

중소기업융복합기술개발사업

40kHz급 양산형 고상접합용 초음파 금속 용접
시스템 개발

(주)누리기술

중소기업기술정보진흥원

[별지 제4-②호]

중소기업 기술개발사업 최종보고서											
사업명	중소기업융복합기술개발사업										
과제명	40kHz급 양산형 고상접합용 초음파 금속 용접 시스템 개발										
주관기관	(주)누리기술				대표자			김금수			
					과제책임자			김금수			
주소	대구 동구 반야월로 242				전화번호			053-961-9001			
총개발기간	2012. 12. 1 ~ 2014. 11. 30 (24개월)										
개발사업비 (천원)	정부 출연금	505,000	투자 기업 부담금	-	기업 부담금	현금		168,336		계	841,670
						현물		168,334			
공동개발기관	세흥정밀										
위탁연구기관	(재)경북하이브리드부품연구원										
개발목표 달성도(%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
개발완료시기	2014년 11월 30일										
보고서 공개유무	공개(O), 비공개(년) *비공개는 최장 5년임.										
<p>중소기업기술개발 지원사업 운영요령 제24조 규정에 의하여 최종보고서를 제출합니다.</p> <p><별첨> 1. 중소기업 기술개발사업 최종보고서 종합관리시스템 제출 및 출력물 1부. 2. 공인인증기관의 시험성적서 등 기술개발결과물의 객관적 증빙 자료 (종합관리시스템 제출 및 출력물 1부) 3. 수행기관 현물출자 확인서 4. 사업비 사용내역 장부 및 관리통장(사본 1부) 5. 사업비 집행 영수증 사본 1부</p> <p style="text-align: right;">2015년 1월 28일</p> <p style="text-align: right;">과제책임자 : 김금수 주관기관 : (주)누리기술 대표자 : 김금수</p> <p style="text-align: right;">   </p> <p>중소기업청장 귀하</p>											

제 출 문

중소기업청장 귀하

본 보고서를 중소기업 기술개발사업 수행과제의 최종보고서로 제출합니다.
(최종보고서 공개(O), 비공개(년) *비공개는 최장 5년임.)

□ 사 업 명 : 중소기업융복합기술개발사업

□ 과 제 명 : 40kHz급 양산형 고상접합용 초음파 금속 용접 시스템 개발

□ 개발기간 : 2012. 12. 1 ~ 2014. 11. 30 (24개월)

2015. 1. 28.

주 관 기 관 : (주)누리기술

(대표자) 김 금 수



(공동개발기관) 세흥정밀

(대표자) 윤 복 응



(위탁연구기관) (재)경북하이브리드부품연구원

(대표자) 권 영 각



과제책임자 : 김금수 대표이사

연 구 원 : 이광욱 과장 외 3명

" : 윤복응 대표(공동개발기관 책임자)

" : 이한균 부장 외 1명

" : 문지훈 부장(위탁연구기관 책임자)

" : 김정호 선임연구원 외 2명

요 약 서 (초 록)

과 제 명	40kHz급 양산형 고상접합용 초음파 금속 용접 시스템 개발			
키 워 드	초음파, 금속 용접, 고상접합, 트랜스듀서			
개발목표 및 내용				
항 목	계 획	실 적	달성도(%)	
개발목표	<p>본 사업의 목표는 1kW, 40kHz급의 초음파 금속 용접 시스템을 개발하여 양산화 체제로 가져가는 것임. 이를 위해 유기적으로 연결하는 하나의 시스템을 구축할 수 있도록 시스템 종합, 기동, 운전 제어 및 시험 장비의 개발 및 제작 운용 기술을 확립 하는 것임.</p>	<p>2년 동안의 1kW, 40kHz급의 초음파 금속 용접 시스템의 연구결과로 금속 용접기 구조를 최적화시켜 설계했으며, 초음파 금속 용접이 가능한 발진장치, 혼 및 진동자를 제작 개발을 완료하였음. 또한, 발진장치의 GUI는 초보자도 초음파 금속 용접이 가능하도록 구현하였고, 세분화된 구동용 소프트웨어, 진동자와 혼을 최적화 개발하였음.</p>	100%	
정량적 목표항목 및 달성도	1. power supply 출력 전력	1kW	1117.9W	100%
	2. 공진주파수	40kHz	40.8kHz	100%
	3. 공진주파수변위	40kHz±2kHz	40kHz±5kHz	100%
	4. Transducer	1kW	1117.9W까지 확인	100%
	5. Horn 공진점	40kHz	40.8kHz 용접확인	100%
기타성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지적재산권(특허, 실용신안 등) : 특허출원 2건(초음파 용접 시스템) ○ 논문발표 : 학술대회 논문 1건 (한국생산제조시스템학회 2013년 춘계학술대회) ○ 기 타 : 기술임치 1건 			
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초음파 용접기는 대부분 수입에 의존하고 있음. 따라서 이의 개발에 의해 국내제품 대체에 의한 외화 획득의 효과가 있음. 이에 그치지 않고 공격적으로 마케팅을 하여 세계시장으로 진출함으로써 수출효과 및 국위선양의 효과가 있음 			
적용분야	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2년간의 기술 개발에 의한 금속 용접에만 그치지 않고 차후에는 wire bonding과 플라스틱 접합까지 적용분야를 넓힐 계획임. 			
변경사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 없음. 			

목 차

제 1 장 개발기술의 개요

제 1 절 기술개발의 개요 및 필요성

1. 대상기술의 개요
2. 기술개발의 필요성

제 2 절 국내·외 관련기술 현황

1. 국내 관련기술 현황
2. 국외 관련기술 현황
3. 신청과제 관련 기술개발 준비현황

제 2 장 개발목표 및 개발내용

제 1 절 기술개발 목표 및 평가항목

1. 기술개발 목표
2. 기술개발 평가항목

제 2 절 세부 개발내용 및 방법

1. 주요 기술개발내용
2. 세부 개발방법

제 3 절 기술개발 추진방법 및 체계

1. 기술개발 추진방법
2. 기술개발 추진체계

제 4 절 정량적 목표달성

1. 기술개발 결과
2. 정량적 목표달성 결과

제 3 장 성과요약 및 기대효과

제 1 절 사업성과

1. 기술적 성과
2. 경제적 성과
3. 기타 성과

제 2 절 기대효과 및 향후 계획

1. 기대효과
2. 향후 계획

제 1 장 개발기술의 개요

제 1 절 기술개발의 개요 및 필요성

1. 대상기술의 개요

가. 사업추진의 배경

- (1) 현재 공업제품의 생산에 있어 소형, 고집적, 고정밀제품의 비중이 해마다 증가하고 있는 추세이며 금속(비철금속포함)의 용접이 제품생산에서 중요한 요소로 작용하게 되었다고 볼 수 있음.
- (2) 고 정밀 용접시스템의 세계시장이 스마트폰, 전기차, IT산업, 전력산업 등의 성장에 힘입어 매년 5~8%씩 증가하고 있으며 국내 성장율은 8%이상 성장하고 있음.(출처:PRWeb San Jose, CA (Vocus) October 25, 2010, BizHospital 2011.10.14.)
- (3) BCC Research의 최신 보고서 Welding Equipment and Supplies: The Global Market에 의하면 세계 용접 제품 시장이 2012년 170억 달러, 5년 간 연평균 성장률 5.2%로 성장하며 2017년에는 210억 달러 규모에 이를 것으로 예상됨.



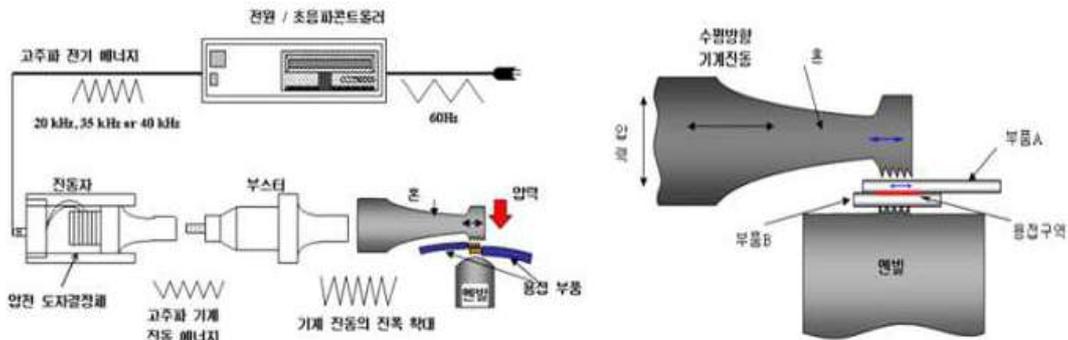
[그림 14] 용접관련 시장 전망 (출처 : Market research, 2011.7)

- (4) 용접기기(기구, 장비) 부분 세계 시장은 2012년 27억 달러 가치, 2017년 56억 달러 가치로 연평균 4.5% 성장률에 이를 것이라 예상되며, 아울러 용접 장치 시장은 높은 성숙 단계에 이르렀지만 용접 자동화와 최종 소비자 산업에 대한 수요가 늘어남에 따라 더욱 많은 성장이 예상됨.(출처 : BizHospital 2011.10.14)

나. 초음파 금속 용접 원리

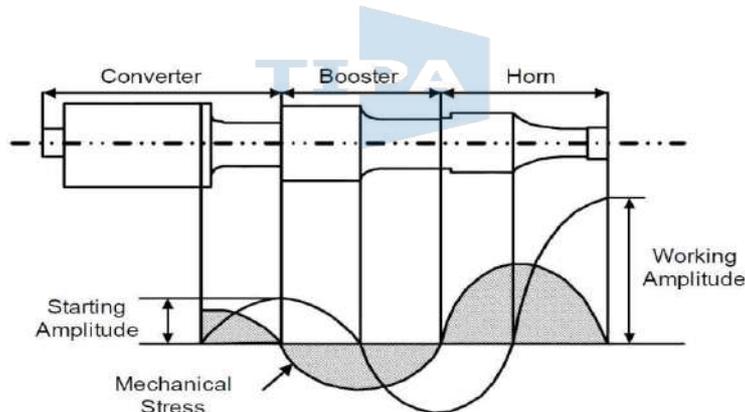
- (1) 초음파 금속 용접기의 중 핵심부는 50/60Hz의 전류를 20,000/40,000Hz의 전기 에너지로 변환시키는 컨트롤러(Power Supply)와 전기에너지를 기계적 진동에너지를 변환시키는 진동자(Converter), 진동자의 진폭(amplitude)을 증폭시키는 부

스터(Booster)와 금속 용접 대상물(금속 소재)에 진동에너지를 전달하여 용착시키는 혼(Horn), 앤빌(Anvil)로 구성되어짐.



[그림 15] 초음파 용접기 구성도 및 용접 작업부(Horn/Anvil) 구조

(2) 초음파 금속 용접기의 컨트롤러를 통해 들어온 전기적 에너지가 진동자를 거치면 고주파 기계 진동에너지로 변환되고, 전환된 에너지를 부스터에서 증폭시키고, 증폭된 초음파 진동 에너지는 혼의 Tip 부분으로 모아지게 되며, 이때 발생된 초음파 진동 에너지가 용접 대상물인 금속 면에 강제 확산 하면서 물리적으로 결합되는 방식임.



[그림 16] 트랜스듀서의 구조와 증폭 및 응력특성

(3) 높은 진폭으로 용접을 계속하면 용접 너깃이 부분적으로 경화되어 강도가 저하하거나 금속표면과 혼 팁의 경계면에서 연화를 일으키는 경우가 있음 이를 개선한 방법으로 처음에는 높은 진폭을 주고 일정시간이 지난 후 전환점에서 작은 진폭으로 용접하여 용접부의 연화를 방지하고 용접부의 강도를 향상시킬 수 있는 진폭 프로파일링(amplitude profiling)을 이용한 획기적인 초음파 용접기술이 개발되었음.

2. 기술개발의 필요성

가. 국내 기술적 환경

국내의 기술적 수준은 초보적인 수준(주파수 : 25kHz출력/1kW미만)이며 특히 장비의 신뢰성 면에서 외국제품에 비해 다소 떨어지는 것으로 분석되고 있으며, 국내 수요의 대부분은 외국제품이거나 외국부품의 사용 수준이어서 고품질의 제품 개발이 시급하고 고출력초고주파(40kHz이상/1kW이상)의 금속용접기 제품의 수요가 급격하게 늘고 있어 빠른 대응을 요하는 가시화 상황에 직면하였음.

나. 초음파 금속 용접기 현황

- (1) 초음파 에너지는 극히 작은 에너지를 이용하는 의료용 장비에서부터 금속 자체의 성질을 변화시킬 정도로 강한 에너지를 이용하는 공업용 장비까지 실로 다양한 분야에서 그 유용함을 인정받고 있으며, 금속간의 접합, 명확하게 말하면 전기 연결이나 냉매배관의 끝단 마감 시 사용되는 비철금속간의 접합이 특히 초음파 기술의 유용한 적용 항목이라고 할 수 있음.



[그림 17] 초음파 금속 용접기 활용 사례

- (2) 일반용접 시 흔히 사용되는 불꽃이나 고온의 틀, 전류, 아크를 이용한 금속용접 기술은 작업 시 청소제와 용제를 항상 수반해야 하며, 연결 시 중간 매개체로 쓰는 또 다른 금속이 이용되는 경우도 있음. 결국 이러한 공정상의 문제점과 연결될 금속의 재질을 고려한다면 이는 항상 문제점을 수반하고 있는 것임.
- (3) 아직 많은 사람들이 용접 시 발생하는 불량에 익숙해져 있어, 어느 정도의 불량을 일반적인 것으로 여기고 지나쳐 버리는 경향이 있으나, 초음파를 이용하면 그 일반적 불량율도 없앨 수 있고, 이미 유럽과 미국 등지의 대부분 업체들과 국내 대기업들은 초음파 용접기의 생산성과, 품질개선, 환경 친화적 성질 등 여러 가지 장점을 인식하고 작업 시 모든 공정에서 일반용접 공정을 없애고 초음파 용착 방식을 이용하고 있음.

- (4) 최근 자동차를 비롯한 수송기기의 친환경 요구가 강해지면서 연비향상과 배출가스를 줄이기 위해 알루미늄 등의 경합금재료가 많이 사용됨에 따라 이들의 용접기술에 대한 요구도 증대되고 있음.
- (5) 초음파 용접은 J. B. Jones에 의해 1956년 「Welding Journal」에 발표된 것으로 현재에도 기술개발 초기단계로서 초음파 에너지의 새로운 응용에 대한 실용연구가 이루어지고 있음.

다. 초음파 금속 용접의 특징과 장점

- (1) Solder를 이용하지 않는 저온 금속접합으로서 친환경적인 용접방법임.
- (2) 접합속도가 매우 빠르며, 전도성 매개체를 이용하지 않으므로 Noise 특성이 거의 발생하지 않음.
- (3) 용접 금속 표면에 상존하는 금속 산화막을 제거하고 용착하기 때문에 높은 기계적 강도와 저항이 없는 전기적 특성이 있음.
- (4) 다른 용접제, 기체, 땀납재, 소모재 등의 소모품을 필요로 하지 않음.
- (5) 복합진동 기술 등에 의해 용접성능이 매우 향상되었으며, 같은 종류 혹은 다른 종류의 금속 및 고분자재료의 용접에 많이 사용되고 있음.
- (6) 복합진동에 의하여 초음파 용접에 필요한 진동진폭이 종래의 직선운동인 경우보다 줄어들고 있으며, 또한 필요한 정압력도 감소하여 짧은 시간에 안정된 방향성이 없는 용접이 가능해짐. 자동차산업뿐만 아니라 항공우주, 선박건조 외에 또 다른 많은 강력 초음파 응용에서도 뛰어난 효과가 기대됨.



[그림 18] 초음파 용접의 적용분야

- (7) 대량생산이나 소량생산에 관계없고 용접시간이 빠른 장점이 있으며 에너지 절감, 클린 산업, 납 프리(Pb free)화 등으로 납이나 접착제가 필요치 않아 온도

특성 및 기계적 특성이 우수한 용접기술임.

