

TRIZ 기법을 이용한 풍력터빈 시스템 설계

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 장태현
(changtae@reseat.re.kr)

1. 서론

TRIZ는 기술과 과학기술적 모순을 해결하기 위한 알고리즘이다. 풍력터빈의 혁신적인 설계를 TRIZ(theory of inventive problem solution) 기법을 이용하여 수행되었다. 이 방법은 풍력터빈에 대한 창조적인 개념설계를 제공할 것이고, 혁신적으로 생산용량을 향상시키기 위한 효과적인 과정으로서 조직적인 방법론을 나타낸다.

이 분야의 국내 연구로는 허용정 등(1)은 기존의 윤축의 중량을 요구강도에 만족시킴과 경량화를 목적으로 창의적 문제해결로, 이론인 TRIZ의 6SC를 적용하여 중공구조의 윤축 내부에 사용될 수 있는 캡을 설계하고 설계에 대한 검정을 위해 해석툴인 ANSYS를 활용하였다. 황인극 등(2)은 TRIZ기법을 냉장고 온도 검지방법을 개선하는 데 적용하였다.

임사환 등(3)은 가로등의 높은 위치로 인하여 태양광의 셀의 유지보수가 어려웠다. 이 문제를 해결하기 위하여 6SC TRIZ 기법을 활용하였다. 최준호(4)는 자전거용 변속장치 개발과정에 TRIZ를 적용하여 기존자전거에 적용되고 있는 변속장치의 문제점을 정의하고, 그 발전방향을 예측하여 개발목표를 달성하였다. 임사환 등(5)은 LPG저장탱크의 안전성과 경제성을 고려한 저장탱크를 파악하기 위하여 TRIZ 기법을 활용하였다. 지상형은 화염 등에 의한 위험성이 높으며, 지하 매몰형은 부식 등에 의한 경제적 손실이 크다. 따라서 지상형과 매몰형에 대한 문제점을 해결하기 위해 6SC(6 Step Creativity)을 응용하였으며, 그 결과 지하 격납형을 도출하였다. 허태혁 등(6)은 소음을 해결하기 위한 방안을 세우는데 있어서, 효율적인 개념설계단계를 거치기 위한 방법으로 TRIZ를 활용하였고, 허용정 등(7)은 TRIZ 기법인 6SC를 활용함으로써, 광학적 손실이 유발하는 태양 전지의 효율 감소를 개선하기 위한 역 추적식 반사체 시스템을 가진 태양광발전 시스템을 제안하였다. 김은경 등(8)은 TRIZ를 적용해서 스마트 클릭커라는 새로운 소프트웨어를 개발하여 소프트웨어분야에서는 TRIZ를 활용하기 어렵다는 심리적 타성을 타파하고, 소프트웨어 분야에서 TRIZ를 활용하는 접근방법을 제시하였다

Triz를 이용한 국내 연구로는 약 275편이 발표되었지만, 풍력터빈에 관한 연구는 해외 논문만이 6편이 발표되었고, 국내에서 TRIZ 기법을 이용하여 풍력터빈을 설계한 연구는 없다. 본 보고서에서는 Vlastimir Nikolić 등(9)의 연구결과와 이 분야 국내연구를 참

고하였다.

2. TRIZ 기법

TRIZ는 창조적인 문제를 해결하는 하나의 방법 논이고, 이것은 주요한 TRIZ 평가는 아래와 같다. ①기술경향에서 발전, ②모든 혁신적인 시작을 위한 적은 수의 창의적 원리, ③창의적 해에 의해 시스템에서 상충들을 제거한다.

TRIZ 방법론은 두 개의 변수사이에서 살충되는 기술적인 모순들의 해결을 암시한다. 한 변수는 향상되고 다른 것은 손상될 수 있다. 39개의 변수가 <표 1>과 같이 식별된다. 두 개의 정의 된 변수들과 함께 모순을 나타냄으로서 많은 해를 일반화될 수 있다.

