

11-15430
00-00212
7-01

발간등록번호
11-1543000-002127-01

농식품창업벤처지원 R&D바우처 시범사업 R&D Report

자가발전 유량계 기술 개발 최종보고서

2018

농림축산식품부

자가발전 유량계 기술 개발 최종보고서

2018. 02. .

주관연구기관 / 한국기계연구원

농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “자가발전 유량계 기술 개발 ”(개발기간 : 2016. 12. ~ 2017. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018. 02.

주관연구기관명 : 한국기계연구원 (대표자) 박 천 홍 (인)

주관연구책임자 : 임 재 원

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의
합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	116129-01	해당 단계 연구 기간	2016.12.05.~ 2017.12.04.	단 계 구 분	1/1
연구 사업 명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	농식품창업벤처지원 R&D바우처 시범사업			
연구 과제 명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세 부 과 제 명	자가발전 유량계 기술 개발			
연구 책임자	임재원	해당단계 참여 연구원 수	총: 4 명 내부: 4 명 외부: 명	해당단계 연구 개발비	정부: 100,000천원 민간: 34,000천원 계: 134,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 4 명 내부: 4 명 외부: 명	총 연구개발비	정부: 100,000천원 민간: 34,000천원 계: 134,000천원
연구기관명 및 소속부서명	한국기계연구원 자기부상연구실			참여기업명	
위탁 연구	(해당 없음)			(해당 없음)	
<p>본 연구의 목적은 농업용 관로에 적용 가능한 10W급의 발전 시스템의 개발과 관로형 발전시스템을 평가할 수 있는 시험 평가 시스템, 생산된 전력을 활용 가능하도록 변환시켜주는 전력변환 시스템의 개발을 목적으로 함</p> <p>관로형 자가발전 시스템은 3차의 시제를 통해 자가발전 시스템 적용 시험을 수행하였으며, 2차 시제에서는 1차시제의 코깅토크 문제점을 개선하는 설계, 3차 시제에서는 2차 시제의 회전자 질량 저감 개선 설계를 수행하여 시험하였음. 직선형 관로의 특성으로 인해 조합시험의 수행은 성공하지 못하였으나, 관로형 발전기의 구조 개선을 통해 관로형 발전을 구현할 수 있는 기본 자료로 활용될 수 있을 것으로 보임. 또한 개발된 유량에 따른 발전 시험평가시스템은 기타 유사한 관로형 발전 시스템의 시험 평가를 목적으로 활용될 수 있으며, 함께 개발된 10W급의 전력 변환 회로는 향후 개발될 발전 시스템과 함께 관수조절 밸브 시스템의 전원으로 적용될 수 있음</p>				<p>보고서 면수 : 49</p>	

		코드번호	D-01			
연구의 목적 및 내용	본 연구의 목적은 농업용 관로에 적용 가능한 10W급의 발전 시스템의 개발과 관로형 발전시스템을 평가할 수 있는 시험 평가 시스템, 생산된 전력을 활용 가능하도록 변환시켜주는 전력변환 시스템의 개발을 목적으로 함					
연구개발성과	관로형 자가발전 시스템은 3차의 시제를 통해 자가발전 시스템 적용 시험을 수행하였으며, 2차 시제에서는 1차시제의 코깅토크 문제점을 개선하는 설계, 3차 시제에서는 2차 시제의 회전자 질량 저감 개선 설계를 수행하여 시험하였음. 직선형 관로의 특성으로 인해 조합시험의 수행은 성공하지 못하였으나, 관로형 발전기의 구조 개선을 통해 관로형 발전을 구현할 수 있는 기본 자료로 활용될 수 있을 것으로 보임. 또한 개발된 유량에 따른 발전시험평가시스템은 기타 유사한 관로형 발전 시스템의 시험 평가를 목적으로 활용될 수 있으며, 함께 개발된 10W급의 전력 변환회로는 향후 개발될 발전 시스템과 함께 관수조절 밸브 시스템의 전원으로 적용될 수 있음					
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<p>본 연구에서 도출된 시험평가시스템, 전력변환회로는 향후 완성될 시스템에 대하여 시험평가 및 전력변환 시스템으로 활용이 가능하며, 발전기의 3차에 걸친 시제 제작과 시험의 데이터를 통해 보다 나은 구조의 발전 시스템을 완성할 수 있을 것임</p> <p>관로형 발전기의 개발 완성을 통해 점적관수와 지중관수 등 대량/정밀 관수 컨트롤을 요구하는 원격 밸브 시스템의 부품으로 적용될 수 있을 것임. 또한 완성된 원격 관수 조절 시스템의 적용을 통해 열악한 노지 재배농가의 생산성 향상, 유지비(전기,인건비)절감, 정밀관수로 작목 품질 향상과 같은 효과를 기대할 수 있음</p> <p>기 개발된 시스템과 향후 개발될 발전 시스템의 조합을 통해 구현될 관로형 자가발전 시스템은 스마프(주)를 통하여 원격 관수조절 밸브 시스템에 적용될 수 있을 것으로 보이며 지속적으로 지원할 계획임</p>					
중심어 (5개 이내)	유량계	발전기	농업관로	밸브	충전시스템	

< SUMMARY >

		코드번호	D-02			
Purpose& Contents	<p>The purpose of project is to develop a 10W-class power generation system applicable to agricultural pipelines, a test evaluation system that can evaluate the pipelined generation system, and a power conversion system that converts the generated power to enable utilization.</p>					
Results	<p>The self-generated power system was tested for the self-generated power system through the prototype of the third generation.</p> <p>Although the combination test was not successful, it seems to be possible to use it as a basic data to realize the pipeline type power generation by improving the structure of the pipeline type generator, and the power generation test evaluation system according to the flow rate, It should be able to be used for the purpose of test evaluation of power generation system.</p> <p>In addition, the developed 10W power conversion circuit can be applied as a power source of the water control valve system together with the power generation system to be developed in the future</p>					
Expected Contribution	<p>The test evaluation system and power conversion circuit derived from this study can be used as a test evaluation and power conversion system for the system to be completed in the future.</p> <p>It can be applied as a component of remote valve system that requires mass/precise water control such as drip irrigation and underground water irrigation through completion of development of self powered generator. In addition, through the application of the completed remote water control system, it is possible to expect such effects as improvement of the productivity of the poor agro-cultivator, reduction of the maintenance cost (electricity, labor cost)</p> <p>The pipeline type power generation system to be implemented through the combination of the developed system and the future development system seems to be applicable to the remote water control valve system through SMARP Co.,</p>					
Keywords	Flow meter	generator	agricultural pipeline	valve	Charging system	

< 목 차 >

1. 연구개발과제의개요	7
2. 국내외 기술개발 현황	8
3. 연구수행 내용 및 결과	12
4. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	37
5. 연구결과의 활용계획 등	37
6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	37
7. 연구개발성과의 보안등급	38
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비현황	38
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적	38
10. 연구개발과제의 대표적 연구실적	39
11. 기타사항	39
12. 참고문헌	39

<별첨> 자체평가의견서

1. 연구개발과제의 개요

코드번호	D-03
------	------

가. 연구개발 목적

- 농업용 관로에 적용 가능한 자가발전 유량계 기술 개발

1-2. 연구개발의 필요성

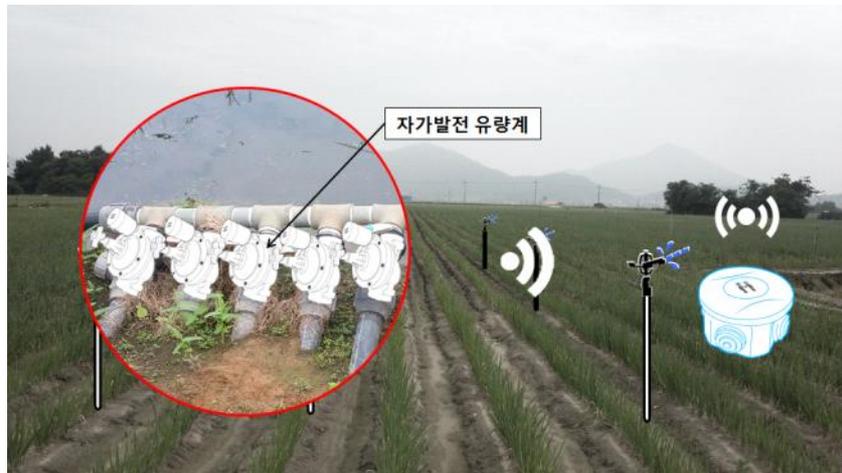
- 농업에 있어서 생산량 증대를 구현하기 위해서는 농업용수의 효과적인 관리가 필수적임
- 농업용수의 경우 자동화 설비를 구현하기 위해서는 전력이 충분히 확보되어야 하나 농업의 특성상 전력 사정이 좋지 않은 야지에 관로가 위치할 가능성이 매우 큼
- 농업용수의 흐름에 있어서 중간에 용수를 저장하는 저장고를 확보할 경우 마이크로 그리드 전력시스템과 같은 개념의 농업용수 저장, 분배 시스템의 구현이 가능해짐
- 이를 위해서 자가 구동이 가능한 밸브 및 유량 측정 시스템이 필요하고 본 연구개발이 필요해짐
- 특히 시범지역 희망농가 실사 과정에서 약 1/3의 가구에서 전력문제가 발생하였으며, 이를 위한 실수요도 존재하는 것으로 조사됨

1-3. 연구개발 범위

- 농업용 관로에 적용 가능한 발전시스템 개발
 - 유속을 이용한 10W급 발전 시스템 개발
- 유속을 이용한 발전에 적합한 전력시스템 개발
 - 20Wh 급 전력 저장 시스템 구현
- 상용 유량계 연동 및 통합 제어 시스템 구현

<연구개발 대상 및 기술의 개요>

- 연구개발 대상 : 농업용수 조달을 위한 관로에 설치 가능한 유량계 및 밸브 시스템
- 개발하고자 하는 기술 : 농업용수의 관로에서의 흐름에서 발생하는 운동에너지를 이용하여 밸브시스템에 장착된 자가발전 장치를 충전 및 저장하고 저장된 전기에너지를 이용하여 밸브의 구동 전원 및 유량계의 전원을 공급함.