라. 초음파 금속 용접기 국산화 개발 필요성

- (1) 최근 지구 환경 문제가 전 세계적인 이슈로 부각되면서 유럽을 중심으로 한 환경 규제(WEEE, RoHS 등) 강화로 Pb-free, Cr-free, Cd, Halogen 화합물 등의 사용을 전면 규제하고 있으며, 이에 따라 능동적으로 대처하고 생산효율을 향상시키면서 동시에 환경 친화적인 접합 시스템에 대한 관심이 고조되고 있음.



[그림 19] 초음파 용접 자동화 시스템

- (2) 기술적으로 기존에 사용되어지고 있는 용접은 주로 용융 용접이나 브레이징(brazing), 솔더링(soldering) 방식이 주를 이루었지만, 이러한 접합 방법은 생산성이 매우 낮고 접합 품질을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 납이나 유해가스 등의 환경오염 물질이 발생하는 문제점 때문에 고생산성, 고품질 및 친환경 용접시스템에 대한 새로운 기술이 시급히 요구되고 있음.
- (3) 특히 초음파 금속 용접 시스템은 전기분야 뿐만 아니라 기계분야에 대한 연구가 병행으로 이루어져야 우수한 시스템을 개발할 수 있으므로, 국내에는 전기 및 기계분야를 동시에 연구할 기업이 많지 않고, 기업 간의 긴밀한 연구개발이 어려운 실정이다. 이로 인해 초음파 용접에 대한 국산화가 어려움이 있음.
- (4) 국내 용접기술 인력 부분은 비교적 높은 기술수준이지만 용접기기를 제조하는 기술은 크게 뒤처지고 연구개발도 미미하여 세계시장에서 외국제품과 경쟁이 어려운 상황.

제 2 절 국내·외 관련기술 현황

1. 국내 관련기술 현황

가. 국외 초음파 금속 용접기 관련 기술개발 동향

(1) 기술현황으로 국내에서는 초음파 접합에 대한 연구가 거의 전무하고 일부 대학이나 연구소에서 금속 초음파 접합연구를 수행하고 있는 실정. 아울러 초음파 용접기에 대한 국내 기술도 부족하며, 단순히 외국 업체 제품을 수입하여 설치하는 수준에 머물고 있음.



[그림 20] 초음파 용접기 개발사례 (FST-2030MTW)

2. 국외 관련기술 현황

가. 국외 초음파 금속 용접기 관련 기술개발 동향

- (1) 초음파 용접관련 핵심 기술개발은 현재 미국이나 유럽 등 선진국에서 주도하고 있는 실정이며 유럽의 경우 초음파 용접 소재나 접합 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음. 또한 시스템 가격이 매우 고가이다 보니 범용화가 힘들고 아직 국내에서는 개발하고 있지 않는 상황임.
- (2) 특히 영국의 대표적인 용접연구소인 TWI를 중심으로 독일의 Stapla, Shunk 등 여러 초음파 관련 기업들이 환경 친화적이고 전기전도도 및 열전도도가 우수한 초음파 금속용접에 관한 연구를 수행하고 있음.



[그림 21] 해외 초음파 용접기 설비(Amtech社)

- (3) 미국에서도 용접연구소인 EWI를 중심으로 Branson과 Sonobons사가 초음파 금속 용접기에 관한 핵심기술과 노하우를 보유하여 초음파 금속용접 시스템을 전세계에 독점 판매하고 있음.
- (4) 오하이오주의 콜롬버스에 위치한 Edison Welding Institute는 첨단 초음파 토션 금속 용접 시스템(ultrasonic torsion metal welding system)을 2002년 설치하였

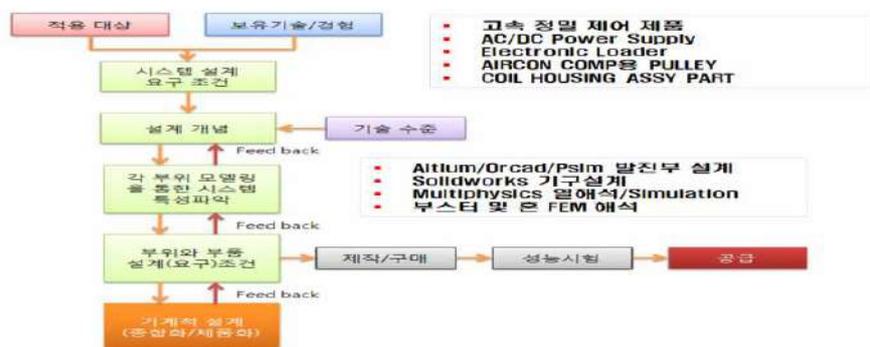
음. EWI의 선임 엔지니어인 Karl Graff 박사에 따르면 이번에 설치된 전력량이 10킬로와트이며 20킬로헤르츠의 초음파 용접기는 전 세계에서 상용화된 가장 강력한 시스템임.

- (5) 스위스의 Telsonic Ultrasonic 사의 연구진이 제작한 EWI 용접 시스템은 북미 지역에 최초로 설치된 시스템으로 알려졌다. 표준 초음파 용접 시스템이 선형으로 동작하는 것과는 달리 이 토션 용접기는 매우 높은 주파수를 제공하고, 이는 sonotrode의 팁(tip)이 단순히 동작하지 않고 회전해 진동을 유발시키는 기능을 함.

3. 신청과제 관련 기술개발 준비현황

가. 초음파 용접기 관련 전원장치 개발 추진

- (1) ㈜ 누리기술은 그간 고속 정밀 제어계측 능력을 기반으로 2차 전지 충방전 Cycler를 주력 상품으로, 전기스쿠터용 충전기, BMS(Battery Management System) 등을 개발 완료함.
- (2) 또한, 개발 의뢰와 정부과제를 통하여 연료전지용 시뮬레이터를 비롯하여 1kW급 Programmable DC Power Supply를 개발하였고, 2009년 중기청 과제로 함수 발생기 및 임의 파형 발생기 기능과 AC/DC Power Supply 및 Electronic Loader 기능을 하나의 장비로 시험할 수 있는 다기능 전원공급 및 부하시험기를 개발하였으며 현재 상용화 준비 중임.
- (3) 고속제어 계측기술(빔 컨트롤러, 고속파워 컨트롤러 - 가속기 연구소)을 바탕으로 용접 중 ‘공진점 자동추적 알고리즘’ 개발완료.
- (4) 30kHz/1kW급 AC Power Supply 개발진행 중
- (5) 따라서, 초음파 금속 용접 시스템의 전원 시스템으로 기존의 Power Supply 개발기술을 적용할 수 있으며, 아래와 같은 단계로 설계와 공급을 진행 예정임.



[그림 22] 제품 설계 및 공급 단계

제 2 장 개발목표 및 개발내용

제 1 절 기술개발 목표 및 평가항목

1. 기술개발 목표

최종 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 본 사업의 목표는 1kW, 40kHz급의 초음파 금속 용접 시스템을 개발하여 양산화 체제로 가져가는 것임. 이를 위해 유기적으로 연결하는 하나의 시스템을 구축할 수 있도록 시스템 종합, 기동, 운전 제어 및 시험 장비의 개발 및 제작 운용기술을 확립 하는 것임. - 1,000[W], 40[kHz] 금속 용접기용 초음파 발전장치(Generator) 설계 - 전체 상황 모니터링 및 구동용 소프트웨어 개발(GUI) - 시간 변화 및 환경 변화(온도 상승)에 따른 공진점 추적 최적 알고리즘 구축 - 금속 용접기용 진동자(Transducer) 및 혼(Horn) 개발 - 양산화 위한 시스템 일원화 구축
--------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

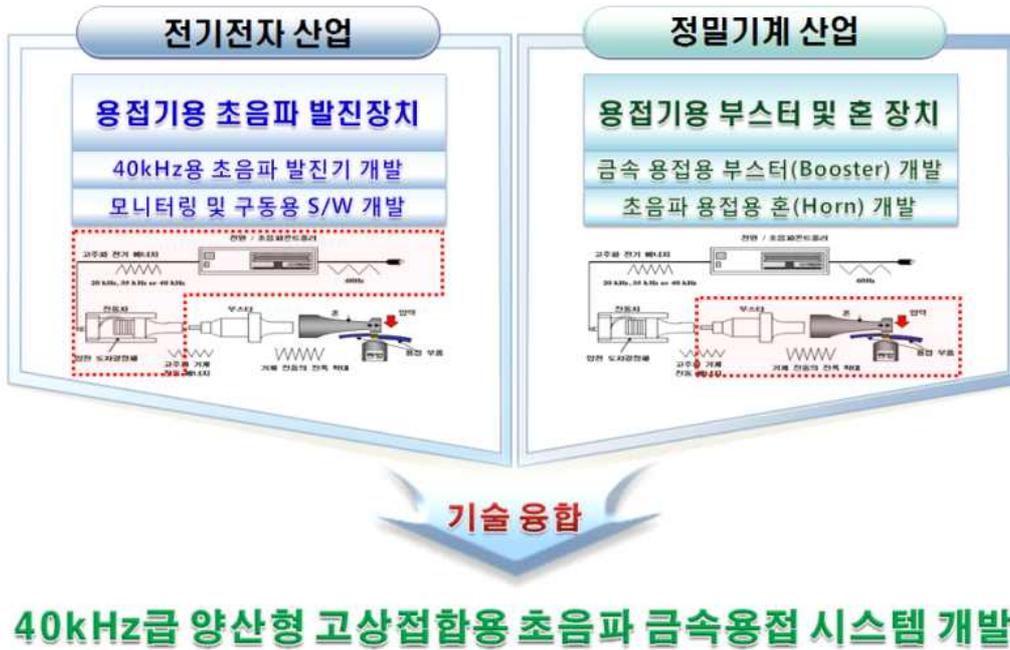
2. 기술개발 평가항목



주요 성능지표	단 위	최종 개발목표	세계최고수준 (보유국/보유기업)	가중치 (%)	객관적 측정방법	
					시료 수 (n≥5개)	시험규격
1. power supply 출력 전력	W	1kW	1kW급	20%	-	용접중 Scope의 전류 전압 probe로 측정
2. 공진주파수	kHz	40kHz	40kHz	30%	-	용접중 Scope의 전류 전압 probe로 측정
3. 공진주파수변위	kHz	40kHz±2kHz	40kHz±2kHz	10%	-	용접중 Scope의 전류 전압 probe로 측정
4. Transducer	W	1kW	1kW급	25%	-	용접중 Scope의 전류 전압 probe로 측정
5. Horn 공진점	kHz	40kHz	40kHz	15%	-	용접중 Scope의 전류 전압 probe로 측정
<input type="checkbox"/> 시료수 5개 미만 (n<5개)시 사유						
○ 1~5항목의 경우 Board 들이 조립된 Power Supply set에 대한 시험이고 용접상태에서 측정해야 됨으로 1set의 시료만으로 충분함.						
<input type="checkbox"/> 측정결과의 증빙방법 제시						
○ 성능지표 1~5의 경우 해당 공인 시험인증기관이 없어 자체평가 수행 예정						

제 2 절 세부 개발내용 및 방법

1. 주요 기술개발내용



[그림 23] 초음파 금속 용접 시스템 융복합 기술개발

가. 초음파 금속 용접기 기본구조 설계

- (1) 액츄에이터
- (2) 진동자

나. 초음파 금속 용접기용 개발사양 확정

- (1) Power Supply 사양
- (2) 압력 자동제어 구동부
- (3) 컨트롤부

다. 초음파 금속 용접기용 발전장치(이하 Power Supply) 개발

- (1) Keypad 보드
- (2) CPU 보드
- (3) 출력보드 (Output Board)
- (4) 압력제어보드 (Pressure Controller Board)

- (5) SPI 모듈
- (6) ADC 모듈
- (7) DSP 모듈
- (8) 입력필터
- (9) USB모듈
- (10) Power Supply 케이스 제작

라. 초음파 금속 용접기 구동용 Power Supply 소프트웨어(S/W) 개발

- (1) 압력제어용 모듈
- (2) GUI 모듈

마. 용접 제품 추적 관리 시스템 개발

- (1) 용접 제품 추적 관리 시스템 기본 조건
- (2) 용접 제품 추적 관리 시스템 개발 환경
- (3) 용접 제품 추적 관리 시스템 데이터베이스 설계 및 구축
- (4) 용접 제품 추적 관리 시스템 데이터베이스 연결 구현
- (5) 용접 제품 추적 관리 시스템 화면 구현

바. 초음파 금속 용접기용 진동자(Transducer) 및 혼(Horn) 개발

- (1) 초음파 금속 용접기용 진동자 및 혼 기본설계 및 정밀가공
- (2) 초음파 용접용 진동자 및 혼 진동모드 해석을 진행 할 혼의 2D 도면 및 3D 설계결과 최적화
- (3) 초음파 용접용 진동자 및 혼 시제품 신뢰성 평가를 통해 최종 가공된 진동자 및 혼에 대한 가공정밀도, 평면도, 표면거칠기 등 확인

사. 초음파 금속 용접기 기구부 설계 및 제작

- (1) 초음파 용접기 기구부는 시스템 컨트롤 부의 전력조절, 서보모터 구동, 압력제어와 연계되어 서보모터에 의해 정밀 제어되어 작동됨
- (2) 용접기 선반 배치는 용접기 기구(고정)와 컨트롤러를 상단에 두고, 비상정지 스위치(고정), 인디케이터, 풋 스위치를 선반 하단에 두고 형태로 제작함.

아. 초음파 금속 용접기 제조공정의 최종설계

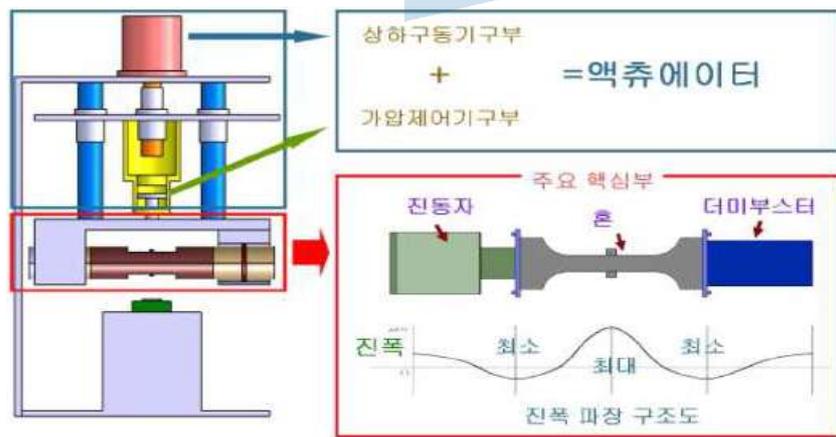
- (1) 불량률의 최소화
- (2) 품질의 균일화
- (3) 제조공정의 단순화
- (4) 생산시스템의 확충(5년간 계획)
- (5) 생산성 향상을 위한 시스템 구축

2. 세부 개발방법

가. 초음파 금속 용접기 기본구조 설계

(1) 액츄에이터

- (가) 초음파 진동에 의해 2개의 금속 접착 면에 기계적인 진동을 가함으로서 물리적인 확산작용(Diffusing)으로 강력한 접합이 이루어지는 공법임.
- (나) 따라서 초음파 금속용착은 두 금속부재에 상하로 작용하는 압력에 의해 혼이 부재와 접촉, 진동이 전달되어 용착이 이루어짐.



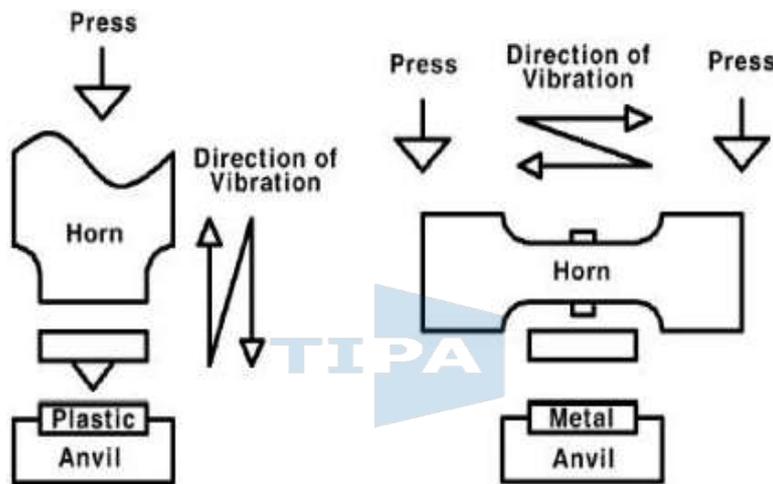
[그림 24] 초음파 금속용접기 기본 구조

- (다) 용착과정 중 혼의 양 끝에 작용하는 가압을 제어시키고, 진동이 전달되는 진동자, 혼을 상하로 움직여 부재와 접촉, 용착이 이루어지게 하는 구동부 전체를 액츄에이터라고 함.
- (라) 액츄에이터는 상하구동 기동부와 가압제어 기구부로 크게 나누어지는데 상하구동 기구부는 서로 연결된 진동자, 혼, 더미부스터(이하 공진기)를 모터를 이용하여 Anvil로 이동시키는 기구적 시스템이고, 가압제어 기구부는 부재를 공진기 및 Anvil로 가압하고 유지하여 초음파 진동에 의해 용착될 때까지 가압력

을 용착되는 부분의 크기 및 재료의 물리적 특성에 따라 제어하여 용착이 이루어지게 하는 기구부임.