<표 1> TRIZ의 공학변수 39개⁹⁾

39 Engineering parameters of TRIZ			
1	Weight of moving object	21	Power
2	Weight of stationary object	22	Loss of energy
3	Length of moving object	23	loss of substance
4	Length of stationary object	24	Loss of information
5	Area of moving object	25	Loss of time
6	Area of stationary object	26	Quantity of substance
7	Volume of moving object	27	Reliability
8	Volume of stationary object	28	Measurement accury
9	Speed	29	Manufacturing precision
10	Force(Intensity)	30	Object affected harmful
11	Stress of pressure	31	Harmful side effect
12	Shape	32	Ease of manufacture
13	Stationary of the object	33	Ease of operation
14	Strength	34	Ease of repair
15	Durability of moving objective	35	Adaptability of versatility
16	Durability of non-moving object	36	Complexity of device
17	Temperature	37	Complexity of control
18	Illumination intensity	38	Level of automation
19	Use of energy by moving object	39	Productivity
20	Use of energy by stationary object		

2-1. TRIZ 접근에 의한 풍력터빈설계의 모순 해결

기술적 모순은 항상 어떠한 공학시스템에서나 발생한다. 한 시스템 특성이 향상되고 다른 특성은 저하 될 때 발생한다. TRIZ 방법은 모순행렬(Contradiction Matrix)에 의해서 기술적 모순 해결을 제공한다.

단계1: 향상시키고자하는 특성 혹은 바리적하지 않은 결과를 결정하기 위하여 문제변수들을 해석한다. 풍력터빈 설계를 위해, 주요한 목표는 안정성, 쉬운 운전, 적합성,

자동화 등이다. 때로는 몇가지 특징은 상수로 둔다. 예로 풍력터빈 날개의 질량이다.

단계2: <표 1>의 변수의 검정, 다음의 특징을 이루는 것은 <표 1>에 의해 풍력터빈 설계를 향상시키기 위해 확인되었다. ①물체의 안정성, ②형태, ③이동하는 물체의 면적, ④용이한 제작, ⑤쉬운 운전, ⑥적합성 혹은 유통성, ⑦신장된 자동화, ⑧동력

풍력터빈의 이들 특징을 향상시킴으로, 몇가지 바람직하지 않은 특색은 피해야고 이들의 특징은 다음과 같다. ①쉬운 보수, ②적합성 혹은 유통성, ③생산성, ④확장된 자동화, ⑤용이한 제작, ⑥이동하는 물체의 질량, ⑦쉬운 운전, ⑧계획의 유연성, ⑨신뢰성, ⑩속도, ⑪동력, ⑫이동하는 물체의 길이, ⑬응력이나 압력, ⑭유해하게 영향을 받는 물체, ⑮고정 장치의 질량

단계3: TRIZ 모순행렬 사용. 이 모순행렬은 이전 단계에서 검지된 기술적 모순을 해결할 수 있어야 한다.

단계4: <표 2>의 TRIZ 행렬에 의해서 추천된 창조적 원리를 사용하여 기술적 상충을 해결하는 시도한다.

2-2. 풍력터빈 설계의 혁신을 위한 TRIZ 추천

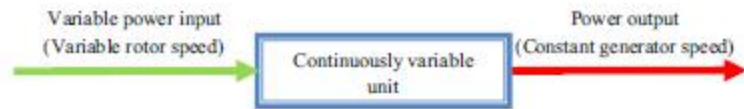
기술적 모순을 해결하기 위하여, <표 2>로부터 TRIZ 원리는 다음과 같다. ①부분적 혹은 과도한 실행, ②공기역학과 유체역학, ③분할, ④획득, ⑤피드백, ⑥힘, ⑦일관성, ⑧다른 차원, ⑨복사, ⑩복합재료, ⑪유연한 외피와 얇은 막, ⑫변수의 변화, ⑬국부적 질

2-2-1. 해결법 1

TRIZ 원리 “부분적 혹은 과도한 실행(partial or excessive actions)”는 다음 해법을 연상시킨다.

- 만약 100%의 물체가 주어진 해법을 사용하기가 어렵다면, 동일한 방법에서 약간 작거나 약간 많이 사용함으로써 그 문제는 해결하기가 상당히 쉬워질 것이다.
- 이 원리는 풍력터빈의 작동이 환경적 상태에 따라 변해야한다는 것을 암시한다. 한 가지 가능한 해법은 풍력터빈의 전송률을 최적상태에서 작업을 하기위한 풍속에 따라 변경해야한다. 만약 무단자동변속기(CVT: continuously variable transmission)가 풍력터빈과 발전기 사이에 설치된다면, 이는 <그림 1>과 같이 터빈이 최대효율을 따라 운전하게 만들 것이다.