<사용 예>

- 기구설계 기술 : 상용 유량계 모듈과 호환되며 방습/방진에 적합한 구조 설계
- 터빈설계 기술 : 발전 효율을 최대화 할 수 있는 터빈 설계
- 발전기 설계 기술 : 기존 관로에 적용 가능한 구조 및 출력 최대화를 위한 최적 설계
- 축전 및 회로 기술 : 발전된 에너지를 저장할 수 있는 회로 설계 및 축전 시스템 설계

2. 국내의 기술개발 현황

코드번호	D-04
------	------

가. 국내 기술 수준 및 시장 현황

○ 기술현황

- 현재 국내에서 관로용 수력 발전기를 개발하고 있는 업체는 없는 것으로 파악되고 있음

○ 시장현황

- 중국에서 개발된 저가형 소형 수력발전기가 상용화되어 국내외 인터넷 쇼핑몰 등에서 판매되고 있음
- 대부분의 용량은 일반 수도관(2cm)을 대상으로 한 것으로 농업용 관수에 적용하기에는 어려움이 있음
- 전남 신안군 임자도 실사 결과 희망농가 34농가 중 12농가가 전력문제를 호소하는 등 국내 시장에 공개될 경우 사용을 희망하는 수요처가 많을 것으로 예상됨

○ 경쟁기관현황

- (해당없음)

○ 지식재산권현황

- 본 연구개발 대상과 유사한 특허로 대표적으로 다음과 같은 특허들이 검색되었음
- 수력발전과 관련해서는 수력발전소 규모의 대형 발전기에 대한 특허가 많았으며, 관로용 수력발전 장치에는 주로 터빈의 형상과 관련된 특허가 주를 이루었음

특허명	출원번호	대표도
관로용 수력 발전장치	PCT/KR2016/0009 72	
유체 배관을 이용한 발전장치	PCT/KR2009/0044 61	
급수관에 설치하도록 된 수력 발전장치	KR100780316B1	

- 위의 특허와 관련된 특허 회피 방안은 다음과 같음
- 관로를 이용한 수력발전은 그 역사가 오래되어 기본적인 개념의 경우 이미 특허권리가 소멸된 것으로 보임
- 최근의 특허는 주로 관로용 수력발전기의 블레이드와 관련된 내용이 많으며, 이는 회피 설계 등을 통해 권리범위를 피해나갈 수 있을 것으로 보임

○ 표준화현황

- (해당없음)

○ 기타현황

- (해당없음)

나. 국외 기술 수준 및 시장 현황

○ 기술현황

- 수력 발전과 관련해서는 대용량의 수력 발전소 차원의 연구개발이 진행되나 있으며, 관로용 수력 발전기에 대한 특허도 다양한 블레이드 형태를 중심으로 출원되어 있음

을 확인할 수 있음

- 하지만, 상업용으로 판매되고 있는 발전기는 아래의 시장현황에서 소개된 발전기 정도의 수준이며, 그 성능도 발전량이 작아 좋은 평가를 받고 있지 못함

○ 시장현황

- 중국에서 개발된 저가형 소형 수력발전기가 상용화되어 국내외 인터넷 쇼핑몰 등에서 판매되고 있음
- 대부분의 용량은 일반 수도관(2cm)을 대상으로 한 것으로 농업용 관수에 적용하기에는 어려움이 있음
- 중국 구 농촌 대부분이 상시전력문제를 안고 있으며, 인도 농촌 역시 전력공급이 불안정하여 농업실용화 기술이전의 대상이 될 수 있을 것으로 예상됨

Specification



Weight	165 g
Output voltage	3.6V
Battery Capacity	300mA
Maximum working pressure	1.75 MPa
Working pressure	0~1.75MPa
Working temperature	0~110°C
Maximum	30mins at 110 °C
Recommend flow rate range	1.5~20 l/min(Pressure 0.05-0.2mpa)
Installation Method	direction of arrow
Material	nylon/glass fiber, Polyformaldehyde
Size of the input and output openings	0.8inch

<Portable Micro-hydro Generator Water Charger High Efficiency 3.5W, \$13.00>

- 출처:https://www.amazon.com/BQLZR-Portable-Micro-hydro-Generator-Efficiency/dp/B00K74GPVM/ref=sr_1_fkmr0_2?ie=UTF8&qid=1479946345&sr=8-2-fkmr0&keywords=hydro+pipe+generator

○ 경쟁기관현황

- 중국에서 개발된 저가형 소형 수력발전기가 상용화되어 국내외 인터넷 쇼핑몰 등에서 판매되고 있으나 농업용 관로에 적용하기에는 크기가 작음.

○ 지식재산권현황

- 미국 특허를 중심으로 관로내 수력발전(in pipe hydro electric generator)에 관한 특허는 다수 검색됨.
- 그중 특허의 주요 내용은 발전기의 터빈 형상에 관한 것이며 수력발전소 단위의 대형 발전 장비에 대한 특허가 주를 이룸

특허명	출원번호	대표도
Hydroelectric turbine and method for producing electricity from tidal flow	US 11/185,666	
In-pipe hydro-electric power system and turbine	US 7959411 B2	
Hydroelectric in-pipe generator	US 7579703 B2	

- 위의 특허와 관련된 특허 회피 방안은 다음과 같음
- 관로를 이용한 수력발전은 그 역사가 오래되어 기본적인 개념의 경우 이미 특허권이 소멸된 것으로 보임
- 최근의 특허는 주로 관로용 수력발전기의 블레이드와 관련된 내용이 많으며, 이는 회피 설계 등을 통해 권리범위를 피해나갈 수 있을 것으로 보임

○ 표준화현황
- (해당없음)

○ 기타현황
- (해당없음)

3. 연구수행 내용 및 결과

코드번호	D-05
------	------

아래의 연구수행 내용은 다음과 같은 순서로 기술하였다.

- 상용 제품 분석
- 시험 시스템 설계 및 제작
- 발전기 1차 시제 설계 및 제작
- 전력변환회로 설계 및 제작
- 발전기 2차 시제 해석 및 제작
- 발전기 3차 시제 해석 및 제작
- 고찰

1. 상용 제품 분석

관로형 자가발전 시스템의 개발을 위하여 현재 시중에서 시판되고 있는 시제품 2종에 대한 시험을 통해 유량에 따른 발전기의 발전 특성에 대하여 분석하였다. 현재 시판되고 있는 관로형 발전기 2종은 아래 사진에 포함하였다. 상용제품 1과 2는 모두 20mm의 일반 수도용 관로를 이용하는 관로형 발전기이다. 두 제품 모두 여용 유량은 20L/min으로 기재되어 있으며, 최대 발전 전력은 2.5W수준으로 기재되어 있다.



<상용 제품 1>



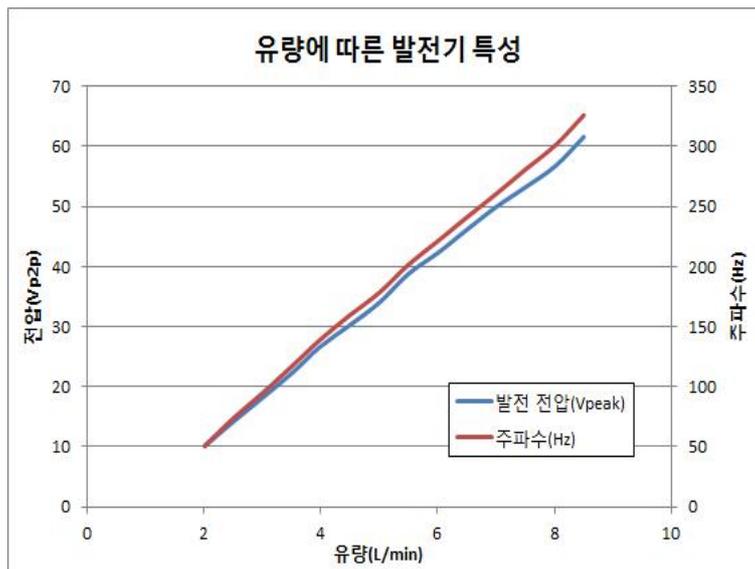
<상용 제품 2>

발전기의 특성을 분석하기 위하여 가장 먼저 무부하 발전 특성을 파악하기 위한 시험을 수행하였다. 2절에서 제시할 시험 시스템에 대상 상용 제품을 장착하여 유량에 따른 발전 특성을 분석하였다.

시험 시스템에서 유량은 밸브에 의해 조절되며 0.5L/min의 단계로 유량을 변화시키며 발전 전압과 그때의 전원 주파수 특성을 비교하였다. 상용제품 1에 대한 유량에 따른 무부하 발전특성 시험 결과는 다음과 같다.

<유량에 따른 발전 특성(상용제품 1)>

No	유량(L/min)	발전 전압(Vpeak)	주파수(Hz)
4	1.50	-	
5	2.01	10.08	50.75
6	2.52	14.32	74.54
7	2.98	18.00	93.85
8	3.52	22.40	117.70
9	3.98	26.60	138.80
10	4.49	30.20	159.30
11	5.00	34.00	178.30
12	5.50	38.80	201.70
13	6.02	42.40	221.90
14	6.48	46.00	240.30
15	7.01	50.00	260.90
16	7.50	53.20	280.80
17	8.02	56.80	301.30
18	8.50	61.60	326.10



<유량에 따른 발전 특성 비교(상용제품 1)>

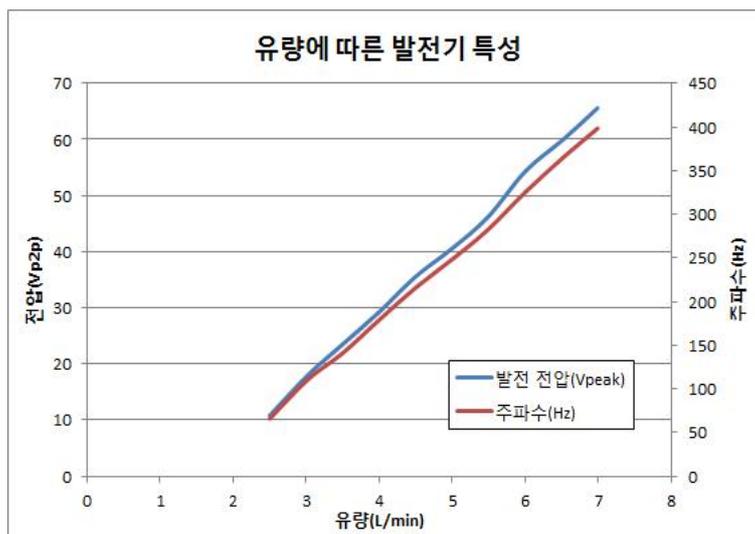
위의 표와 그래프에서 보이듯, 상용제품 1은 유량이 증가함에 따라 전압이 선형적으로 증가하며, 회전수 증가에 따라 전원 주파수 역시 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 유량이 1.5L/min 이하의 범위에서는 제품내의 블레이드가 회전하지 않아 발전이 되지

않았으며, 유량 8.5L/min 이상의 범위에서는 유동 저항의 상승으로 인해 시험시스템의 설비로는 더 이상의 유량이 증가하지 않는 무의미한 시험결과가 도출되었다. 제품의 사양에 기재되어 있는 20L/min과 비교할 때 42.5%의 유량만 허용된 것으로 실험되었다.

