤러의 마찰력에 직접적인 영향을 받는다. 튜브 내부 공압에 의해 상승하는 튜브의 속도를 조절할 수 있는 최소 마찰력과 튜브의 파단이 발생하는 최대 마찰력을 알고, 제작된 시작품이 정량적인 운동이 가능한지 알아보기 위한 실험을 진행하였다.

4.2.1 실험 환경

마찰력을 결정하는 요인에는 롤러의 토크와 롤러가 튜브에 가하는 수직항력이 있다. 이때 수직항력은 수개의 스프링이 수축된 변위를 측정하여 구할 수 있다. 스프링을 수축시키는 볼 스크류의 나사산 간격은 2 mm 이다. 롤러의 토크는 모터에 가하는 전압에 의해 결정된다. 이론적으로는 마찰력 역시 전압에 비례하여 증감해야 하지만 마찰력이 무한정 증가할 시, 튜브의 파단을 초래할 수 있기 때문에 이의 한계점의 찾기 위한 실험이 필요 하다.

실험에 대한 상세한 내용은 다음과 같다. 튜브가 상승할 때 허용 하중과 내압, 롤러의 마찰력은 다음 식(1)을 따른다.

$$P = \frac{Mg + 6\mu F}{A} \tag{1}$$

P는 튜브의 상승, 하강 시 필요한 내압으로써 상단에 올려질 물체의 무게와 회수 공급장치 롤러의 마찰력에 의해 정해진다. 이때 롤러의 마찰력은 필요한 회수 공급 속도에 의해 결정된다. M는 상단 물체의 하중, g는 중력 가속도, μ 는 롤러의

Table 1 Relation between spring displacement X(mm) and friction force F(kgf)

X(mm)	Friction Force (kgf)		
	First	Second	Average
0.5	2.5	2.4	2.45
1	6.3	6.3	6.3
1.5	7.5	7.4	7.45
2	10.8	10.7	10.75
2.5	13.8	13.7	13.75
3	15.7	15.6	15.65
3.5	15.9	15.8	15.85
4	16.2	16.3	16.25
4.5	16.8	16.7	16.75
5	17.2	17.2	17.2
5.6	17.8	17.7	17.75

Table 2 Relation between volt of motor V(volt) and friction force F(kgf)

V(volt)	Friction Force (kgf)		
	First	Second	Average
3	4.1	4	4.05
4	5.9	6.1	6
5	8	7.9	7.95
6	10.1	10	10.05
7	12	11.8	11.9
8	14.2	13.9	14.05
9	16	15.8	15.9
10	18	17.8	17.9
11	18.8	19	18.9
12	19	18.7	18.85

마찰계수, A 는 튜브 기둥의 단면적, F 는 롤러가 튜브에 가하는 수직 항력이다. 그리고 F 는 스프링의 탄성계수 K 와 변위 X 의 곱으로 나타내어진다. 롤러의 마찰특성을 알아보기 위해 두 가지의 실험을 수행하였다. 첫 번째로 롤러가 튜브에 가하는 수직항력을 변화시키며 마찰력을 측정하였다. 이 때 모터는 10 V 로 설정하였고, 스프링의 탄성계수는 1.45 kgf/mm 고정 값이며, 스프링의 길이 변위 X 를 1 mm 씩 증가시켰다. 두 번째로는 모터의 토크와 마찰력의 관계를 알아보기 위해 스프링의 길이 변위를 10 mm 로 설정하고 전압을 3 V 부터 1 V 씩 증가 시키며 롤러의 마찰특성을 측정하였다.

4.2.2 실험 결과

첫 번째 실험결과 롤러가 튜브에 가하는 수직 항력이 증가함에 따라 마찰력이 선형적으로 증가

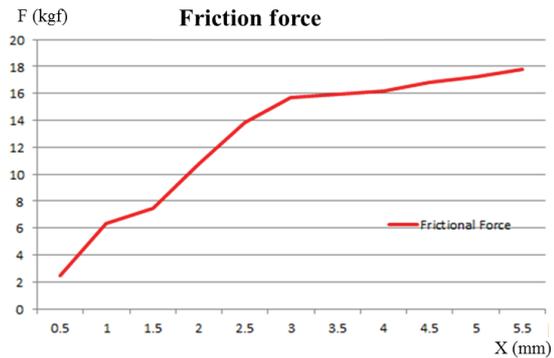


Fig. 8 Graph of relation between spring displacement X(mm) and friction force F(kgf)