- CVT는 발전기 바로 앞에 설치해야하고, 주 기어박스과 공기역학 팁 브레이크 (aerodynamic tip brake) 파이프를 변화시키는 필요는 없어야 한다.



<그림 1> 무단자동변속기(CVT).⁹⁾

<표 2> 모순을 해결하기 위한 40개의 TRIZ 원리⁹⁾

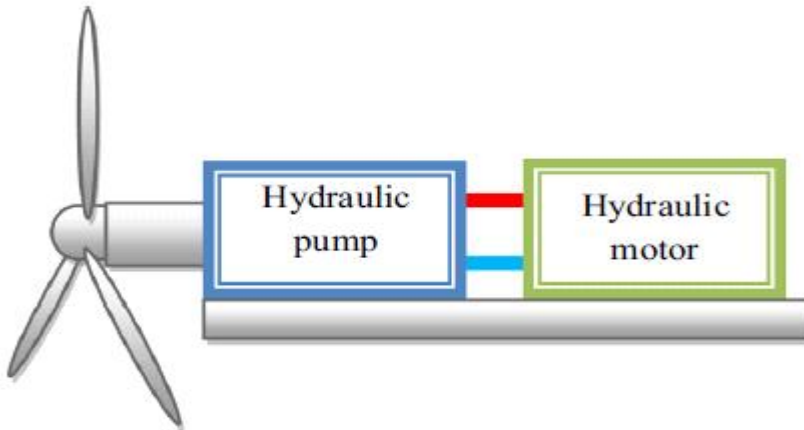
The 40 TRIZ principles			
1	Segmentation	21	Skipping
2	Taking out	22	Blessing in disguise or Turn Lemons into Lemonade
3	Local quality	23	Feedback
4	Asymmetry	24	Intermediary
5	Merging	25	Self-service
6	University	26	Copying
7	Nested doll	27	Cheap short-living objects
8	Anti-weight	28	Mechanics substitution
9	Preliminary anti-action	29	Pneumatics and hydraulics
10	Preliminary action	30	Flexible shells and thin films
11	Beforehand cushioning	31	Porous materials
12	Equipotentiality	32	Color change
13	The other way round	33	Homogeneity
14	Spheroidality-Curvature	34	Discarding and recovering
15	Dynamics	35	Parameter changes
16	Partial or excessive	36	Phase transitions
17	Another dimension	37	Thermal expansion
18	Mechanical vibration	38	Strong oxidants
19	Periodic action	39	Inert atmosphere
20	Continuity of useful action	40	Composite materials

2-2-2. 해결법 2

TRIZ 원리 “공기역학과 유체역학(pneumatics and hydraulics)” 는 다음을 나타낸다.

- 고체부분 대신에 물체가 액체나 가스를 사용하는 경우, 즉, 팽창성, 액체로 충만, 공기쿠션, 유체정역학 그리고 수소반응(hydro-reactive) 등이다.
- 이 원리는 풍력터빈 설계에서 공기역학 혹은 유체역학 정의를 의미한다. 해법의 한 가지는 유체커플 무단변속기(HSTs: hydrostatic transmissions)의 사용이다. 두가지 형의 유체커플 CVT가 있고, 이는 유체식과 유압식전동장치이다. 유압전동장치는 신뢰할 수 있고, 광산, 산림학, 건설 그리고 농업기계 등에서 검정된 기술이다. 무단변속

기는 동력전달장치로 정의되었고, <그림 2>에서 용적펌프(positive displacement pump)와 모터를 가진 HST를 나타낸다.

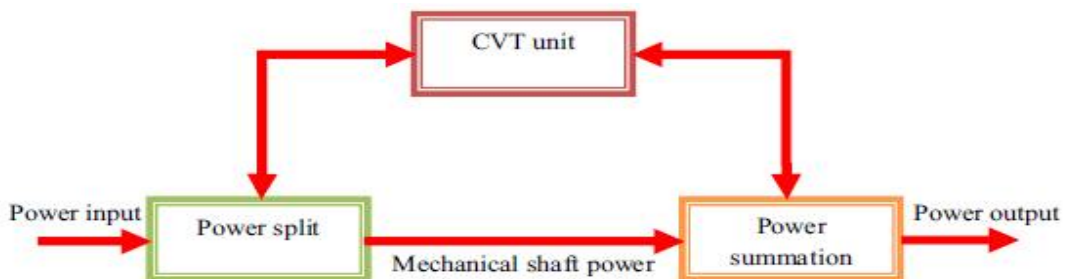


<Fig.2> 수력펌프와 유압모터를 장비한 풍력터빈 구동 과정.⁹⁾

2-2-3. 해결법 3

TRIZ 원리 “분할(segmentation)”은 다음의 해법을 의미한다.