상용제품 2에 대한 유량에 따른 무부하 발전특성 시험 결과는 아래에 나타내었다. 상용제품 1에서와 마찬가지로, 유량은 밸브에 의해 조절되며 0.5L/min의 단계로 유량을 변화시키며 발전 전압과 그때의 전원 주파수 특성을 비교하였다.

<유량에 따른 발전 특성(상용제품 2)>

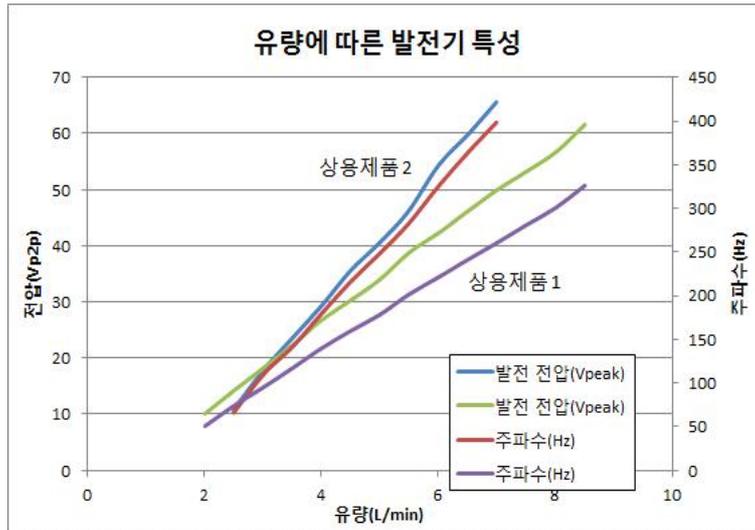
No	유량(L/min)	발전 전압(Vpeak)	주파수(Hz)
5	2.00	-	
6	2.50	10.80	65.96
7	3.02	18.00	110.60
8	3.49	23.40	140.30
9	4.01	29.40	179.90
10	4.50	35.60	216.10
11	5.00	40.60	248.50
12	5.49	46.20	282.50
13	6.01	54.45	326.10
14	6.52	60.00	365.10
15	6.99	65.60	398.40



<유량에 따른 발전 특성 비교(상용제품 2)>

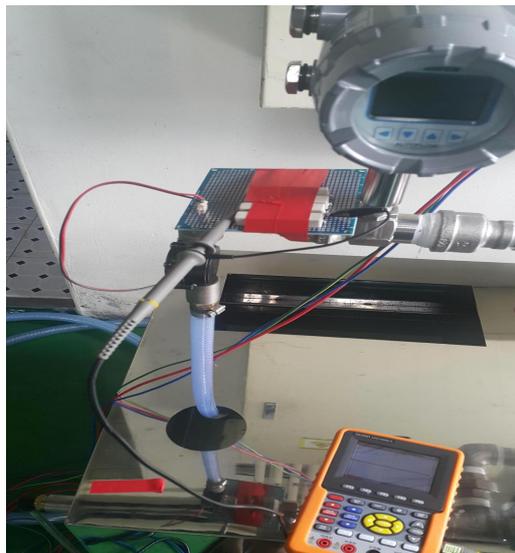
위의 표와 그래프에서 보이듯, 상용제품2 역시 상용제품 1에서의 시험결과와 마찬가지로 유량이 증가함에 따라 전압이 선형적으로 증가하며, 회전수 증가에 따라 전원 주파수도 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 다만 상용제품2에서는 최소 발전 유량이 2.5L/min으로 측정되었으며, 최대 유량은 7L/min으로 측정되었다.

상용제품 1과 2의 유량에 따른 발전기 특성 비교는 다음과 같다.



<유량에 따른 발전 특성 비교(상용제품 1, 2)>

두 제품 모두 무부하 시험 결과 두 제품 모두 선형적인 출력 전압 특성 및 주파수 특성을 보였으나, 각각의 허용유량 및 전압, 주파수의 범위는 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다. 발전기의 부하 특성 비교를 위한 부하 시험 결과는 아래에 나타내었다. 부하는 각 발전기의 최대 전력전송이 가능한 부하를 선정하였다. 부하 시험 장치 및 시험 사진은 아래에 나타내었다.

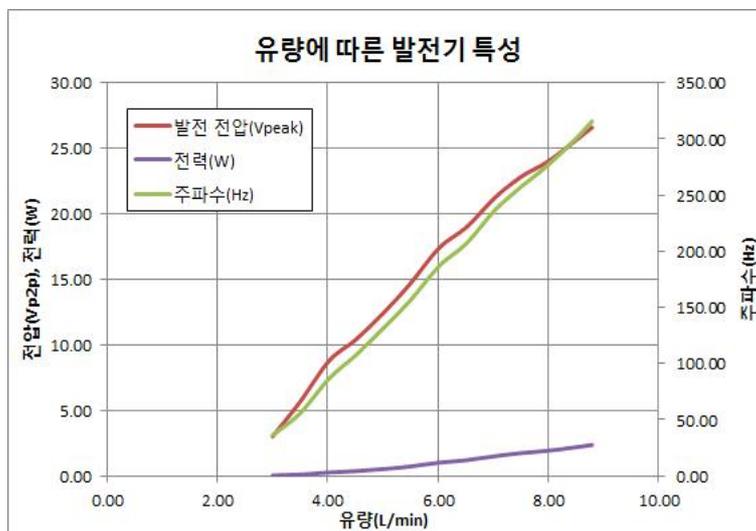


<부하시험 장치>

상용 제품1에 대한 부하시험 결과는 아래와 같다. 무부하 시험 시 상용제품 1의 최소 유량이 2.0L/min이었던데 반하여 부하시험에서는 3.0L/min에서 발전전압이 측정되었으며 이때의 발전 전압은 3.0V로 무부하시험 18V와 비교하여 16.6% 수준으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이때 측정된 전원의 주파수는 36.22Hz로 무부하 시험 시 측정된 93.85Hz의 값보다 38.6% 수준으로 감소된 것을 확인할 수 있었다. 실제 부하가 연결되었을 때 저항의 증가로 발전기의 회전 속도는 38.6% 감소되었으며, 이때의 전류에 의한 반작용으로 발전 전압역시 감소한 것으로 보인다. 상용 제품1의 허용 최대 유량은 8.79L/min이었으며, 이때 최대 전력은 2.36W로 측정되었다. 시험 영역에 대하여 전압, 주파수, 전류, 전력은 선형적인 결과를 보였으나, 무부하 시험과 비교하여 볼 때 성능의 저하가 심각하게 발생하는 것으로 확인되었다.

<유량에 따른 발전 특성_부하시험 (상용제품 1)>

No	유량(L/min)	발전 전압(V _{peak})	주파수(Hz)	전력(W)	전류(A)
6	-				
7	3.00	3.00	36.22	0.03	0.02
8	3.49	5.60	55.16	0.10	0.04
9	4.03	8.80	86.88	0.26	0.06
10	4.51	10.40	107.50	0.36	0.07
11	5.00	12.40	131.20	0.51	0.08
12	5.48	14.60	155.40	0.71	0.10
13	6.02	17.40	186.90	1.01	0.12
14	6.52	19.00	207.30	1.20	0.13
15	7.02	21.20	236.20	1.50	0.14
16	7.49	22.80	256.90	1.73	0.15
17	7.99	24.00	276.70	1.92	0.16
18	8.49	25.60	300.01	2.18	0.17
19	8.79	26.60	315.90	2.36	0.18

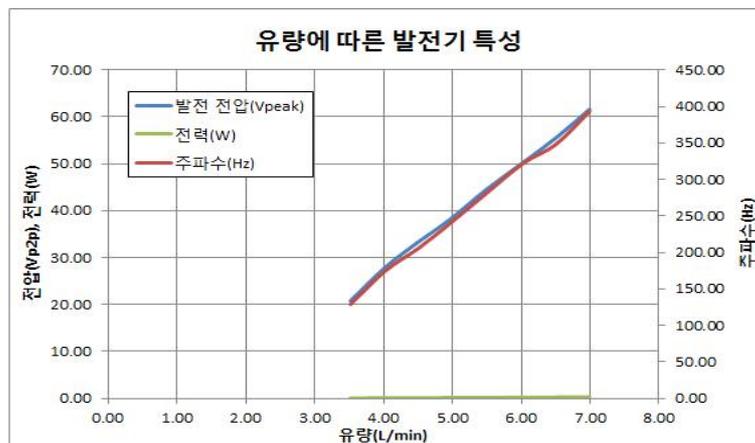


<유량에 따른 발전 특성_부하시험(상용제품 1)>

상용 제품2에 대한 부하시험 결과는 아래와 같다. 무부하 시험 시 상용제품 2의 최소 유량이 2.5L/min이었던데 반하여 부하시험에서는 3.52L/min에서 발전전압이 측정되었으며 이때의 발전 전압은 20.80V로 무부하시험 23.4V와 비교하여 88.8% 수준으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이때 측정된 전원의 주파수는 128.80Hz로 무부하 시험 시 측정된 140.30Hz의 값보다 91.8% 수준으로 감소된 것을 확인할 수 있었다. 실제 부하가 연결되었을 때 저항의 증가로 발전기의 회전 속도는 91.8%로 감소되었으며, 이때의 전류에 의한 반작용으로 발전 전압 역시 감소한 것으로 보인다. 상용 제품2의 허용 최대 유량은 6.99L/min이었으며, 이때 최대 전력은 0.33W로 측정되었다. 상용제품 2의 부하시험에서는 시험 영역에 대하여 전압, 주파수, 전류, 전력은 선형적인 결과를 보였으나, 최종 발전량이 0.33W로 제품 스펙상의 결과와 비교하여 매우 작은 값이 측정되었다.