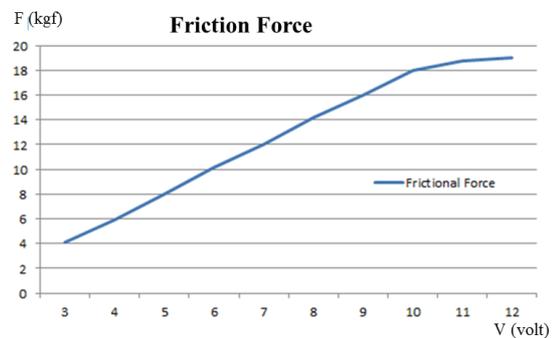


Fig. 9 Graph of Relation between volt of motor V(volt) and friction force F(kgf)

하다가 대략 17 kgf 근방에서 미끌림 현상을 보이며 선형적 특성을 잃었다. 튜브의 인장 강도를 고려한 허용 마찰력은 33 kgf 정도이므로 튜브의 파단을 초래하지 않는 한도에서 충분한 마찰력을 나타냈다. Table 1은 변위 X 에 대한 마찰력 실험 결과값을 보이고, Fig. 8에서 그래프특성을 보인다.

두 번째 실험결과 모터의 토크와 롤러의 마찰력 역시 선형적 특성을 보였다. 18 kgf 까지 선형성을 띄다가 그 이후엔 마찰력이 더 이상 증가하지 않았다. 이는 첫 번째 실험과 비슷한 결과로써, 튜브가 파손되지 않는 한에서 마찰력을 선형적으로 조작 할 수 있음을 증명한다. Table 2에서 모터의 전압에 따른 마찰력 실험 결과값을 나타내고 Fig. 9에서 그래프 개형을 나타낸다. 향후 주요 연구 주제인 SAMM의 대형화와는 관계 없이 튜브의 재질에 따라서 허용 마찰력이 정해지기 때문에 본 실험 결과는 앞으로의 연구에서 유용하게 활용될 것으로 기대한다.

5. 결론

본 논문에서는 5MW 급 대형 풍력발전기의 유지보수를 위한 이송 메커니즘을 개발하였다. 대형 풍력발전기의 규모를 고려하여 나셀까지 작업자가 올라가지 않고 해수면 또는 지표면에서 물체를 직접 상승시킬 수 있는 튜브 메커니즘을 시도하였다. 튜브와 공압을 이용하여 블레이드에 가하는 물리적 충격을 최소화 하였고, 전기적 제어가 가능한 회수 공급장치의 개발을 통해 보다 정밀한 상하 이송이 가능하도록 하였다.

일반적인 해상용 풍력발전기 블레이드 1/20 스케일의 시작품을 제작하였고, 실험을 통해 실현 가능성을 증명하였다.

현재 작업자와 로봇을 이송할 수 있도록 SAMM의 튜브 상단에 설치될 평형 유지 플랫폼의 개발을 진행하고 있으며, 튜브의 대형화와 허용하중을 증가시키는 것이 주 연구주제가 될 것이다.

본 이송 메커니즘은 풍력발전기 유지보수용 로봇을 위한 것뿐 아니라, 건설현장의 자재 이송, 고층빌딩 재난 시 피난 기구 외에 각종 상하 이송을 필요로 하는 분야에 적용이 가능할 것으로 기대한다.

후 기

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20124010203250)입니다.

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국 건설교통 기술 평가원에서 위탁 시행한 2010 년도 건설기술혁신사업(과제번호: 10기술혁신 E03)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Shin, H. K. and Kim, K. M., "Motion Analysis of 5-MW Floating Offshore Wind Turbine," Journal of The Korean Society of Ocean Engineers, Vol. 25, No. 5, pp. 64-68, 2011.
2. Moon, C. and Cheang, E., "Design of Large Wind Turbines Generations at the Southwest Shore in Korea," Annals of the CIRP, Vol. 39, No. 2, pp. 517-521, 1990.
3. Kim, K. D., Choi, D. H., Sim, J. S., and Kim, K. C.,

"Development and Design of Offshore Wind Turbine Support Structures," The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 59, No. 5, pp. 269-271, 2008.

4. Elkmann, N., Felsch, T., and Förster, T., "Robot for Rotor Blade Inspection," 1st International Conference on Applied Robotics for the Power Industry, pp. 1-5, 2010.
5. Shin, H. G., "Introduction of Rotor Blade for Wind Turbine," Journal of The Korean Solar Energy Society, Vol. 6, No. 2, pp. 22-29, 2007.
6. Jung, E. H., "A Study on Topography Characteristics and Wind Conditions for the Design of Wind Park," M.Sc. Thesis, Mechanical Engineering, Mokpo Univ., 2009.
7. Park, S. and Hong, D., "Self-growing motion mechanism for inspection and maintenance," Gerontechnology, Vol. 11, No. 2, Paper No. 93, 2012.