(2) 진동자

(가) 플라스틱의 초음파 용접에는 통상 종진동이 사용되지만 초음파 금속용접의 경우에는 횡진동이 사용됨. 아래 그림과 같이 종진동과 횡진동에 의한 초음파 용착을 나타내며, 종진동의 경우 두 개의 용착재가 완전하게 밀착되지 않은 상태에서 진동을 받아 용접 시 용융되어 지기 때문에 용접도중 공기가 들어가 기포를 발생시키거나 먼지나 불순물이 혼입되기 쉬워 밀폐성이 파손되는 경우가 있음.



[그림 25] 초음파 용접 진동 메커니즘(플라스틱 및 금속용접)

(나) 그러나 횡진동의 경우 진동방향과 용착면의 방향이 동일 시 되기 때문에 용착면을 서로 밀착시켜 공기에 노출되지 않으며, 횡진동에 의한 여분의 불순물을 배제해서 발열시키기 때문에 양호한 기밀성 및 수밀성을 얻을 수가 있음.

(다) 횡진동 초음파 용착은 에너지 전달 및 혼의 진폭면의 크기에 한계가 있어 넓은 면적용착엔 한계가 있으나, 소재의 두께가 얇은 경우에 종진동보다 훨씬 좋은 결과를 얻을 수 있음.

나. 초음파 금속 용접기의 개발 사양 확정

(1) Power Supply 사양

(가) 출력전력: 1kW급

(나) 출력전압: 부하(진동자) 의존성을 가진 600[V]~1200[V]범위

(다) 출력전류: 부하(진동자) 의존성을 가진 1[A]~2[A]범위

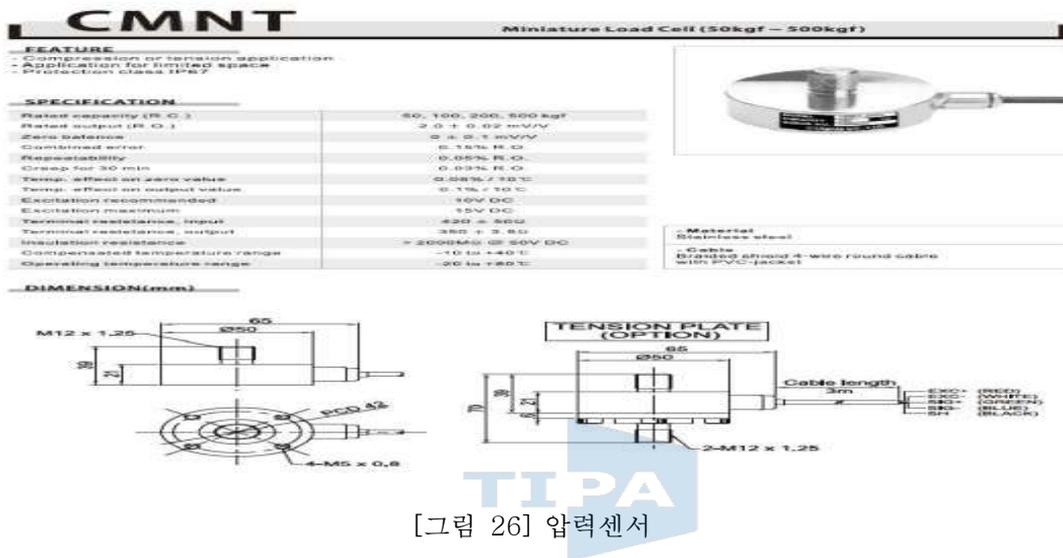
(라) 주파수: 38[kHz]~42[kHz] 범위

(마) 공진추정방식: 부하에 따라 공진점 자동 추정

(2) 압력 자동제어 구동부

(가) 서보모터: 산업현장에서 사용되어지는 3상 220[V], 200[W]/3000[RPM] 모터

(나) 압력센서: 0~500kgf 센서 사용



[그림 26] 압력센서

(다) 압력제어: PID 피드백 제어방식의 압력제어

(라) 압력 감속비: 1/100

(3) 컨트롤부

(가) 하드웨어의 구성

- ① CPU: S5PV210, 1[GHz]
- ② RAM: 512[MByte]
- ③ Flash: 4[GByte]
- ④ LCD pannel: 7" TFT LCD Pannel
- ⑤ Keypad: 5 x 5 Key Matrix, Encoder
- ⑥ FPGA: XC7A35t-2FTG324

(나) 소프트웨어의 구성

① OS: Embedded Linux Ver 3.10

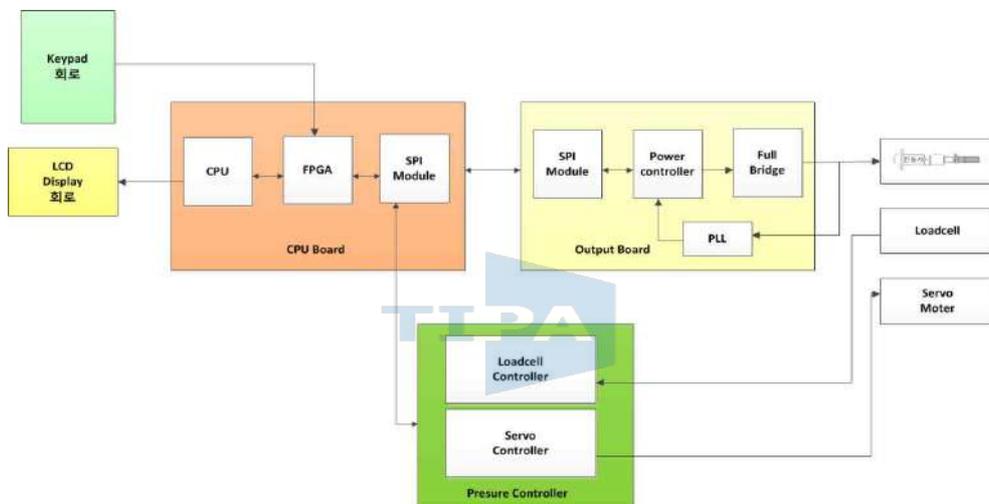
② Toolkits

- Compiler: Arm-none-Linux-gnueabi,
- IDE: Eclipse

③ Program Modules

- 압력제어용 모듈, GUI 모듈, Power Control 모듈, System 관리 모듈

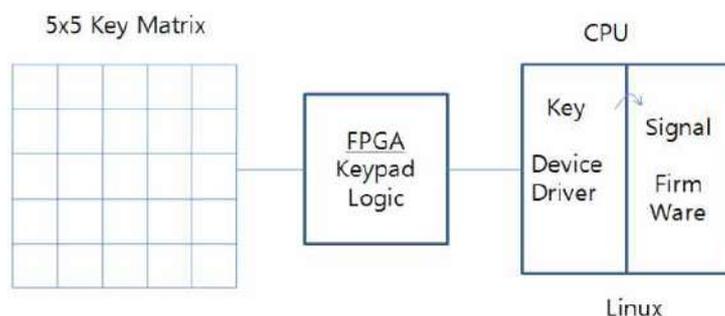
다. 초음파 금속 용접기용 Power Supply 개발



[그림 27] 전체 시스템 구성 블록 다이어그램

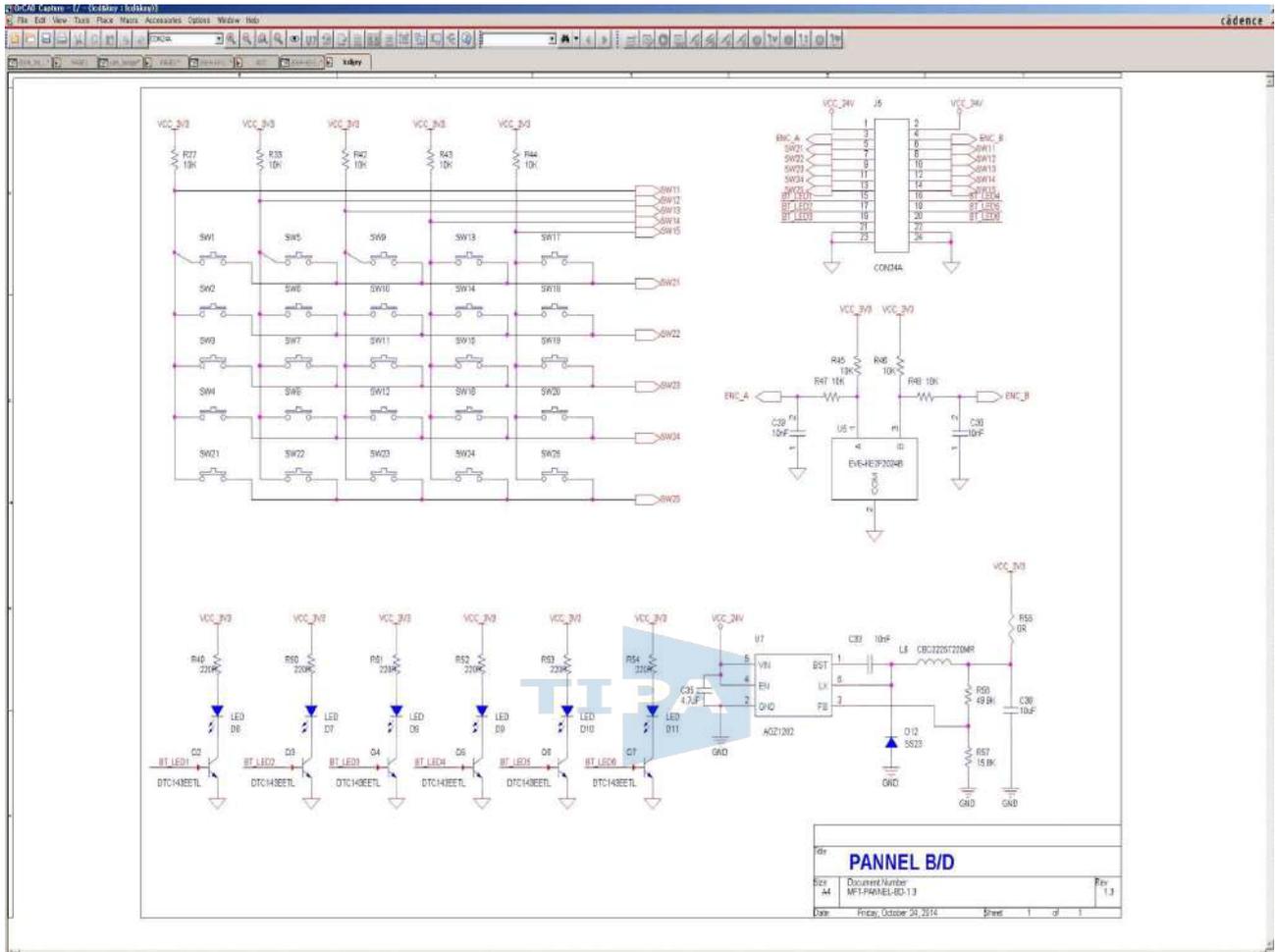
(1) Keypad 보드

(가) Keypad는 5x5 매트릭스로 구성하고, FPGA에서 로직을 구성해서 Keypad Buffer Key Data가 저장되어지며 Key가 눌러지는 순간에 FPGA에서 CPU에 Interrupt가 발생하도록 구성하였음.



[그림 28] Keypad 블록 다이어그램

(나) CPU의 OS가 Linux이므로 Key Interrupt Device Driver를 제작하였고, 커널 시그널을 발생시켜 Firmware가 인지하도록 구성함.



[그림 29] Keypad 보드 회로도

(2) CPU 보드

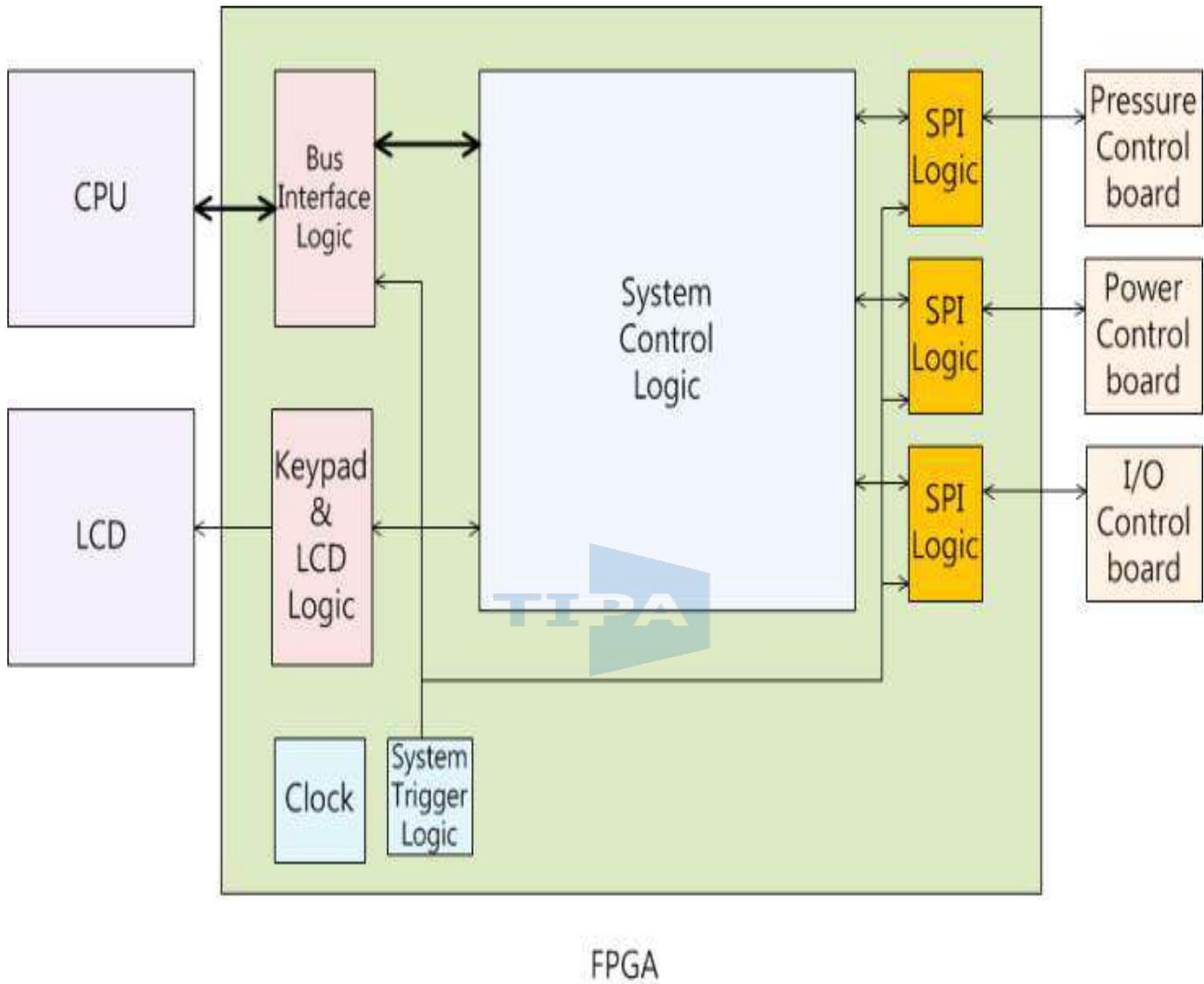
(가) CPU

- ① CPU 부분은 User Interface와 FPGA를 통해서 H/W를 제어하는 역할을 수행하므로 고속연산이 가능하고 대량의 Data를 처리할 수 있는 Processor를 선택하였음.
- ② 또한 각종 파라미터와 Data를 저장, 관리할 수 있게 16GByte Flash memory를 사용하였고 결과를 Ethernet을 통해 PC에서 저장, 관리할 수 있도록 하였음.
- ③ FFT, RMS등의 연산을 빠르게 수행하고 컬러 LCD Display를 부착하여 자료 관리와 System에 대한 Monitoring을 용이하게 수행할 수 있도록 Embedded

Linux를 OS로 탑재하였다.