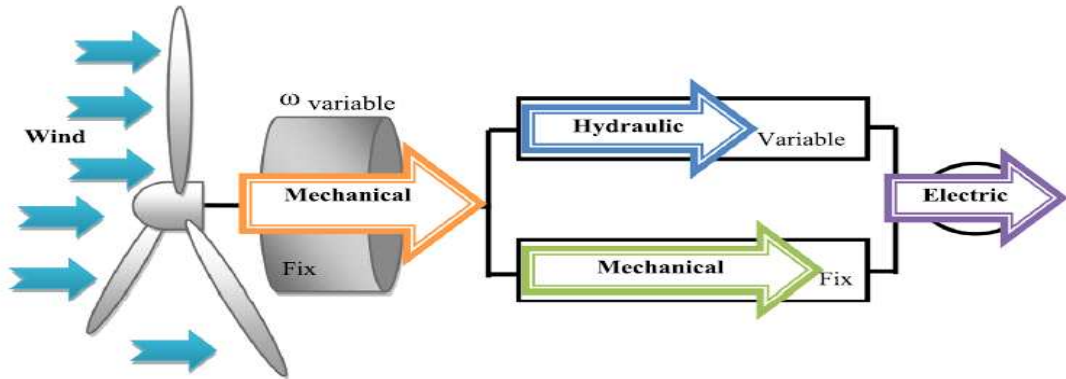
- Triz 원리 “분할”은 다음 해법을 암시한다. ①물체를 독립된 요소로 나눈다. ②물체를 분해하기 위해 간단하게 만든다. ③분열 혹은 분할 정도를 증가시킨다.
- 이 원리는 풍력터빈 설계에서 어떤 유닛의 분할을 제안하고, 예로 풍력터빈의 전동장치 유닛에 적용할 수 있다. 단지 CVT 유닛 대신에, 전동장치유닛과 일정 속도비를 가진 무단변속기를 같은 시간에 사용할 수 있다. 전동장치는 일정한 속도이고 그리고 CVT 유닛은 특별한 경우에 만 활성화되어야 한다. 예로서 무단변속기는 에너지 변환 때문에 효율이 아주 낮다. 반면에 고정속도의 기계적인 전동장치는 높은 효율을 가지고 있다. 이것은 고효율을 얻는 것은 단지 CVT만으로는 활성화 시킬 수 없다는 것을 암시한다. 그러므로 CVT와 기계적 전동장치 시스템을 병합하는 것이 적절하다. 동력은 <그림 3>과 같이 효율을 향상시키기 위해 양 가지(branch)에서 부분적으로 전달될 것이다.



<그림 3> 동력 분할 CVT.⁹⁾

총체적인 전동장치는 효율이 높기 때문에 CVT가 될 것이고, 이는 기계적 변속기가 효율

을 높이기 때문에 전체적인 효율이 향상됩니다. 이것인 유성기어식 무단변속기(power split transmission)이다. 이 전동장치는 많은 형태로 만들어 질 수 있기 때문에 아주 실용적이고 한 예를 <그림 4>에 제시한다.

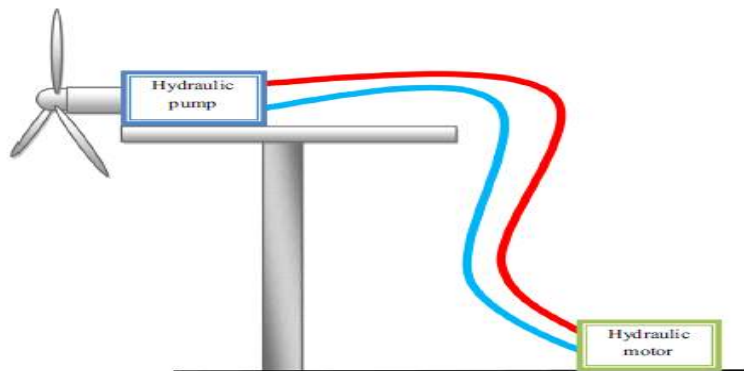


<Fig. 4> 유성기어식 무단변속기의 배치⁹⁾

2-2-4. 해결법4

Ttiz 원리 “혁명(taking out)” 은 다음 해법을 말한다.