<유량에 따른 발전 특성_부하시험 (상용제품 2)>

No	유량(L/min)	발전 전압(Vpeak)	주파수(Hz)	전력(W)	전류(A)
7	-				
8	3.52	20.80	128.80	0.08	0.28
9	4.03	28.00	174.90	0.11	0.37
10	4.51	33.40	205.90	0.14	0.45
11	4.97	38.20	240.00	0.16	0.51
12	5.50	44.60	281.50	0.20	0.59
13	6.02	50.20	321.50	0.24	0.67
14	6.51	55.60	348.50	0.28	0.74
15	6.99	61.60	393.20	0.33	0.82



<유량에 따른 발전 특성_부하시험(상용제품 2)>

상용 제품1과 2의 무부하 시험, 부하시험의 결과 다양한 전압범위 및 주파수 범위를 갖는 관로형 발전기의 특성을 유추할 수 있었으며, 특히 부하 시험의 경우 무부하 시험과 유량에 따른 발전 전압 및 출력 전력의 차이가 심각하게 발생할 수 있음을 확인하였다.

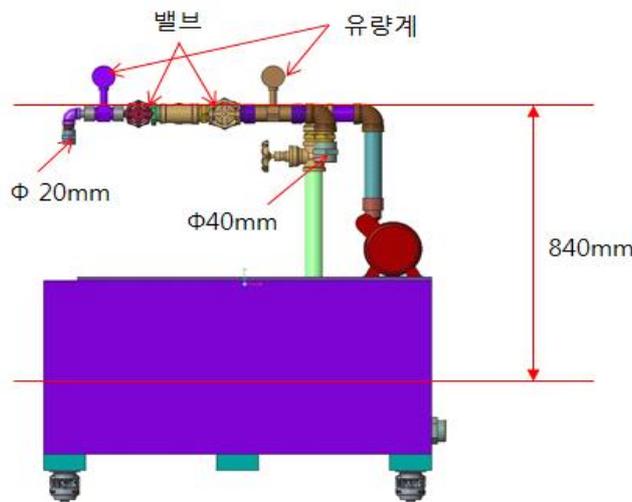
2. 시험 시스템 설계 및 제작

발전기의 특성 시험을 수행하기 위한 시험시스템을 제작하였다. 시험시스템은 상용제품의 시험 및 시제품의 시험을 수행하기 위하여 20mm/40mm 배관을 동시에 갖는 시스템으로 설계하였으며, 이때의 해당 성과 목표는 다음과 같다.

<해당 성과목표>

	단위	개발 목표	성과 달성	비고(기존 제품)
관로 크기	mm	40	40	20
적용 유량	L/min	6~80	80	1.5~20

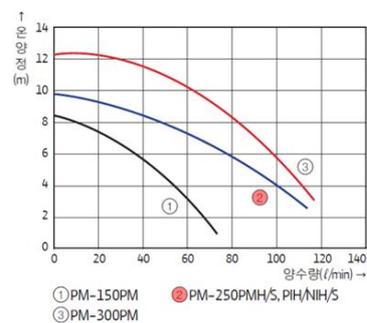
하나의 펌프로 20mm 관로와 40mm 관로를 동시에 시험하기 위하여 아래와 같은 시험시스템 개념 설계를 진행하였다. 하부의 물탱크는 200L 규모로 선정하였으며, 펌프는 20L/min~80L/min을 토출할 수 있는 펌프를 선정하였다. 유량계는 최대 100L/min을 측정할 수 있도록 구성하였다.



<시험 시스템 개념설계>

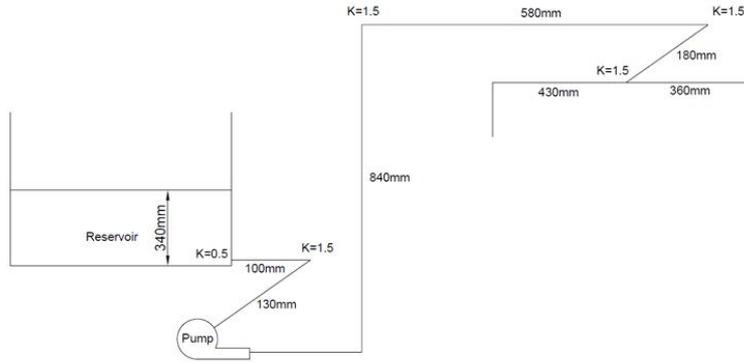


<시험시스템 대상 펌프>



<대상 펌프 사양>

개념 설계된 시험시스템에 대하여 수두 해석을 수행하기 위하여 시스템 다이어그램을 작성한 결과는 다음과 같다.



<펌프 수두 해석 다이어그램>

위의 다이어그램에서 유선을 수조의 자유표면에서 수도꼭지까지 취하면 다음과 같은 파라미터를 얻는다.

<펌프 수두 해석 파라미터>

Item	Value	Unit	Item	Value	Unit
P1	0	Pa	P2	0	Pa
v1	0	m/s	v2	0.4	m/s
Z1	0	m	Z2	0.5	m
			D(배관경)	0.04	m

이때의 유량은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$Q = Av = \frac{\pi D^2}{4} \cdot v = \frac{\pi \times 0.04^2}{4} \times 0.4 = 5.027 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$$

층류조건인 레이놀즈 수를 계산하고 이를 바탕으로 관마찰계수를 계산할 수 있다.

$$\text{Re} = \frac{VD}{\nu} = \frac{0.4 \times 0.04}{1.307 \times 10^{-6}} = 12242$$

$$f = \frac{0.316}{\text{Re}^{0.25}} = \frac{0.316}{12242^{0.25}} = 0.03$$

이때의 수두 손실은 다음과 같다.

$$\left[f \frac{L}{D} + \sum K \right] \frac{v^2}{2g} = \left(0.03 \times \frac{1830}{40} + 5 \right) \times \frac{0.4^2}{2 \times 9.81} = 0.052$$

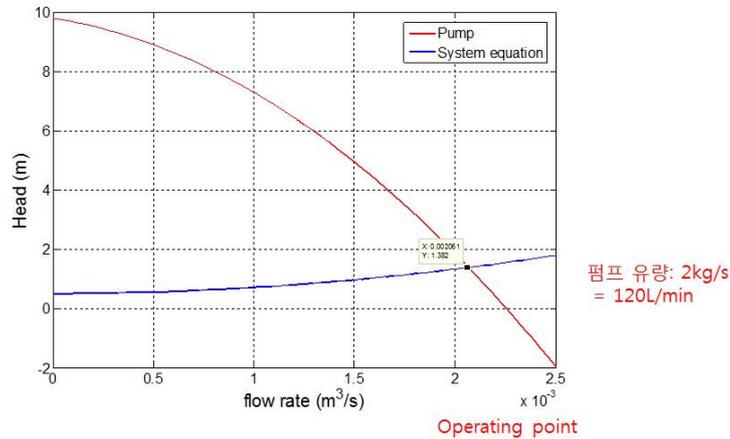
펌프의 수두는 다음과 같다.

$$H_p = \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \left[f \frac{L}{D} + \sum K \right] \frac{v^2}{2g} = \frac{0.4^2}{19.6} + 0.5 + 0.052 = 0.56m$$

계산된 펌프의 수두를 유량의 함수로 다시 표현하면 다음과 같다.

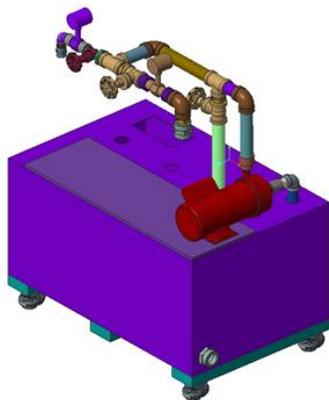
$$H_p = 0.5082 + 205870 * Q^2$$

위에서 계산된 시스템 방정식을 시험시스템의 펌프 사양과 비교하면 다음과 같은 동작점을 얻을 수 있다.

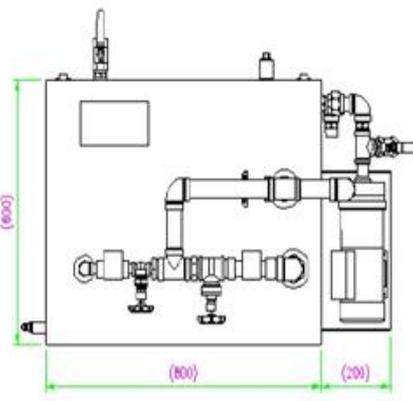


<시험시스템 동작점 분석>

시험 시스템에서 요구하는 유량은 80L/min이므로 위의 설계를 통하여 요구되는 유량을 만족할 수 있을 것으로 예상하였으며 이를 바탕으로 수행된 상세 설계는 다음과 같다.



<시험시스템 설계 사시도>



<시험시스템 외각 치수>

제작된 발전기 성능평가 시험 장치는 다음과 같다.



<발전기 성능 평가 시험 장치>

3. 발전기 설계 및 제작

10W의 발전 성능을 갖는 발전기의 설계 및 제작을 수행하였다. 이때의 해당 성과 목표는 다음과 같다.