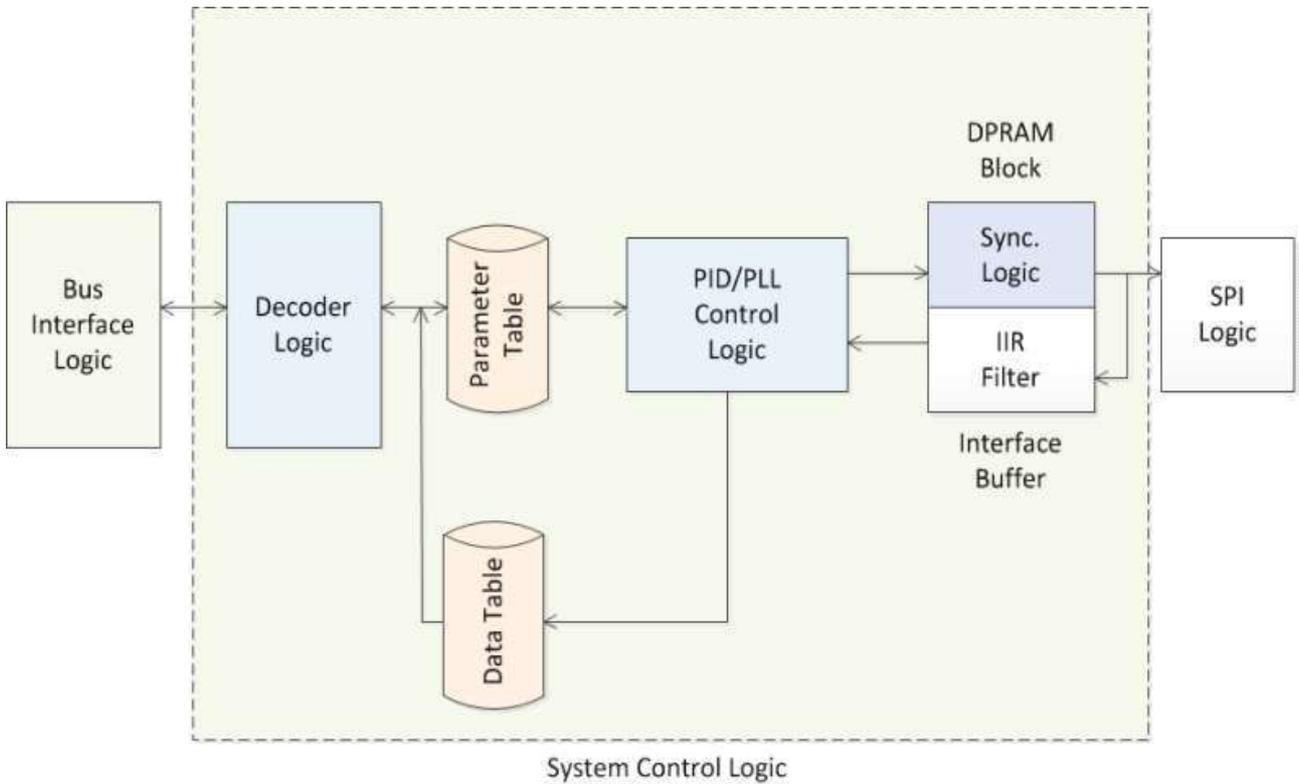
(나) FPGA

① FPGA는 CPU의 I/O처리 및 System 제어를 위해 사용되어짐.

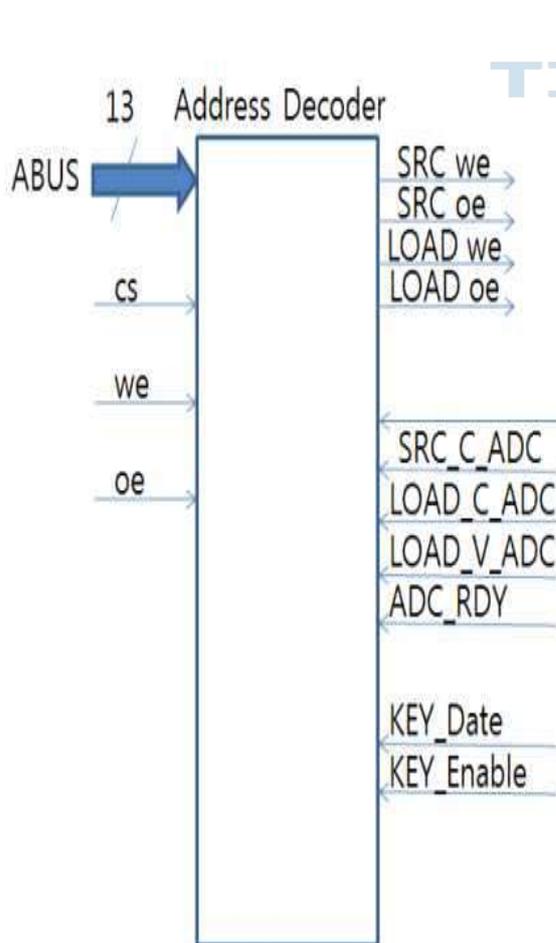


[그림 30] FPGA Logic Block Diagram

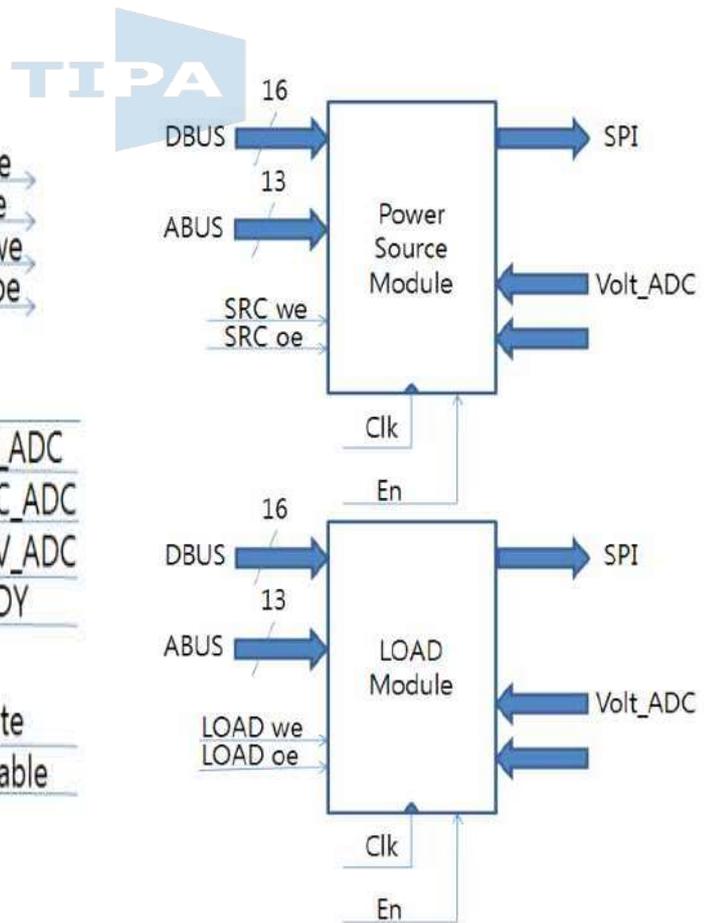
- ② Bus Interface Logic: CPU와 System Control Logic 및 Key, LCD와의 Data 전달을 위해 Digital Logic으로 설계되었음.
- ③ System Trigger: FPGA Logic 전체의 동기화를 위해 Logic으로 설계되었음.
- ④ SPI Logic: System의 Board간 통신을 위해 SPI(Serial Peripheral Interface)로 구성되었으며 50MBps의 속도로 구현되었음.
- ⑤ System Control Logic: System의 동작을 제어하고 관리하며 Data를 CPU와 교환하여 시스템 전체 Process를 수행하는 곳임.



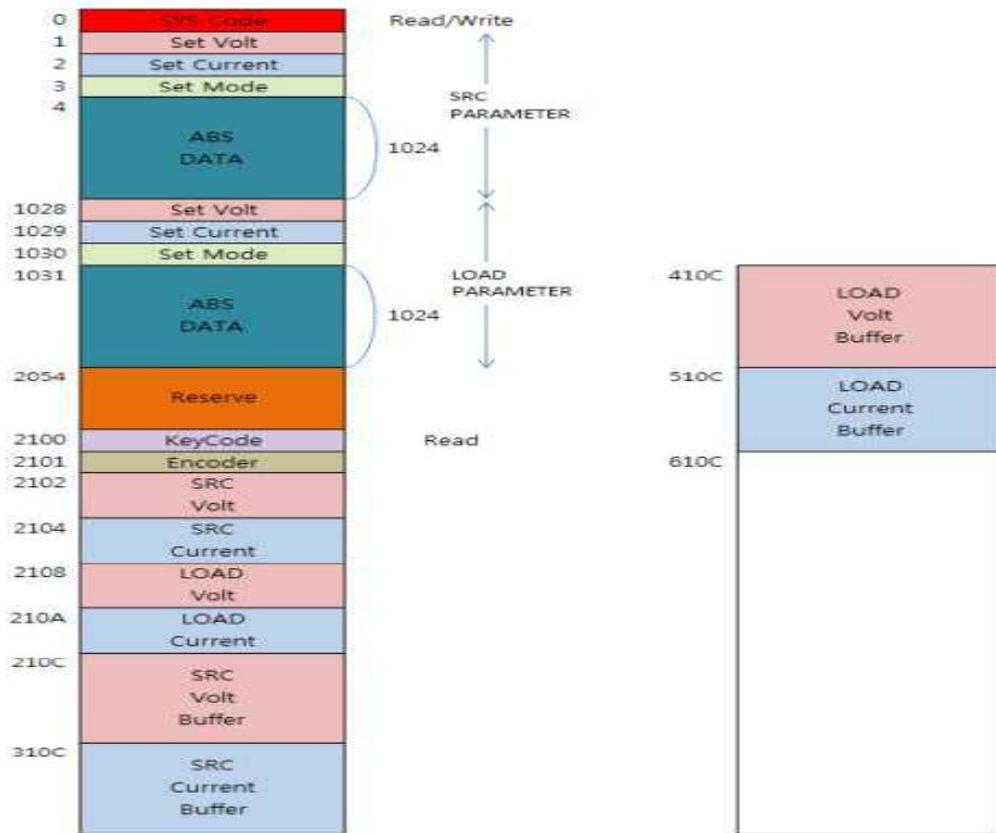
[그림 31] 시스템 제어 Logic 블록 다이어그램



[그림 32] FPGA TOP Level 블록다이어그램_1



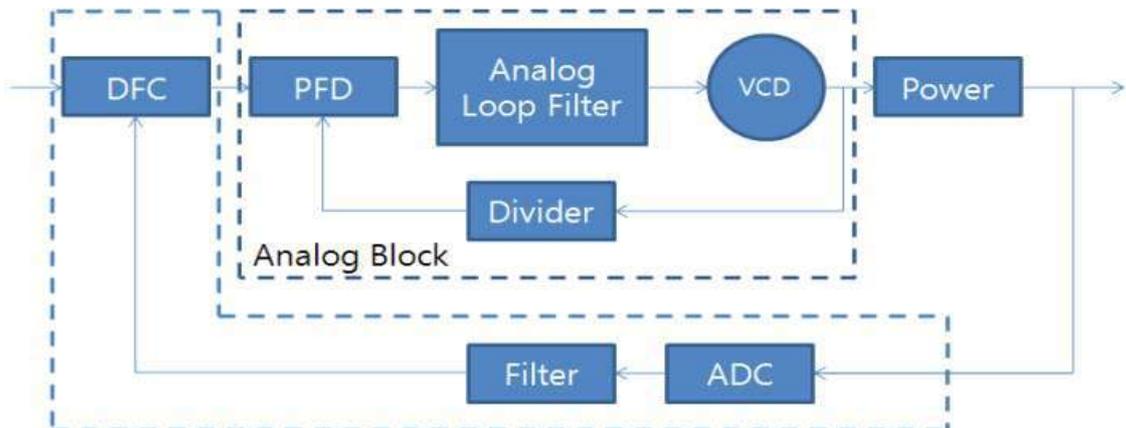
[그림 33] FPGA TOP Level 블록다이어그램_2



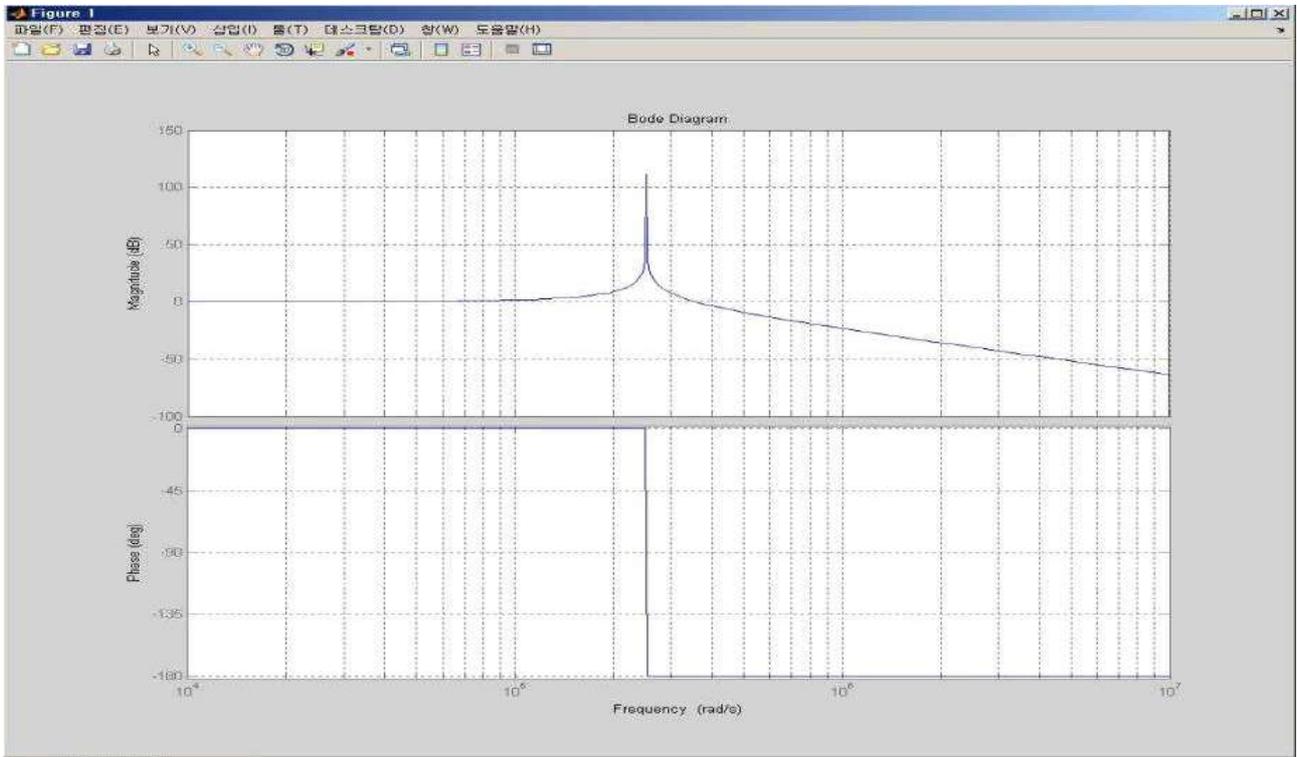
[그림 34] FPGA Address Map

⑥ 공진점 추적 알고리즘

- 초음파 용접기 용접과정에서 가장 중요한 사항은 전기적 공진과 기계적 공진점을 일체화 시키는 것임.
- 또한 기계적 공진의 경우, 혼의 상태, 온·습도 그리고 용접과정의 압력 등에 따라 공진점이 변경되어짐으로 이것을 추적해 공진점을 맞추어 주는 것이 중요하다.