- 물체의 상충되는 부분 혹은 특성을 분리한다. 혹은 물체의 필요한 부분만 선택한다. 이 원리는 풍력터빈의 운전을 용이하게 하기위하여 몇 개의 유닛을 분리하는 것을 의미한다. 예를 들면, HST의 유연한 성질은 타워 베이스(tower base)에서 풍력터빈의 모터와 발전기의 조립품의 배치를 가능하게 하고, 펌프는 <그림 4>와 같이 나셀(nacelle)에 둔다. 이것은 나셀에서 발전기와 전자기기를 수리하는 기중기의 사용이 없으므로 나셀 질량과 비용을 줄인다. <그림 5>와 같이 발전기로부터 로터 진동이 흡수되어 발전기의 서비스 제공이 용이해진다.

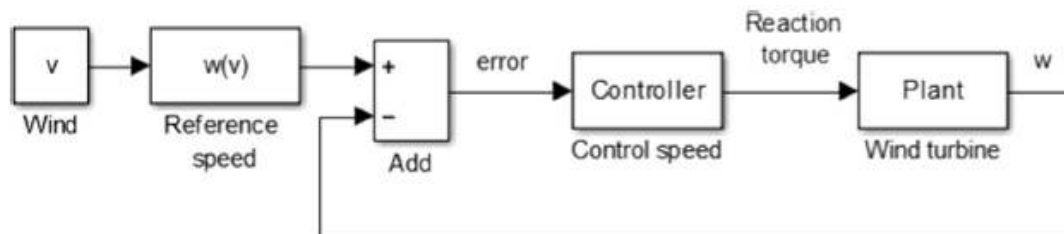


<그림 5> 유압모터와 발전기의 위치⁹⁾

2-2-5. 해결법 5

Triz 원리 “피드백(feedback)” 은 다음의 해법을 의미한다.

- 프로세스나 작동을 향상시키기 위하여 피드백(feedback)을 소개한다. 만약 피드백이 이미 사용되었다면, 그 것의 크기나 영향을 변화시킨다.
- 이 원리는 풍력터빈의 성능을 향상시키기 위한 피드백 계획의 사용을 의미한다. 예를 들면, 피드백 제어 계획은 바람으로부터 최대 에너지를 획득하기 위하여 혹은 피크동력계수(peak coefficient of power)에서 터빈을 운전하기 위하여 수행된다.
- 풍속이 바뀌면, 바람 때문에 토크 역시 변경되고 따라서 가속된다. 반응 토크(reaction torque)는 발전기에 의해서 제공되고 그리고 제어된다. 반응토크의 변경으로 터빈 로터 속도는 어떤 바람직한 값으로 제어된다. 만약 풍속이 정확하게 알려지면, 최대 동력을 획득하기 위한 바람직한 로터 속도는 함수 $\omega(v)$ 로 주어진다. 이 목표를 획득하기 위하여 기본적인 피드백 제어장치는 <그림 6>에 나타낸다.



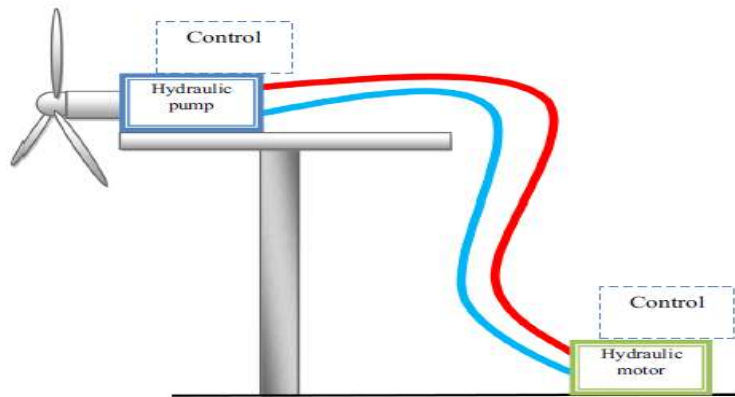
<그림 6> 풍력발전기의 반응토크에 대한 피드백 제어 설계⁹⁾

2-2-6. 해결법 6

TRIZ 원리 “역학(dynamics)” 은 다음을 의미한다.