<해당 성과목표>

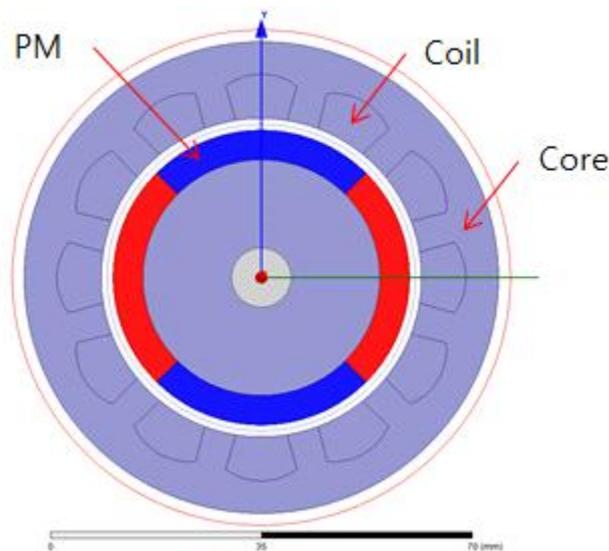
	단위	개발 목표	성과 달성	비고 (기존 상용품)
관로 구조	-	직선형 구조	직선형 구조	꺾임 구조
관로 크기	mm	40	40	20
발전량	W	10	-	1

기존의 연구를 살펴보면 대형 수력 발전을 위한 대용량의 수력발전소 차원의 연구는 다양하게 진행되어 있다. 하지만, 관로의 수력에너지를 이용한 발전과 관련된 연구는 그 연구 결과가 미미하며, 상업용으로 판매되고 있는 발전기도 앞서 살펴본 바와 같이 발전량이 작아 좋은 평가를 받고 있지 못하다. 또한 유량의 용량역시 일반 수도관(20mm)을 대상으로 한 것으로 농업용 관수에 적용하기에는 어려움이 있다.

본 발전기를 설계하는데 있어서 가장 우선적으로 고려된 사양은 직선형 구조를 도입하는 것이다. 직선형 구조는 꺾임구조와 비교하여 볼 때 기존의 관로를 꺾임 없이 그대로 적용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 불순물의 처리에 유리하다는 장점이 있다.

관로형 발전기 설계를 위하여 전자장 해석을 통한 발전기 형상 및 코일 설계를 수행하였다. 형상에 따른 발전 파형 분석 및 고출력 발전 구조를 적용하고자 하였다.

발전기 상세 설계안 도출을 위하여 수행한 발전기 개념 설계 결과는 다음과 같다.

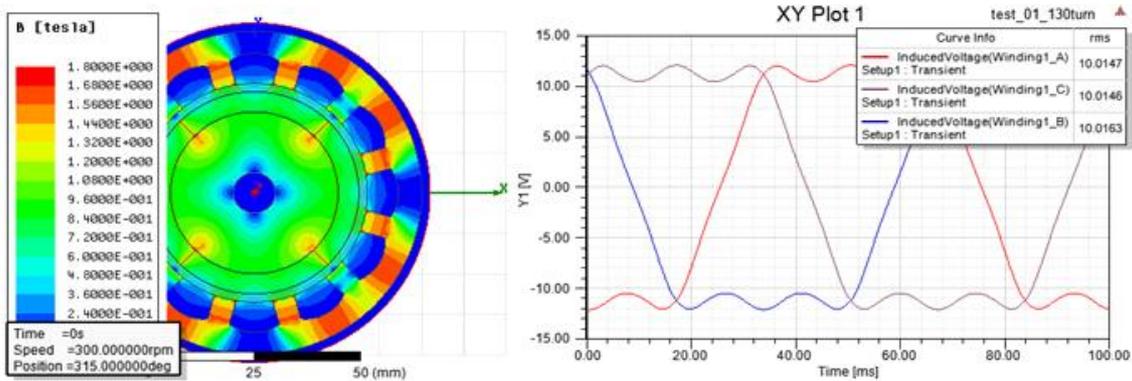


<발전기 개념 설계>

<발전기 개념설계 파라미터>

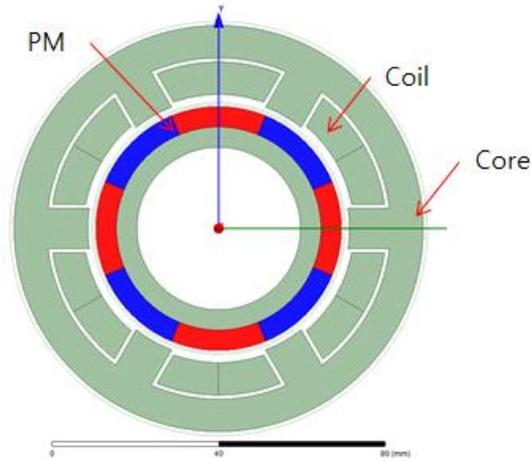
Item	Value	Unit	note
Pole	4	-	
Slot	12		
Turn	85	-	
depth	40	mm	
Ro	25	mm	회전자 외경

4극의 발전기에 대하여 해석된 출력 파형은 다음과 같다. 300rpm의 회전에 대하여 10Vrms의 전압을 획득할 수 있도록 설계되었으며, 3상 12slot 구조를 적용하였다.



<발전기 개념 설계안 해석결과>

위의 개념설계 내용을 바탕으로 상세 설계를 수행하였다. 상세 설계에서는 관로와 직접 연결하여 유량이 흐를 수 있도록 회전자의 내부에 40mm의 직경을 갖는 관수 투입부를 적용하였다. 충전회로부와의 연동을 위해 권선경을 키우고 턴수를 줄이는 설계를 반영하였으며, 이 과정에서 8극 6슬롯 구조를 적용하였다. 8극의 구조를 적용한 이유는 자석의 극피치를 줄여 회전자의 코어 두께를 줄이고 코깁토크의 영향을 줄이기 위함이다. 또한 고정자 자속밀도 해석에 있어서도 4극보다 8극이 자속밀도 저감의 측면에서 유리하다고 할 수 있다. 발전기 상세 설계 결과는 다음과 같다.

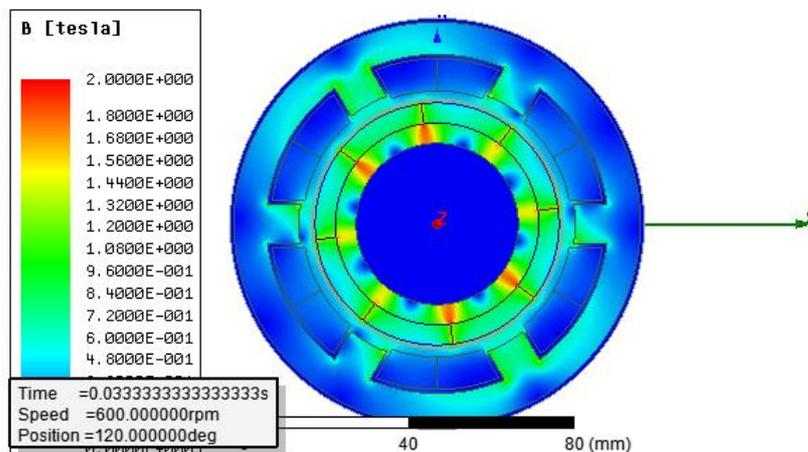


<발전기 상세 설계(1차시제)>

<발전기 상세설계 파라미터>

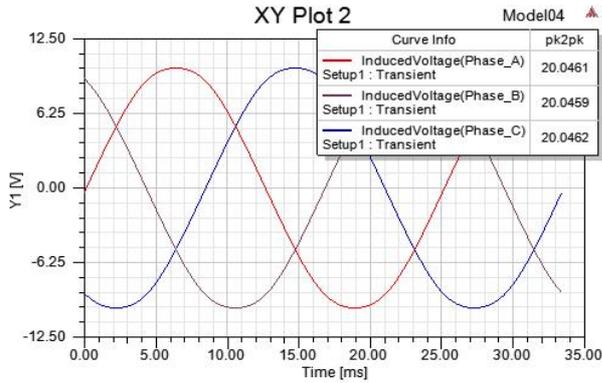
Item	Value	Unit	note
Pole	8	-	
Slot	6		
Turn	50	-	
depth	50	mm	
Ri	20	mm	회전자 내경
Ro	30	mm	회전자 외경
Speed	600	rpm	

위의 상세 설계안에 대한 해석 자속밀도 분석 결과는 다음과 같다. 앞의 개념 설계단계에서 보였던 고정자에서의 포화 현상이 개선되었으며, 회전자 자극의 모서리 부분에서 발생하는 부분적 자속밀도 집중현상도 성능에는 크게 영향을 미치지 않을 것으로 예상되었다.

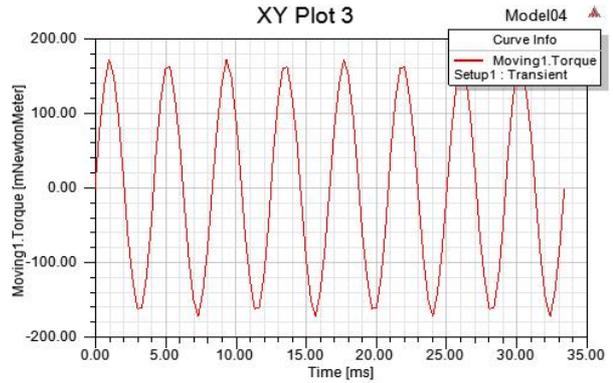


<상세 설계 자속밀도 해석>

위의 상세 설계안에 대한 역기전력 해석 및 코깅토크 해석 결과는 다음과 같다.