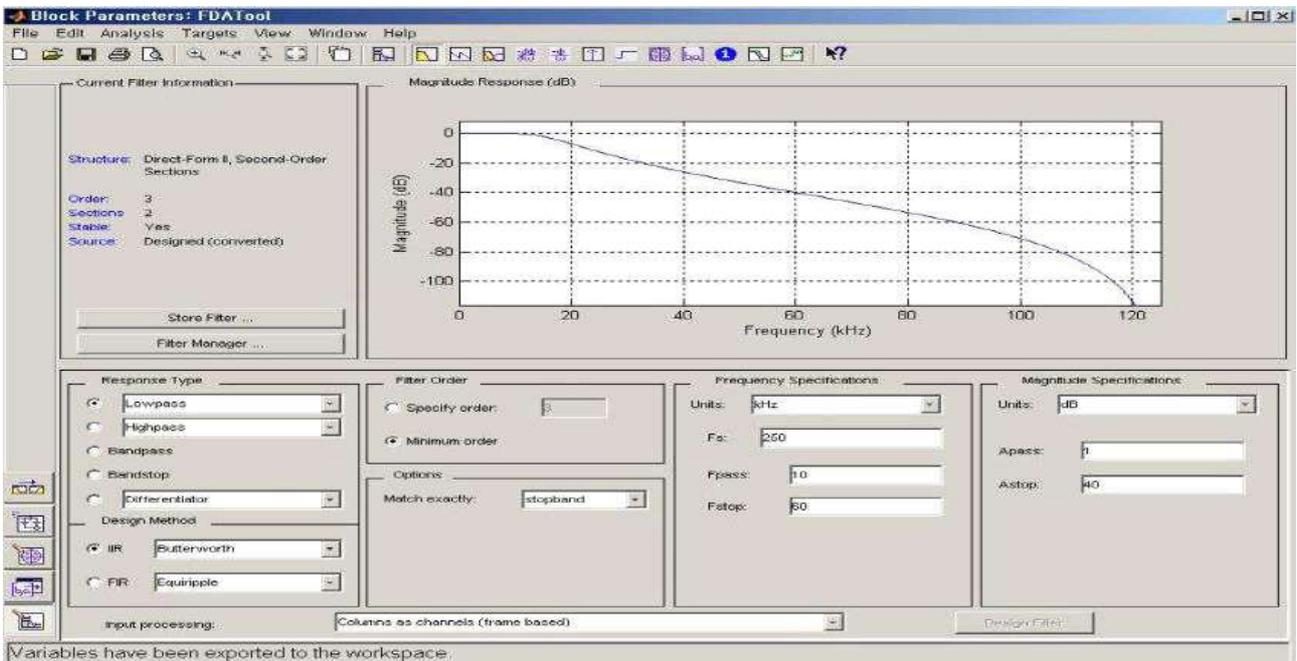
[그림 35] 공진점 추적알고리즘 블록 다이어그램



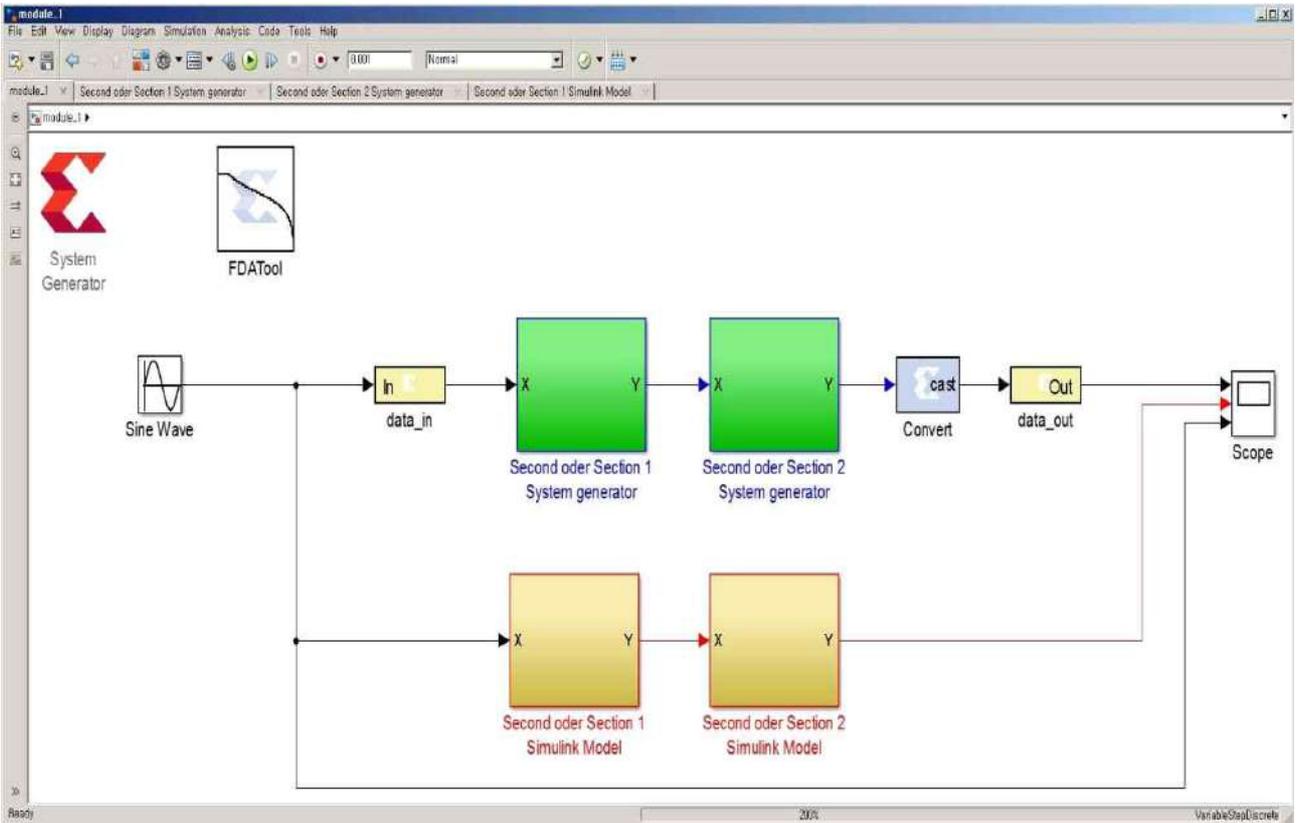
[그림 36] 공진점의 이득 위상 그래프

- Filter 설계

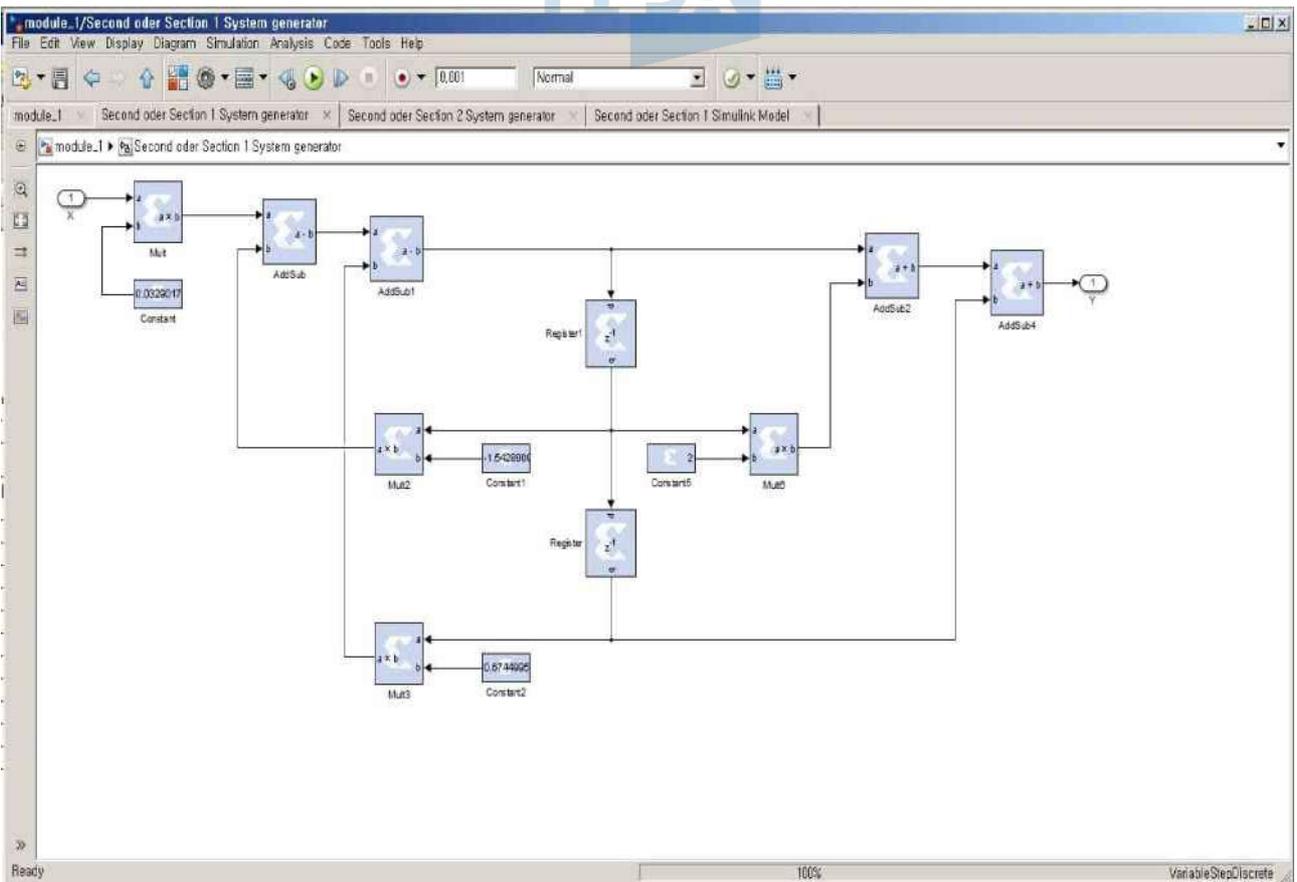
전기기에 있어서 출력을 안정하게 하기 위해서는 출력을 Noise가 없이 계측하고 이것을 Feedback 하여 제어하여야 함. 따라서 계측하는 부분에 Noise를 제거하기 위해서 Filter을 쓰게 되고 여기에서는 Direct-form II IIR Filter를 설계함.



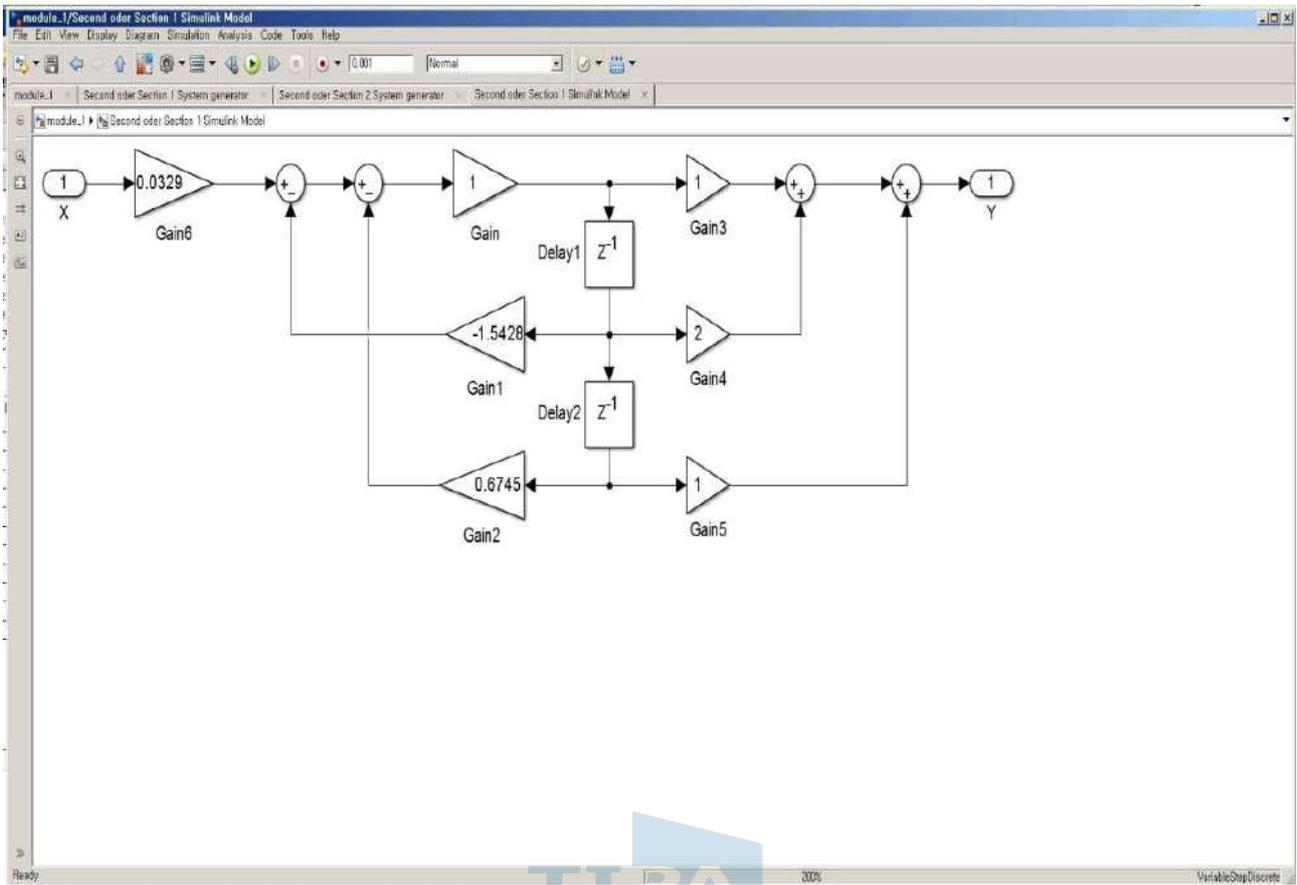
[그림 37] Low Pass Filter 의 Matlab를 이용한 설계



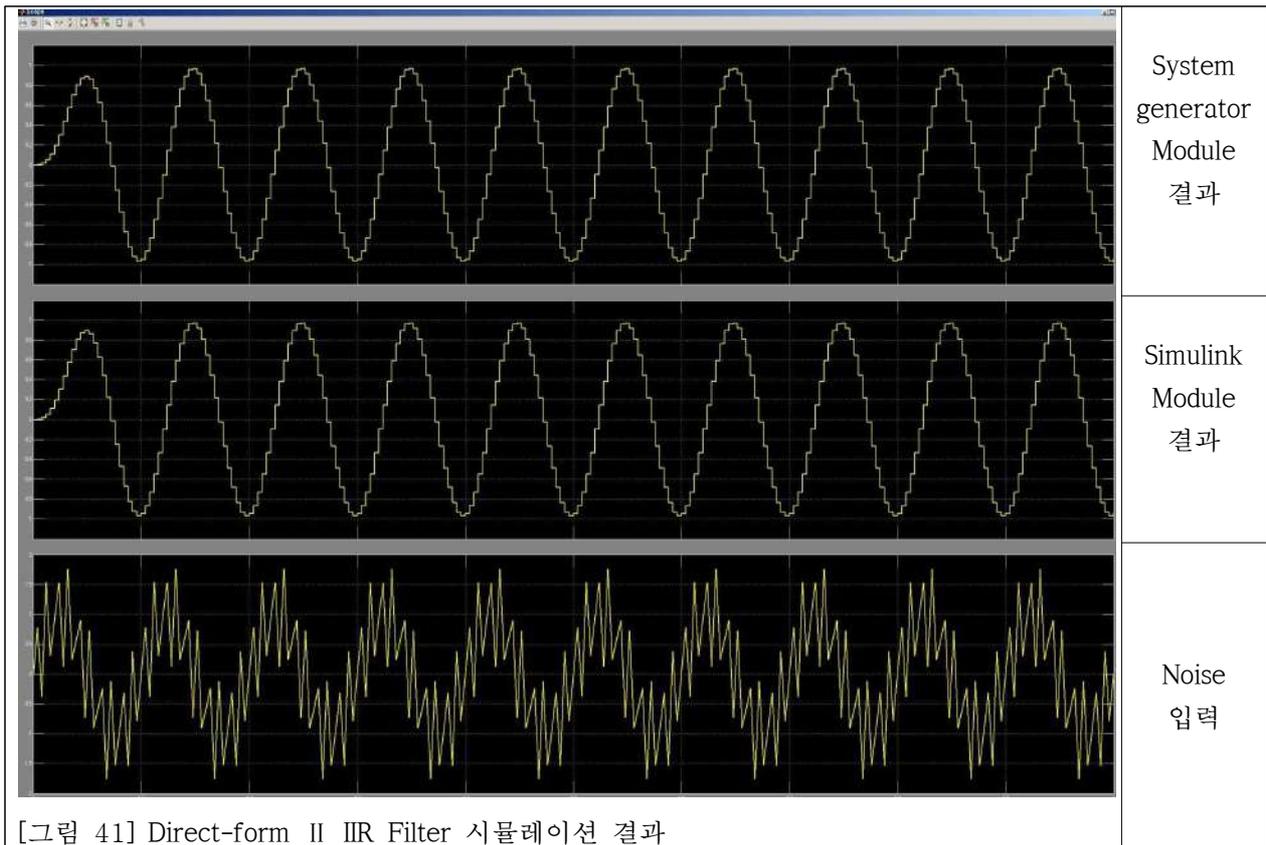
[그림 38] Direct-form II IIR Filter 블록다이어그램