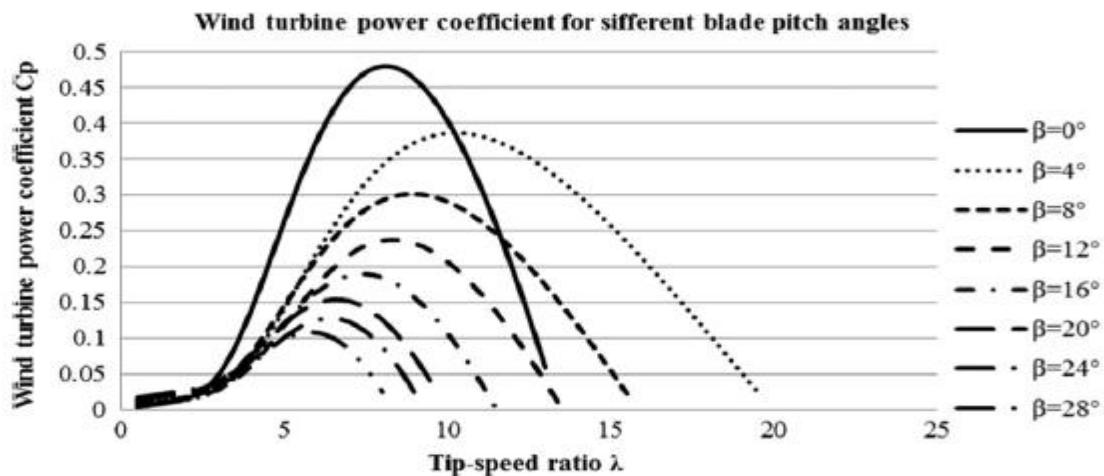
- 물체의 특성, 외부환경을 허용하고, 혹은 최적의 상태로 변화하는 과정, 혹은 최적의 운전 상태를 찾는 것이다.
- 물체를 서로 상대적으로 이동할 수 있는 부분으로 나눈다. 만약 물체 혹은 과정이 경직된 상태이면, 그것을 움직일 수 있거나 적용할 수 있게 만들어다.

이 원리는 위의 단계에서 확인된 제어 계획의 사용을 의미한다. 유성기어기식 정유압 무단변속기(power split hydrostatic CVT)의 개념은 두 개의 기지(branch) 사이의 좌표가 자동적으로 제어되기 때문에 제어알고리즘이 필요하고, <그림 7>과 같이 효율을 증진시키기 위하여 유성기어기식 정유압 무단변속기에 이 알고리즘이 추가되어야한다.



<Fig. 7> 추가적인 제어블록을 장비한 유성기어기식 정유압 무단변속기⁹⁾

풍력터빈의 날개 피치 각은 최대동력 계수를 얻기 위해 제어될 수 있다. 풍력터빈에서 동력 계수 C_p 의 특성화는 <그림. 8>에 나타낸다.



<Fig. 8> function of tip-speed ratio λ and blade pitch angle β .로서 풍력터빈 동력계수 C_p .⁹⁾

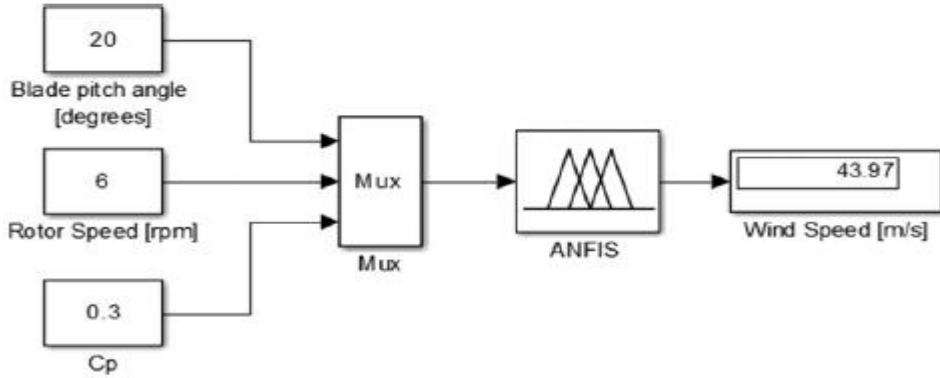
2-2-7. 해결법 7

Triz 원리 “university“는 다음 해법을 의미한다.