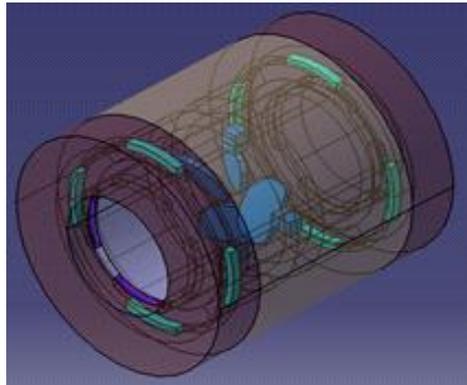


<역기전력 해석 결과(1차시제)>

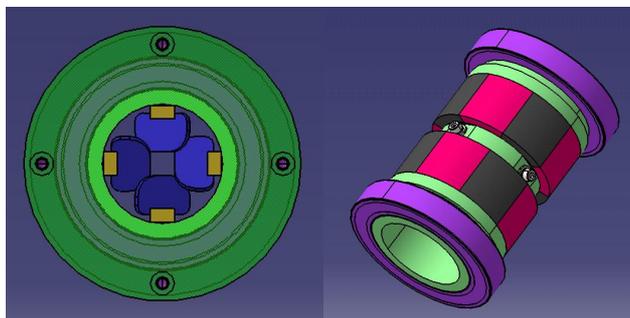


<코깅토크 해석 결과(1차시제)>

600rpm의 회전에 대하여 20.04Vpp의 전압을 확보하였으며, 코깅토크는 200mNm로 해석되었다. 위의 해석을 바탕으로 발전기의 3D 모델링을 도출하였다. 유량으로부터 에너지 변환을 구성하기 위한 fan설치를 위해 회전자 자석을 25mm의 2층으로 구성하였으며, 외부 하우징을 기준으로 고정자가 설치되며, 회전자의 양단에 베어링에 의한 맞춤으로 자유롭게 회전할 수 있도록 구성하였다.

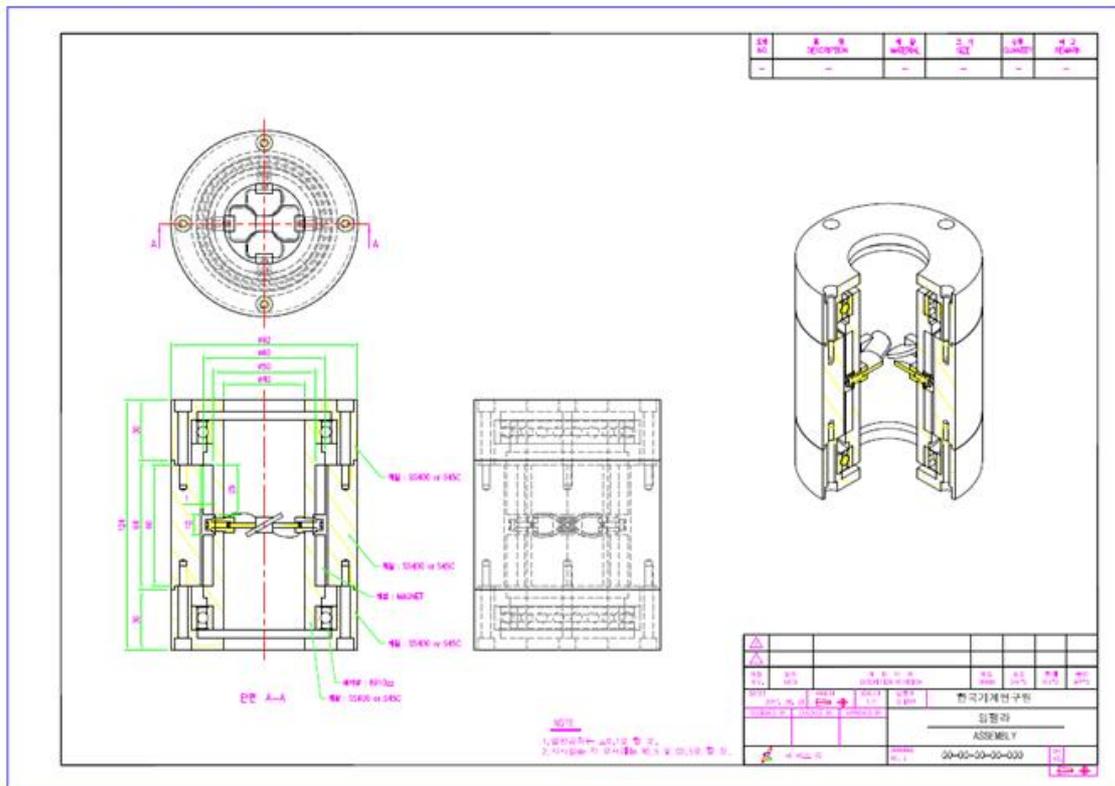


<발전기 3D 모델링(사시도)>



<발전기 3D 모델링(정면도)><발전기 3D 모델링(회전자)>

위의 3D 모델링을 반영한 제작도면은 다음과 같다.



<발전기 제작 도면>

제작된 회전자 부착용 영구자석과 발전기 회전자는 아래 그림에 나타내었다.



<회전자 부착용 영구자석>



<발전기 회전자>



<제작된 발전기 고정자(1차시제)>



<제작된 발전기 조립품(1차시제)>



<제작된 발전기 외관(1차시제)>

발전기 1차 시제의 시험에 있어서 해당 유속에 대하여 회전자가 회전하지 않는 문제점이 도출되었으며 따라서 2차 시제를 통해 문제를 해결하고자 하였다. 실험 중 문제로 제시된 원인은 과도한 코깅 토크의 영향으로 유추하였으며, 2차시제에서 코깅토크를 개선하는 설계안을 제시하고자 하였다.

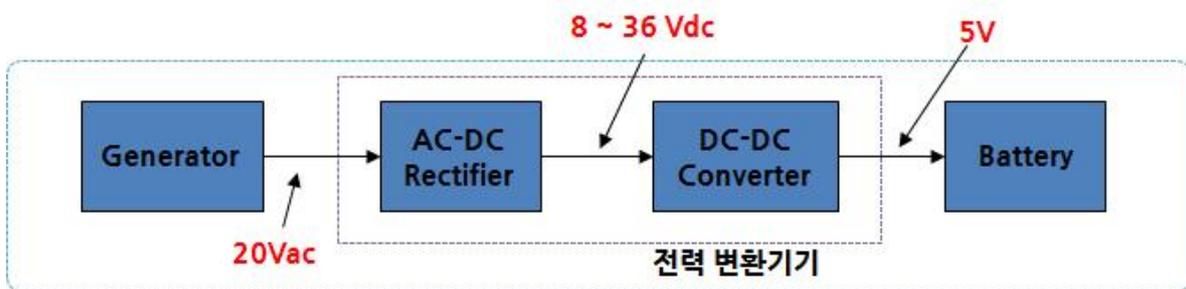
4. 전력변환회로 설계 및 제작

10W의 발전 성능을 갖는 발전기의 설계 및 제작을 수행하였다. 이때의 해당 성과 목표는 다음과 같다.

<해당 성과목표>

	단위	개발 목표	성과 달성	비고
에너지 저장 용량	Wh	20	20Wh(충전회로)	-

전력 변환 시스템을 구성하기 위하여 발전기로부터 배터리에 이르는 전력변환 시스템을 다음과 같이 구성하였다. 발전기로부터 전송되는 20Vac의 전원은 전파정류회로와 DC-DC 컨버터를 통해 5V 배터리를 충전할 수 있도록 구성되었다. 전력변환 시스템의 구성도 및 상세 사양은 아래에 나타내었다.

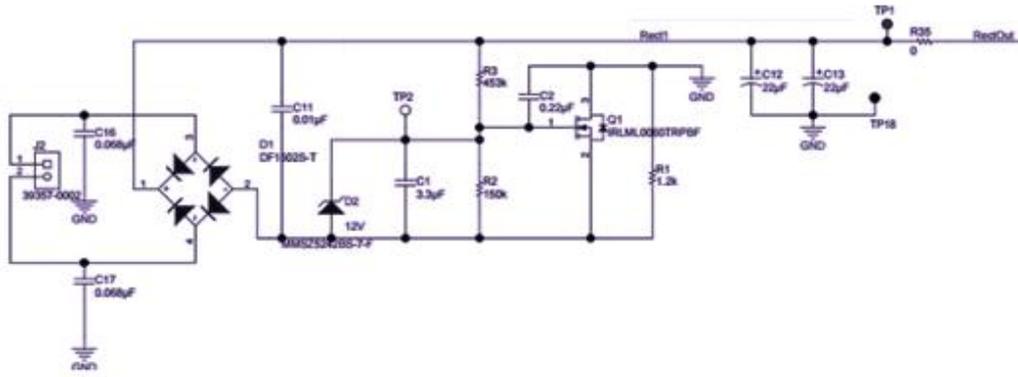


<전력변환기 시스템 구성도>

<전력변환 시스템 상세 사양>

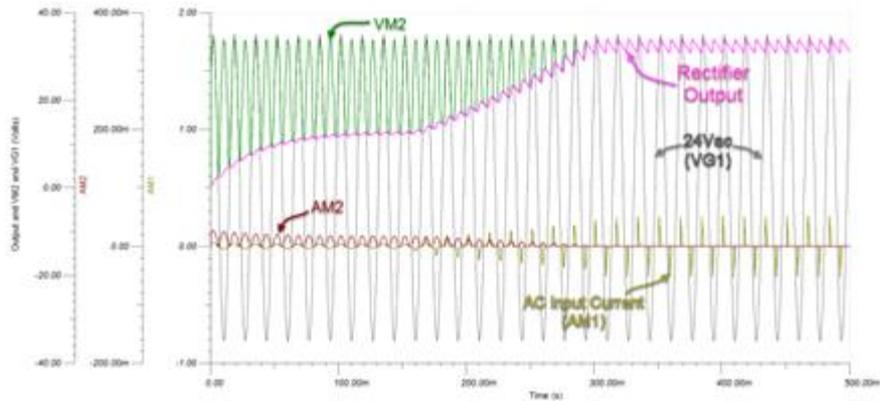
PARAMETER	SPECIFICATIONS	NOTES
Input power source	20 VAC	
Input Freq.	10~300 Hz	
LM25011 (RectOut to LMOut) efficiency	87.00%	160-mA output
Input Vdc	8 V to 36 V	
Output voltage	12 Vdc	
Maximum load current (IOUT(max))	1.5A	
Soft-start time	5 ms	

전파 정류회로 기본 설계 결과는 다음과 같다.