[그림 39] Direct-form II IIR Filter System generator 모델



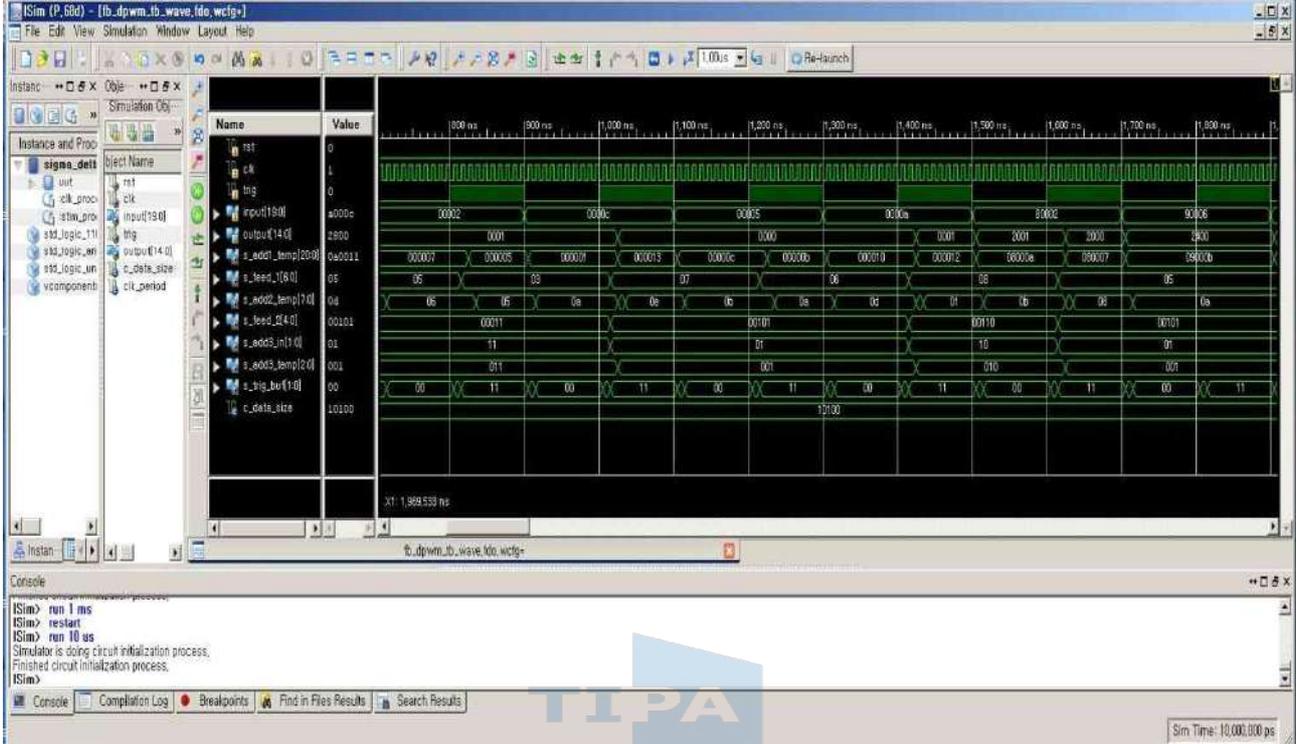
[그림 40] Direct-form II IIR Filter Simulink 모델



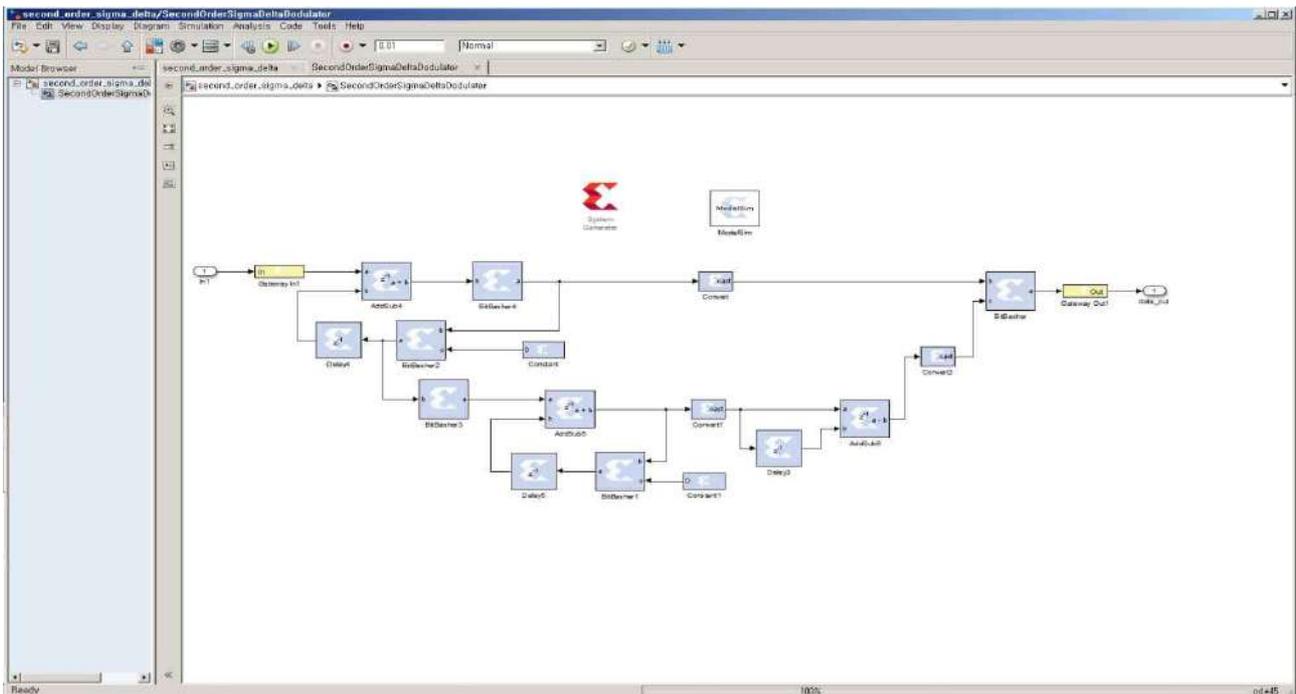
[그림 41] Direct-form II IIR Filter 시뮬레이션 결과

- 델타 시그마변조

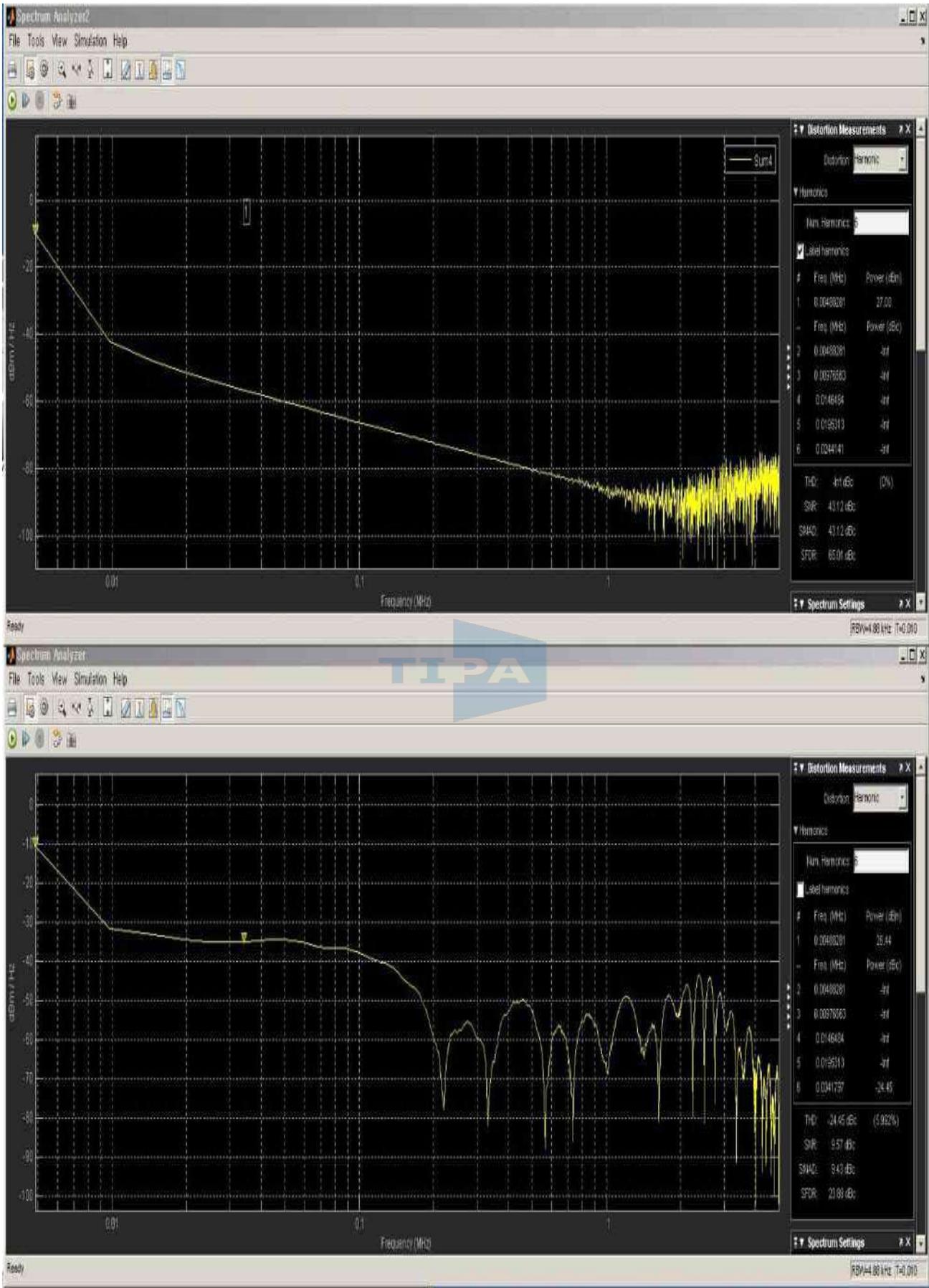
Digital 제어에서 ADC와 연산에서 발생하는 양자화 에러를 효과적으로 제거하기 위해서 아래와 같이 델타 시그마 모듈레이터를 설계함.