- 부분 혹은 물체전체가 복합적 기능(multiple function)을 실행하도록 한다, 다른 부품을 위해 필요성을 제거한다.

이 원리는 풍력터빈의 어떤 유닛이 보편적 혹은 많은 작업 실행을 수행하도록 한다. 예를 들면, 풍력터빈은 풍속계 대신에 풍속을 예측하기 위하여 사용되어질 수 있다. 즉, 풍속 측정기(estimator)를 사용함으로써, 풍속계를 교환할 수 있다. 풍속은 풍력터빈 요소의

기능으로서 결정되어 질 수 있고 이들은 <그림 9>에서 나타낸 것과 같이 풍력터빈의 동력계수, 날개피치 각 그리고 로터 속도 등이다.



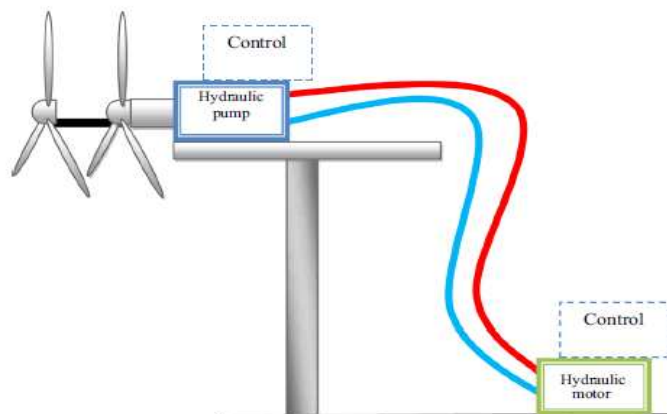
<그림 9> 풍력터빈 변수에 따른 풍속평가 시스템⁹⁾

2-2-8. 해결법 8

TRIZ 원리 “다른 차원(another dimension)은 다음 해법을 나타낸다.

- 2차원 혹은 3차원 공간에서 물체의 이동.
- 단일 층 배열 대신에 물체의 다층 배열 사용
- 물체를 기울이거나 다시 방향을 잡기 혹은 옆으로 눕히기.
- 주어진 면적에서 다른 층 이용

이 원리는 풍력터빈의 모양을 몇 가로 증가시킨다. 예를 들면, <그림 10>과 같이 한 개의 로터를 가진 풍력터빈 대신에 많은 로터 풍력터빈이 사용될 수 있다. 다른 예로 멀티 로터 풍력터빈은 역회전 풍력터빈이고, 최대 동력계수는 약 64% 증가하였다.



<그림 10> 유성기어기식 정유압 무단변속기를 장비한 멀티 로터 풍력터빈⁹⁾

2-2-9. 해결법 9

Triz 원리 “copying“은 다음 해법을 제시한다.

- 도움이 되지 않는, 값비싼, 깨지기 쉬운 물체를 대신하여, 간단하고 값싼 모방품을 사용한다.
- 물체를 대체하거나 혹은 시각적인 대응물로 처리한다.
- 만약 가시적인 시각적 대응물이 이미 사용되었다면, 적외선 또는 자외선 복사로 바꾸어라.

이 원리는 풍력터빈이 크고 그리고 값 비싸기 때문임을 의미한다. 그래서 실제적인 풍력단지에서 연구를 수행하는 것은 적합하지 않고, 실험적 비용과 짧은 연구 그리고 새로운 기술의 개발 등은 시뮬레이션 하는 것이 필요하다.

2-2-10. 해결방법 10

Triz 원리 “복합재료(Composite materials)” 는 다음 해법을 나타낸다.

- 획일적 재료로부터 복합재료로 바꾸어라.

이 원리는 풍력터빈 건조에 대해 복합재료의 사용을 의미한다. 풍력터빈 설계의 주 목적이 풍력터빈의 질량을 줄이고 신뢰성을 증진시키는 것이기 때문이다.

2-2-11. 해결법 11

Triz 원리 “유연한 외피와 얇은 막(flexible shells and thin films)” 은 다음의 해법을 암시한다.