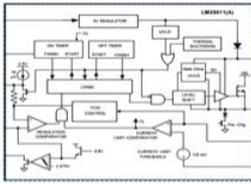
<전파정류 회로를 사용한 SOFT STRT 회로>

위의 전파정류회로를 사용한 정류회로의 시뮬레이션 파형은 아래와 같다.

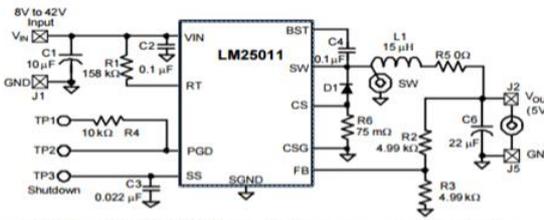


<전파정류 회로를 사용한 SOFT STRT 시뮬레이션 파형>

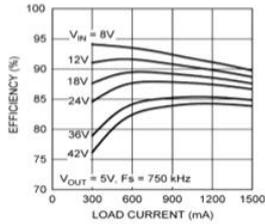
전파 정류 이후 DC-DC 컨버터의 구성을 위하여 BUCK 컨버터 토폴로지를 적용한 DC-DC 회로를 검토하였다. 발전기에서 발전되는 전압의 범위가 넓기 때문에 다양한 입력 전압에 대하여 전력 변환을 할 수 있도록 LM25011 소자를 적용하여 DC-DC 컨버터 회로를 구성하였다.



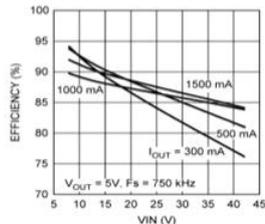
<LM25011 function block>



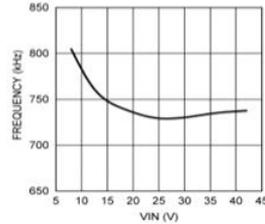
<넓은 입력 범위를 갖는 BUCK 컨버터 >



<입력전압에 따른 효율 분석>



<부하전류에 따른 효율>



<입력전압에 따른 스위칭주파수>

<DC-DC 컨버터 상세 설계>

위의 설계를 바탕으로 전력변환 회로를 제작하였으며 제작된 전력변환 시스템은 아래와 같다. 다양한 입력 전압에 대하여 안정적인 전력변환을 할 수 있도록 캐패시터의 용량을 여유 있게 설계하였으며, 단위 구성품 시험을 위하여 저항부하를 사용하였다.



<20Wh급 전력 변환 시스템>

제작된 전력변환 회로는 저항 부하를 이용하여 12.4W의 출력 시험을 완료 하였다.

<전력변환 시스템 출력>

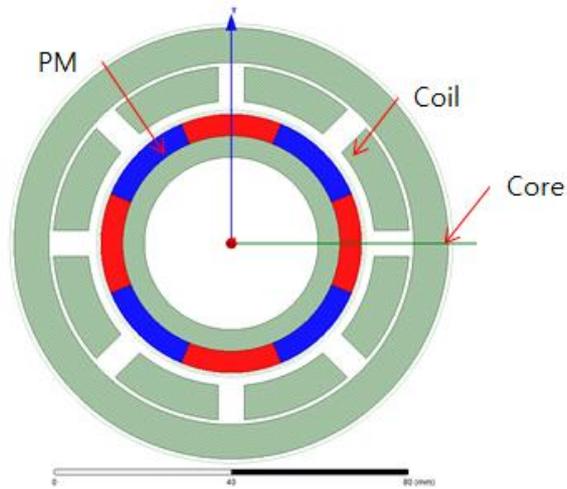
Item	Value
output voltage	12.4 V
Load	1ohm
output power	12.4W



<회로 성능 시험>

5. 발전기 2차 시제 해석 및 제작

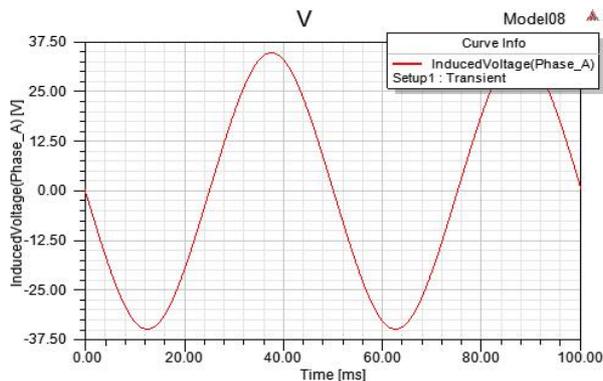
발전기 1차 시제의 문제점은 과도한 코깅으로 파악되었다. 따라서 코깅을 줄이는 설계를 도출하기 위하여 발전기 고정자의 치를 비 자성재질로 제작하는 설계 변경을 수행하였다. 이때 자속의 손실을 보상하기 위하여 코일 수를 늘리고 또한 3상의 설계안을 단상 구조로 변경하여 해석하였다. 2차 시제로 도출된 설계안은 다음과 같다.



<발전기 2차 시제 상세 설계>

<발전기 상세설계 파라미터>

Item	Value	Unit	note
Pole	8	-	
Slot	12		비자성 치
Turn	350	-	
depth	50	mm	
Ri	20	mm	회전자 내경
Ro	30	mm	회전자 외경

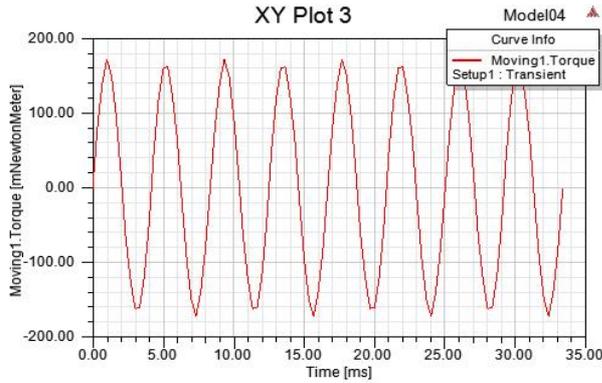


<역기전력 해석 결과(2차시제)>

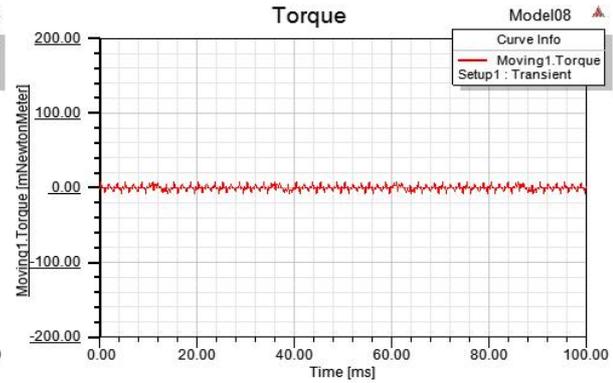
발전기 2차 시제에 대한 역기전력 해석 결과는 위의 그림에 나타내었다. 유효 자속의 감

소로 인한 손실 보전을 위해 300rpm에서도 69.48Vpp의 역기전력을 확보하도록 코일부를 설계하였다.

발전기 2차 시제 설계안에 대한 코깁토크 해석은 아래 그림에 나타내었다. 1차 시제의 코깁 토크와 비교하여 보면, 코깁토크가 5%미만으로 저감되었음을 알 수 있다.



<코깁토크 해석 결과(1차시제)>



<코깁토크 해석 결과(2차시제)>

제작된 발전기 2차 시제는 아래 그림에 나타내었다.

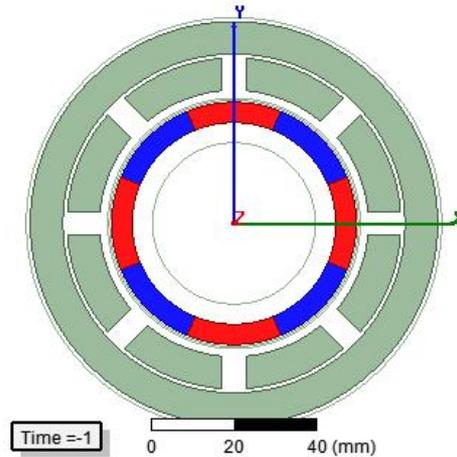


<제작된 발전기 고정자(2차시제)>

발전기 2차 시제의 시험에 있어서도 유량의 증가에도 불가하고, 회전자가 정상회전하지 않은 현상이 발생하였으며, 이는 회전자의 질량이 과도하게 설계된 것으로 파악되어 회전자의 질량을 저감하는 방향의 3차 시제 설계를 진행하였다.

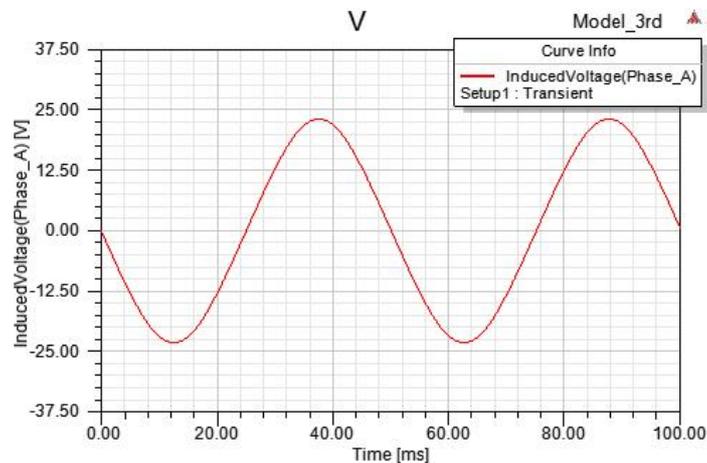
6. 발전기 3차 시제 해석 및 제작

발전기 2차 시제의 문제점으로 회전자의 코어 질량으로 인한 이너시아의 문제점이 제기되었으며 이를 개선한 3차 시제의 설계안을 도출하였다. 회전자의 질량을 저감하기 위하여 회전자 코어의 재질을 비자성체인 MC 재질로 변경하였으며 이를 적용한 해석안은 아래에 나타내었다. 2차 시제의 회전자 질량(1015g) 기준으로 43% 수준으로 저감된 437g의 회전자를 제작하여 3차 시제에 적용하였다.