[그림 42] 델타시그마 모듈레이션 모델심 시뮬레이션



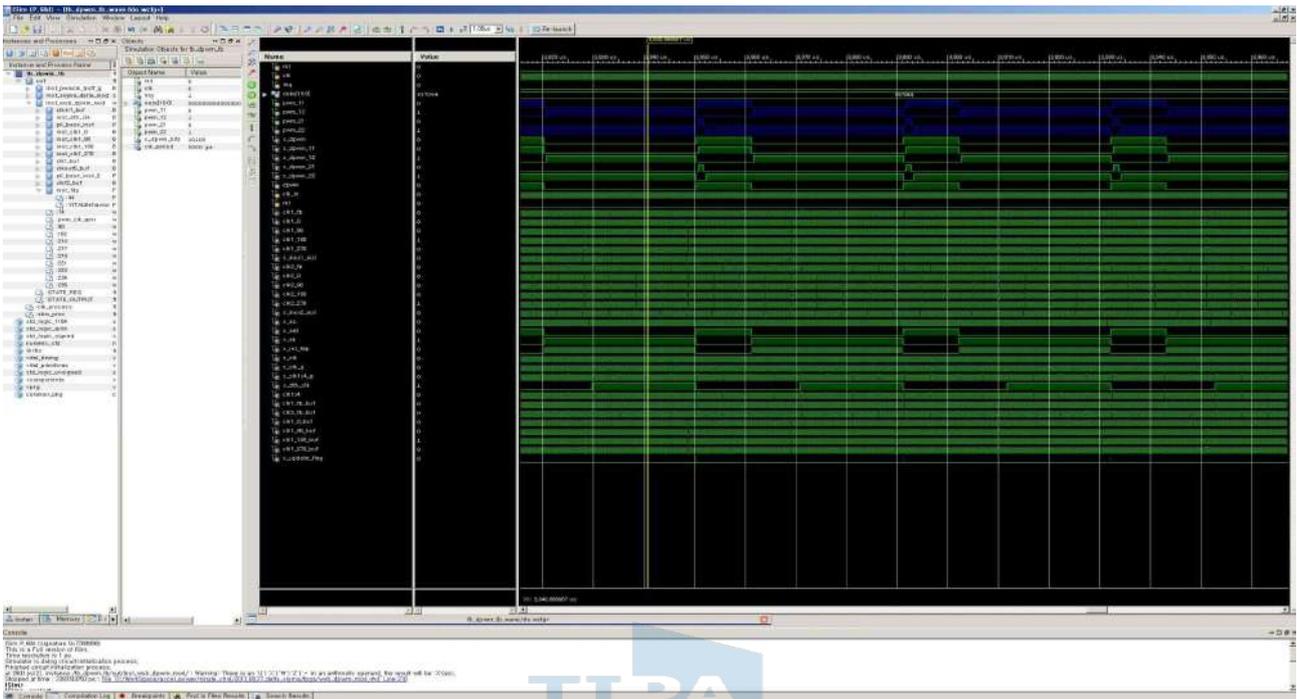
[그림 43] 델타시그마 모듈레이션 System generator 모델



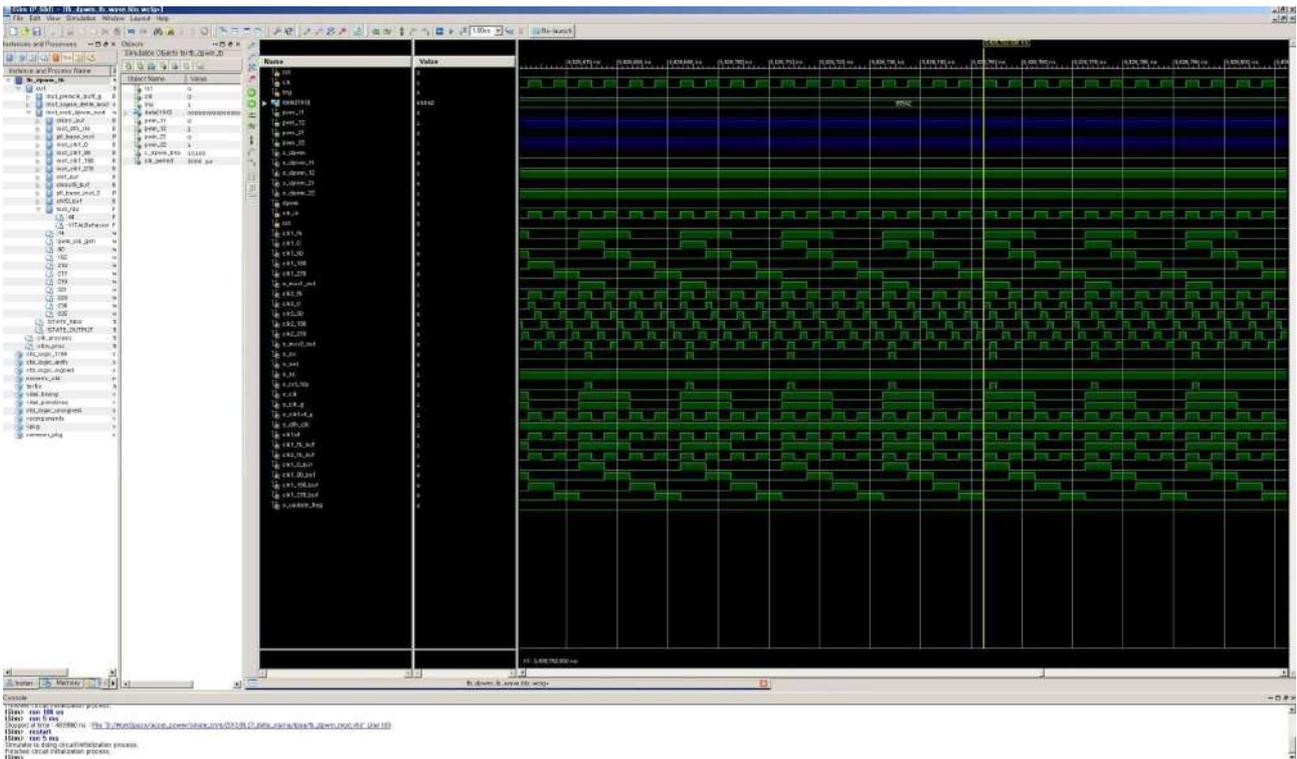
[그림 44] 델타시그마 모듈레이션 스펙트럼 분석

- DPWM_VHDL

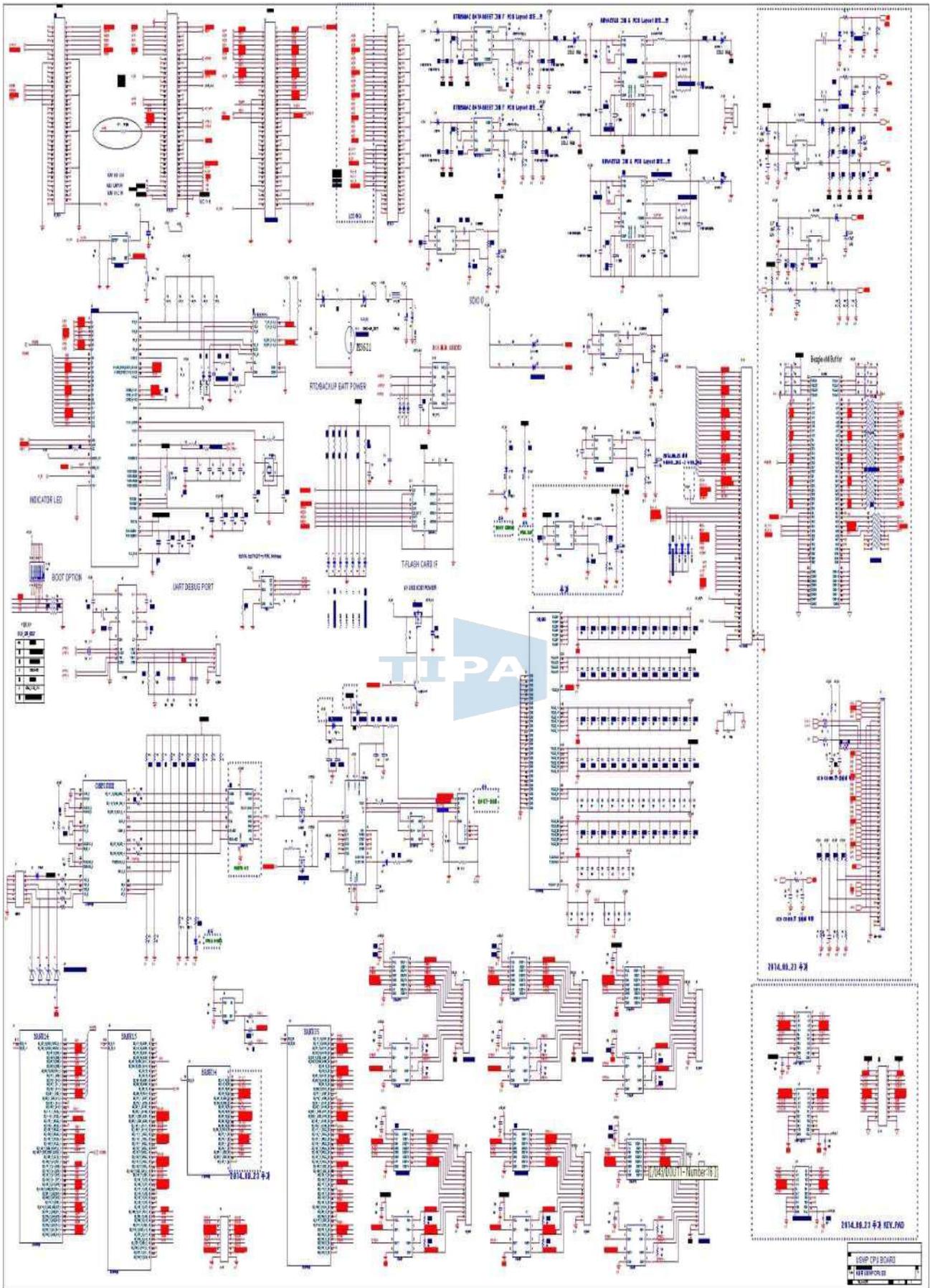
Power Stage의 MOSFET을 스위칭 하여 AC전력을 생성하는데 있어서 DPWM을 사용함. 본과제의 PWM은 FPGA안에 Logic으로 구성함.



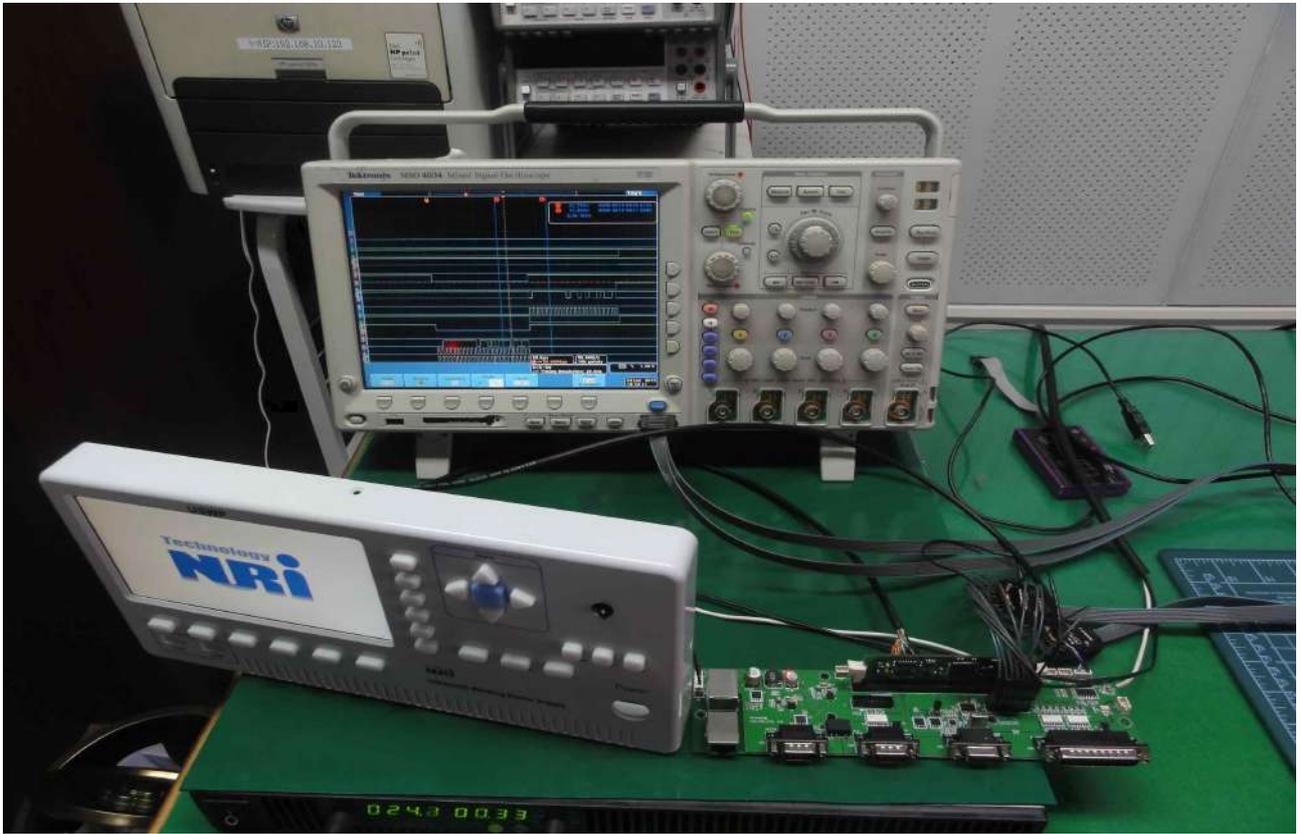
[그림 45] DPWM_VHDL 모델심 시뮬레이션



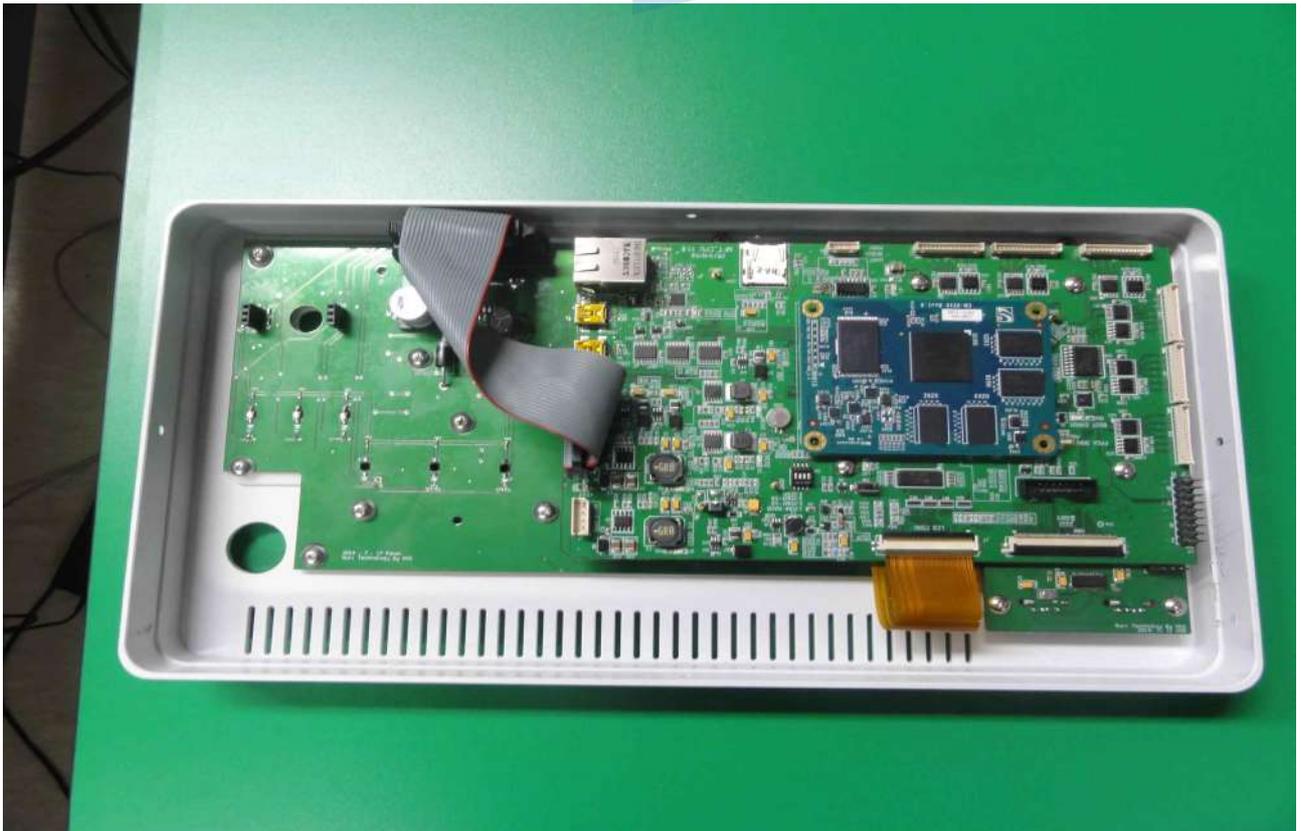
[그림 46] DPWM_VHDL 위상 모델심 시뮬레이션



[그림 47] CPU 보드 회로도



[그림 48] CPU BOARD & SERVO 컨트롤보드 통신시험



[그림 49] CPU_BOARD&PANNEL_BOARD 조립

(3) 출력보드 (Output Board)

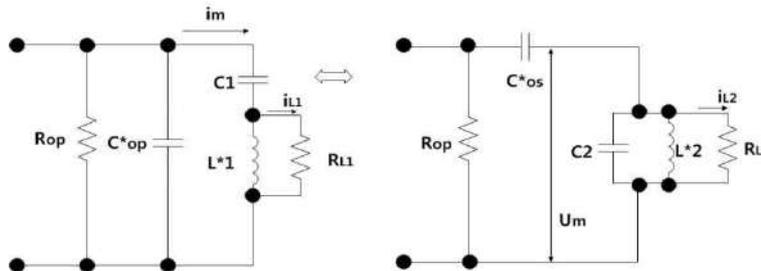
(가) 전압제어 (Power controller)

① L-C 공진 필터

- 출력주파수의 기계적 공진 주파수와 일치 시켜 손실 최소화, 에너지 밀도 향상 위해 다른 기계적 공진 주파수를 피하고 압전체의 병렬 공진 주파수를 넘지 않게 직렬공진 주파수 부근으로 한정하도록 주파수 가변함.

② 초음파 진동자

- 압전 변환기에서 motional current i_m 과 motional voltage u_m 에 의해서 출력전력과 진폭제어를 할 수 있음.
- 컨버터가 직렬공진에서 작동하는 경우, 출력전력 이나 진폭을 제어하기 위해 motional current i_m 을 제어함.
- 병렬공진일 때는, 출력전력이나 진폭을 제어하기 위해 motional voltage u_m 을 제어함.
- 압전 변환기에서 직렬공진 변환기는 큰 부하의 전류와 낮은 주파수 전달하고, 병렬공진변환기에서는 높은 주파수와 상대적으로 낮은 부하전류를 전달함.