- 3차원 구조 대신에 유연한 외피와 얇은 막을 사용한다.
- 물체를 유연한 외피와 얇은 막을 사용하여 외부환경으로부터 물체를 분리시킨다.

이 원리는 풍력터빈 날개에 대해 감각상의 스마트한 막의 개발에 중요한 역점을 둘 수 있고, 날개에 스마트한 막을 사용하는 이점은 피로하중을 저하시킨다.

2-2-12. 해결법 12

TRIZ 원리 “변수의 변화(parameter changes)는 다음 해법을 제시한다.

- 물체의 물리적 상태 즉, 가스, 액체 그리고 고체 등으로 바꾸어라.
- 집중과 일관성을 바꾸어라.
- 온도를 바꾸어라.

이 원리는 터빈 블레이드 설계에 대해 복합재료를 이용하기 위한 이전단계 11 해법을 확인하는 것이다. 더욱이 효율을 향상시키기 위하여 탄성성능(elastic performance)의 변경을 제의 하는 것이다.

2-2-13. 해결방법 13

TRIZ 원리 “local quality“는 다음 해법을 제의 한다.

- 물체의 구조를 획일적에서 비 획일적으로 바꾼다. 외부환경을 균일함에서 비균일한 상태로 바꾼다.
- 물체의 기능의 각 부분을 운전을 위해 가장 적합한 상태로 만들어라.
- 물체의 각 부분을 다른 혹은 유용한 기능을 수행하도록 만들어라.

풍력터빈의 최대강도는 주로 타워 구조에 의해 규정되고, 이 원리는 독립적으로 강한 바람에 버티는 풍력터빈 타워설계에서 경제적 그리고 유연한 해법을 제안한다.

3. 결론

이 보고서는 TRIZ 방법론 체제에서 풍력터빈 시스템의 혁신적 설계를 고찰하였다. 풍력터빈 시스템의 최종설계는 다음과 같은 13개의 TRIZ의 창조적 원리로부터 얻었다.

①부분적 혹은 과도한 실행, ②공기역학과 유체역학, ③분할, ④획득, ⑤피드백, ⑥힘, ⑦일관성, ⑧다른 차원, ⑨복사, ⑩복합재료, ⑪유연한 외피와 얇은 막, ⑫변수의 변화, ⑬국부적 질 등이다.

<참고문헌>

1. 허용정, 김재민, 홍성도, TRIZ/CAE를 활용한 철도차량 윤축용 캡의 창의적 설계, 한국산학기술학회논문집, V.14, No.6. 2013, 2581-2587.
2. 황인극, 안영수, 정락채, TRIZ기법을 이용한 기업 혁신전략, 한국산학기술학회논문지, V.9, No.5, 2008, 1453-1459.
3. 임사환, 홍성도, 허용성, TRIZ(6SC)를 활용한 슬라-플라워의 창의적 설계, 반도체디스플레이 기술학회, Vo. 10, No. 2, 2011, 19-23.
4. 최준호, 자전거용 변속장치 개발을 통한 TRIZ의 유용성 검토, 선문대학교 석사논문, 2002
5. 임사환, 허용정, TRIZ를 활용한 LPG 저장탱크의 안전성에 관한 최적화방안, 한국산학기술학회 2008년도 춘계학술발표논문집,
6. 허태혁, 유승현, 한경수, 전용락, 허권, 오대진, 변속기 기어소음 저감을 위한 트리즈의 활용, 대한기계학회 2007년도 춘계학술대회A 2007 May 30, 2007년 pp.1069 - 1074

7. 허용정, 홍성도, 역추적식 반사체를 가진 태양광 발전 시스템의TRIZ(6SC) 응용 설계, 반도체디스플레이기술학회지 v.11 no.3 ,pp. 27 - 31 , 2012 , 1738-2270 ,
8. 김은경, 구본철, 트리즈를 활용한 소프트웨어 개발에 관한 연구, 한국정보통신학회논문지 v.18 no.3 ,pp. 719 - 726 , 2014 , 2234-4772,
9. Vlastimir Nikolić, ShahinSajjadi, DaliborPetković, Shahaboddin Shamshirband, Žarko Čojbašić, Lip Yee Por, Design and state of art of innovative wind turbine systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 61(2016)258 - 265



이 분석물은 과학기술정보통신부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.