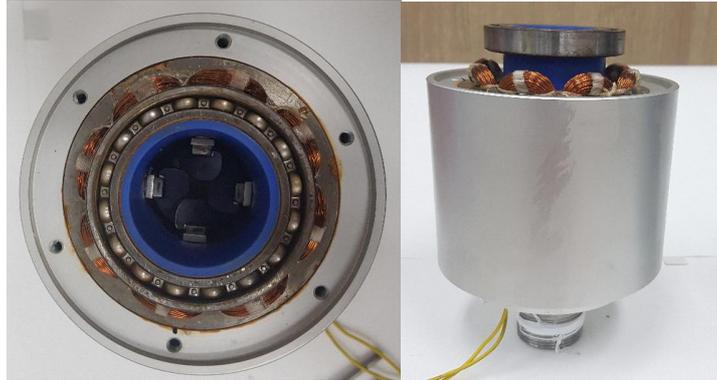
<발전기 3차 시제 상세 설계>

발전기 3차 시제에 대한 역기전력 해석 결과는 아래의 그림에 나타내었다. 회전자 코어의 제거로 인한 역기전력 감소분은 34%로 300rpm 기준으로 46.18Vpp 역기전력을 보이고 있다.



<역기전력 해석 결과(3차시제)>

제작된 발전기 3차 시제는 아래 그림에 나타내었다.



<제작된 발전기 고정자(3차시제)>

<제작된 발전기 고정자(3차시제)>



<제작된 발전기 고정자(3차시제)>

발전기 3차 시제의 시험에 있어서도 유량의 증가에도 불가하고, 회전자가 정상회전하지 않은 현상이 발생하였다. 최종적으로 직선형으로 제작된 관수용 발전기의 경우 팬 사이의 유격으로 인한 누수로 유량에 의한 운동에너지가 회전에너지로 변환되는 효율이 낮게 설정되었으며, 추가적인 시험에서도 베어링의 유격으로 인한 축 비틀림의 영향으로 회전자가 정상 회전하지 못한 것으로 파악된다.

7. 고찰

본 관로형 자가발전 시스템의 설계에 있어서 우선적으로 고려되었던 사항은 직선형 구조를 채용한 관로형 발전기였다. 직선형 구조의 경우 오지에서 활용될 가능성이 높은 본 시스템에 대하여 이물질이 유입되더라도, 걸림 현상 없이 발전이 계속적으로 유지될 수 있을 것이라는 점이 장점으로 제시 되었다. 또한 기존의 관수를 비틀림이나 꺾임 없이 활용할 수 있다는 점도 직선형 관로가 우선적으로 고려된 이유이다.

관로형 자가발전 시스템은 3차의 시제를 통해 자가발전 시스템 적용 시험을 수행하였으며, 2차 시제에서는 1차시제의 코깅토크 문제점을 개선하는 설계, 3차 시제에서는 2차 시제의 회전자 질량 저감 개선 설계를 수행하여 시험하였다. 회전력 부족의 원인을 발전기의 회전자의 구조로 파악하여 개선설계에서도 조합시험의 수행은 성공하지 못하였으나, 본 개발과정의 노하우를 통하여 개선된 관로형 발전시스템의 구현이 가능할 것으로 보인다. 또한 개발된 유량에 따른 발전시험평가시스템은 기타 유사한 관로형 발전 시스템의 시험 평가를 목적으로 활용될 수 있으며, 함께 개발된 10W급의 전력 변환회로는 향후 개발될 발전 시스템과 함께 관수조절 밸브 시스템의 전원으로 적용될 수 있다.

8. 보완계획

보완항목	상세 내용	완료 일정
- 블레이드 검토	- 저유량 방식에 유리한 펠톤 수차 방식의 블레이드 구조 검토 및 형상 적용 설계(오지의 저유량 환경에서 사용되는 블레이드는 양력을 이용한 팬형상이 적합하지 않기 때문에 유량의 운동에너지를 변환에 활용할 수 있는 펠톤수차방식으로 제안하고자 함)	~2018.04
- 발전 시스템 재 검토	- 펠톤 수차 방식의 블레이드 구조에 대하여 적용가능한 발전 시스템 검토 및 적용 설계	~2018.04
- 단품 시험 및 구동 시험	- 유량에 따른 블레이드의 회전 에너지 전달 시험(구성품 시험) - 발전기의 외부 회전 구동에 대한 발전량 측정 및 전력변환 조합 시험(구성품 시험)	~2018.05
- 블레이드-발전기 조합 시험	- 블레이드-발전기 조합시험 및 에너지 변환 성능 측정 및 외부 기관의 인증 시험을 통해 공인인증을 수행하겠음	~2018.06

4. 목표달성도 및 관련분야 기여도

		코드번호	D-06		
4-1. 목표달성도					
<성 과목표>					
	단위	개발 목표	성과 달성	비고 (기존 상용품)	가중치
관로 구조	-	직선형 구조	직선형 구조	꺾임 구조	20
관로 크기	mm	40	40	20	20
발전량	W	10	-	1	20
에너지 저장 용량	Wh	20	10W	-	20
적용 유량	L/min	6~80	80	1.5~20	20
4-2. 관련분야 기여도					
<p>농업용수의 경우 자동화 설비를 구현하기 위해서는 전력이 충분히 확보되어야 하나 농업의 특성상 전력 사정이 좋지 않은 야지에 관로가 위치할 가능성이 매우 크고 특히 기술 개발이 상용화 될 경우 마이크로 그리드 전력시스템과 같은 개념의 농업용수 저장, 분배 시스템의 구현이 가능해져 스마트 농업의 기로가 확보 될 수 있음. 비록 본 과제에서 전체 시스템의 구현을 달성하지 못하였으나, 향후 구현된 관로형 발전기의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 보인다. 또한 본 과제에서 개발된 시험시스템은 유량에 따른 관수형 발전 시스템의 성능평가에 활용될 수 있을 것이며, 개발된 전력변환회로는 관로형 발전기의 특성으로 파악되는 다양한 전압의 입력범위와 주파수 범위를 갖는 발전 시스템에 대하여 효과적으로 전력변환할 수 있는 시스템으로 직접 활용이 가능할 것으로 보임.</p>					

5. 연구결과의 활용계획

	코드번호	D-07
<p>본 연구에서 도출된 시험평가시스템, 전력변환회로는 향후 완성될 시스템에 대하여 시험평가 및 전력변환 시스템으로 활용이 가능하며, 발전기의 3차에 걸친 시제 제작과 시험의 데이터를 통해 보다 나은 구조의 발전 시스템을 완성할 수 있을 것임</p> <p>관로형 발전기의 개발 완성을 통해 점적관수와 지중관수 등 대량/정밀 관수 컨트롤을 요구하는 원격 밸브 시스템의 부품으로 적용될 수 있을 것임. 또한 완성된 원격 관수 조절 시스템의 적용을 통해 열악한 노지재배농가의 생산성 향상, 유지비(전기,인건비)절감, 정밀 관수로 작목 품질 향상과 같은 효과를 기대할 수 있음</p> <p>기 개발된 시스템과 향후 개발될 발전 시스템의 조합을 통해 구현될 관로형 자가발전 시스템은 스마트(주)를 통하여 원격 관수조절 밸브 시스템에 적용될 수 있을 것으로 보이며 지속적으로 지원할 계획임</p>		

6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

	코드번호	D-08
○ (해당없음)		

7. 연구개발결과의 보안등급

	코드번호	D-09
○ 본 과제는 일반과제 임		

8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

					코드번호	D-10		
구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록번호
(해당없음)								

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

	코드번호	D-11
○ 안전관리대책 <ul style="list-style-type: none"> - 연구원 모든 건물에 출입카드가 있어야만 출입이 가능함. 모든 연구실은 각 출입문에 비밀번호가 있어 외부인의 출입을 금하고 있음 - 모든 건물의 출입구에 CCTV Camera를 설치하여 운영하고 있음 - 연구소내 자체 소화기 및 누전 차단기가 설치되어 있고 점심시간과 퇴근시간에는 모든 전원을 끄고 플러그까지 뽑도록 조치함으로 화재를 예방하고 있음 - 매달 4일은 안전점검의 날로 안전 교육 실시 및 연구실 정기안전점검 등을 수행하고 있음 - 각 연구실에서 연구결과와 관련된 자료는 시건장치가 구비된 캐비닛이나 책장에 보관토록 의무화하고 있음 - 모든 연구원 직원들은 의무적으로 1년에 1차례씩 정기건강검진을 수검해야 함 - 연구결과의 보안 및 화재 예방 등에 최선을 다할 것임 		

10. 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문 /특허 /기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국 가	코드번호		D-12	
						Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등)
1	특허	자가 발전 스마트 밸브	스마프(주)		대한민국		2017.08.29.	-	-

11. 기타사항

코드번호	D-13
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수요기업인 스마프(주)는 3건의 주요 언론 홍보 및 2건의 박람회 참석을 통해 원격 밸브 시스템의 사업화 및 홍보를 진행해 왔으며, 자가발전 유량계 시스템 또한 시스템 완성의 요소로 홍보되었음 ○ 언론 홍보자료 3건('17.03.13. 아주경제, '17.02.22.헬로우대덕, '14.04.03.이슈메이커) ○ 박람회 참석 2건('17.11.08.AGRITEK '17.11.15. 첨단농축산기자재박람회(KIAFE))

12. 참고문헌

코드번호	D-14
	<p>[1] Portable Micro-hydro Generator, https://www.amazon.com/BQLZR-Portable-Micro-hydro-Generator-Efficiency/dp/B00K74GPVM/ref=sr_1_1?s=lawn-garden&ie=UTF8&qid=1518525026&sr=1-1&keywords=BQLZR</p> <p>[2] 특허 : PCT/KR2016/000972</p> <p>[3] 특허 : PCT/KR2009/004461</p> <p>[4] 특허 : KR100780316B1</p>

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농식품창업벤처지원 R&D바우처 시범사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농식품창업벤처지원 R&D바우처 시범사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.