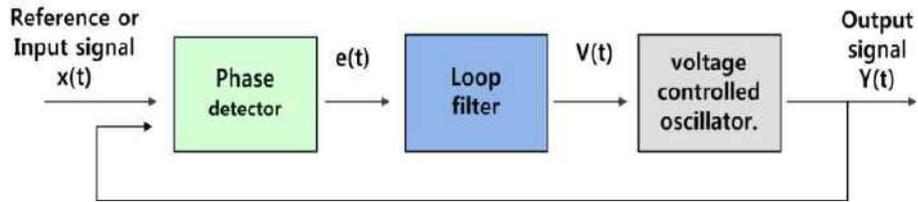


[그림 50] 초음파 진동자 모델링

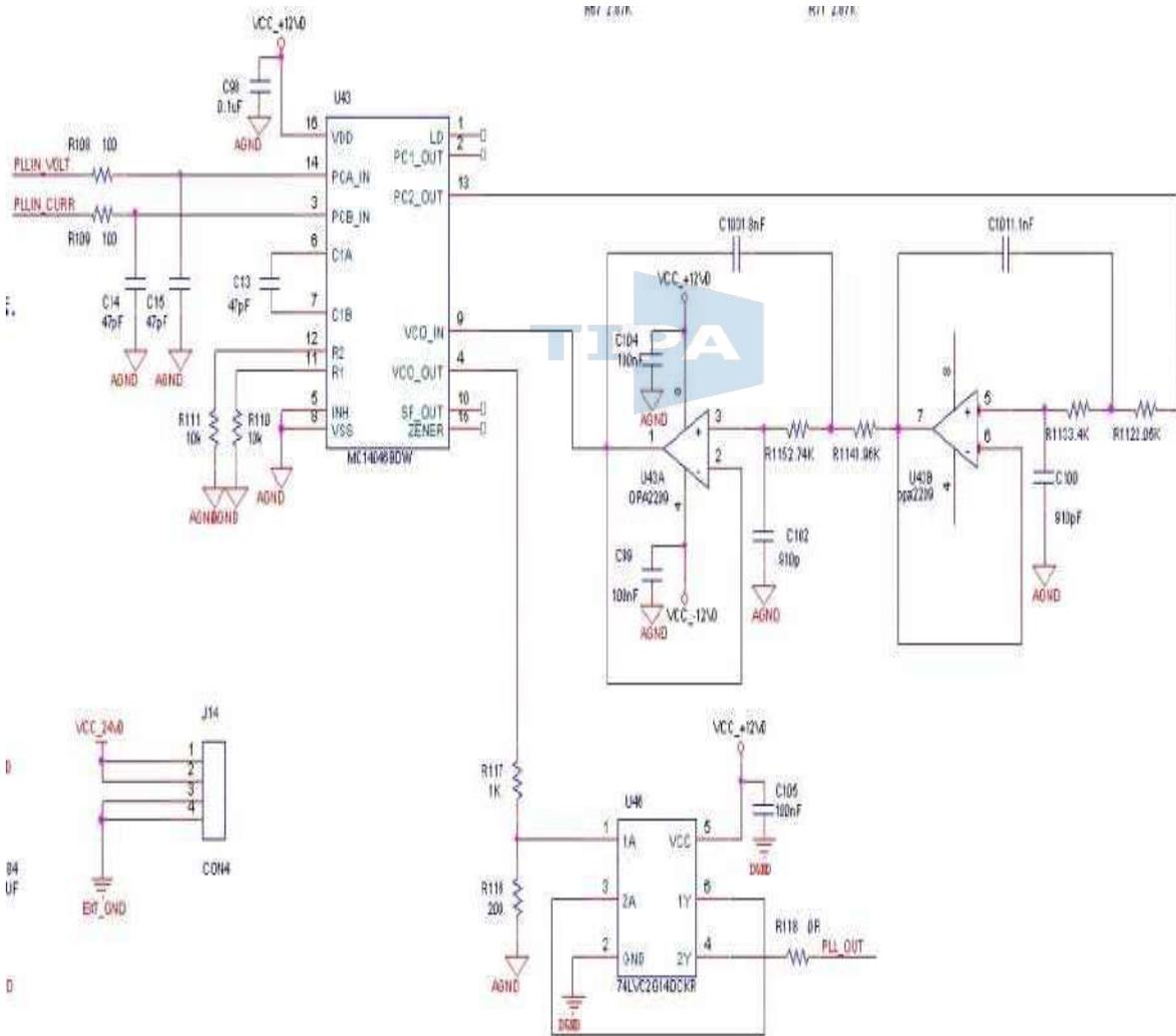
③ 공진점 추적 알고리즘- PLL

- 공진점의 추적 알고리즘은 주로 PLL(Phase Locked Loop)가 사용된다.
- 과제에서는 PLL의 구성을 Digital과 Analog 기술을 복합적으로 사용한 하이브리드 PLL을 구현하여 주파수 편차를 최소화 시켰음.
- 위상고정 조정시스템(Phase Locked Loop)이며, 입력참조 신호에 대해서 출력신호 위상을 고정시키는 귀환 회로임.
- 입력 신호는 정현파 또는 디지털클록의 주기파형이며, PLL에는 첫 번째로

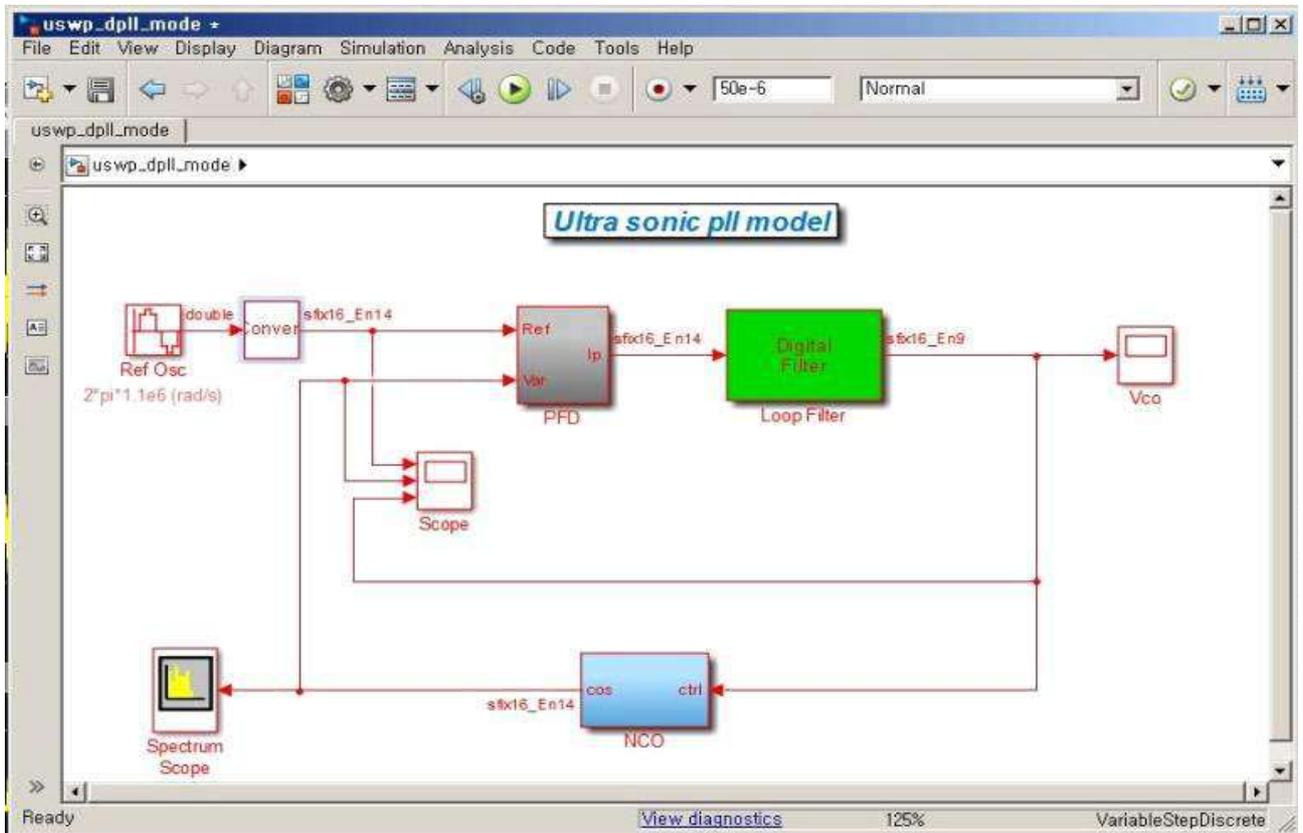
위상검출기(PD) 또는 위상/주파수 검출기(PFD), 두 번째로 루프 필터, 마지막으로 전압제어 발진기(VCO) 세 개의 주요한 부분으로 나뉘고 전압과 주파수는 서로에 대해서 선형적인 관계에 있음.



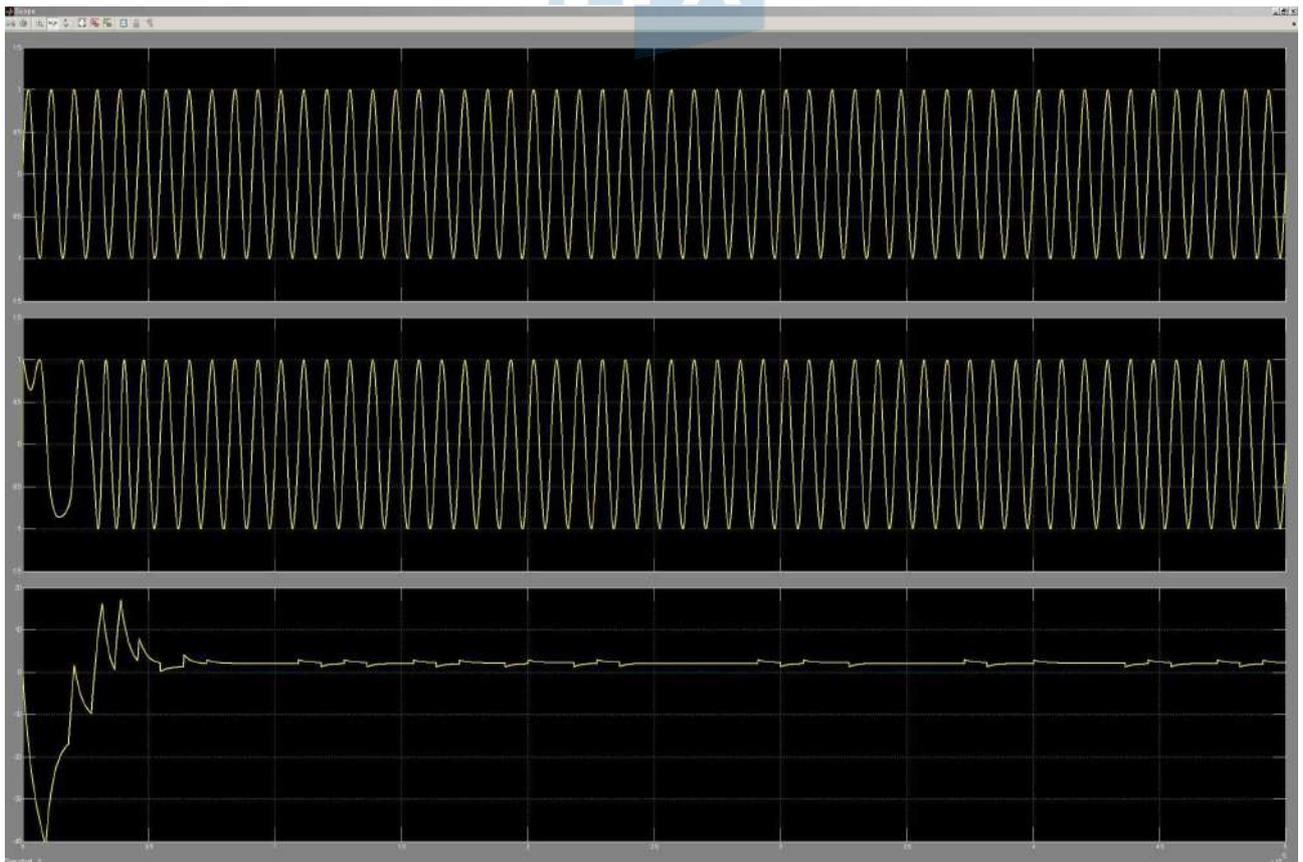
[그림 51] PLL 블록 다이어그램



[그림 52] PLL 회로도



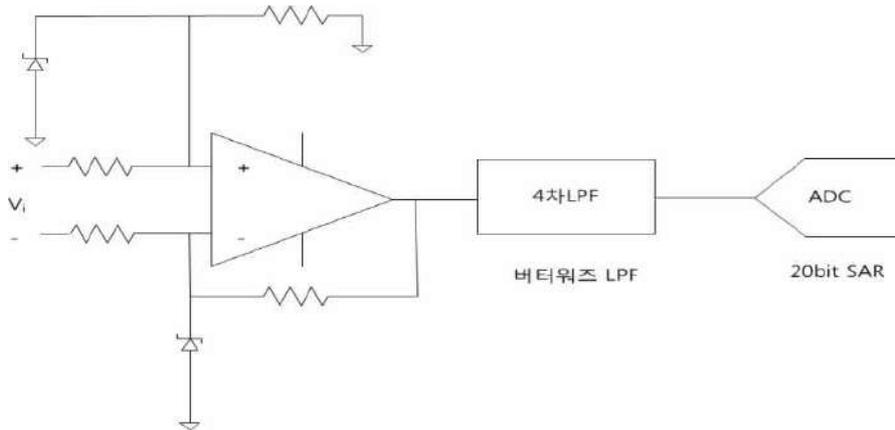
[그림 53] PLL 모델링



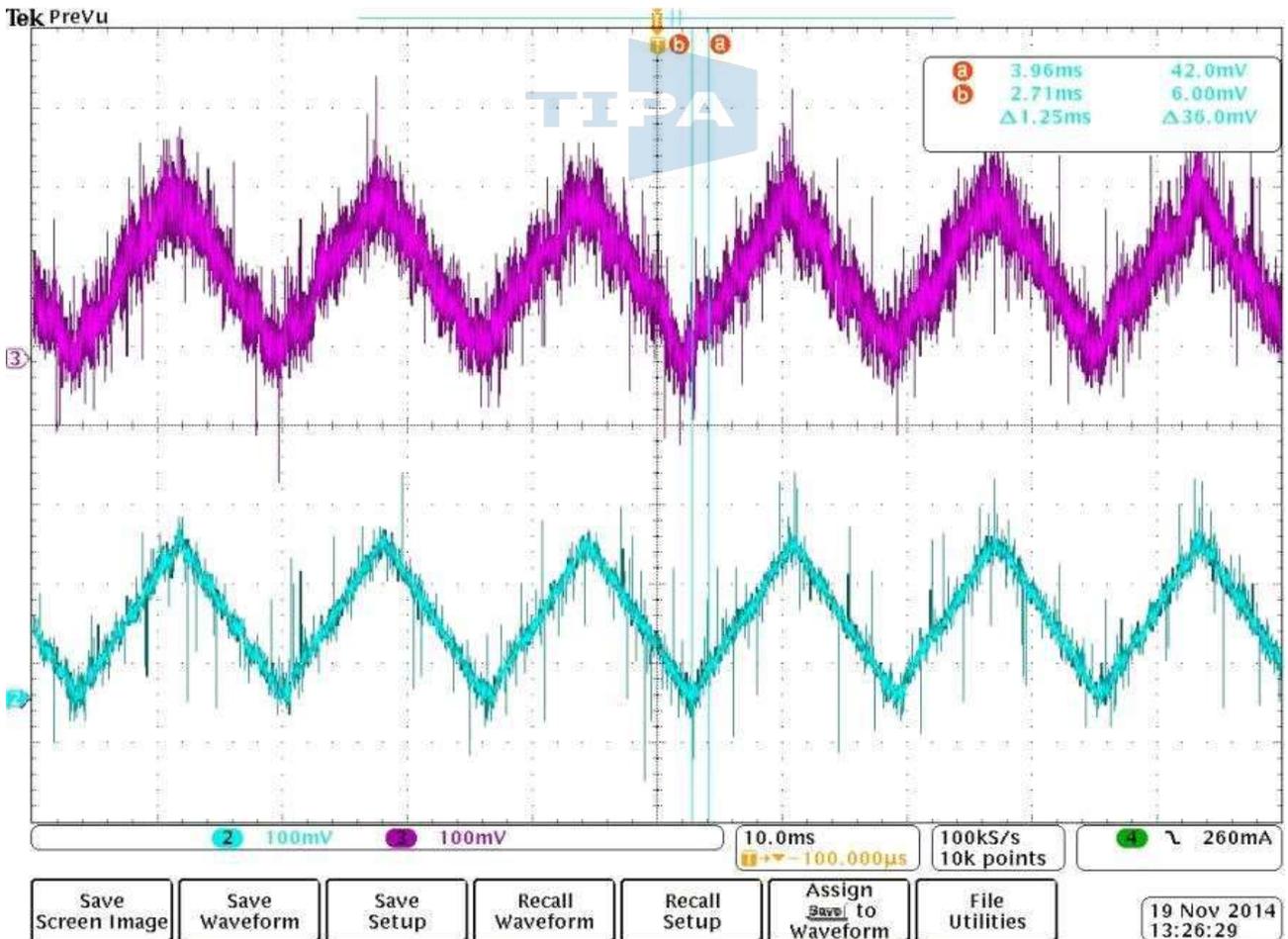
[그림 54] PLL 모델링 결과

④ 출력 전압 전류 sensing

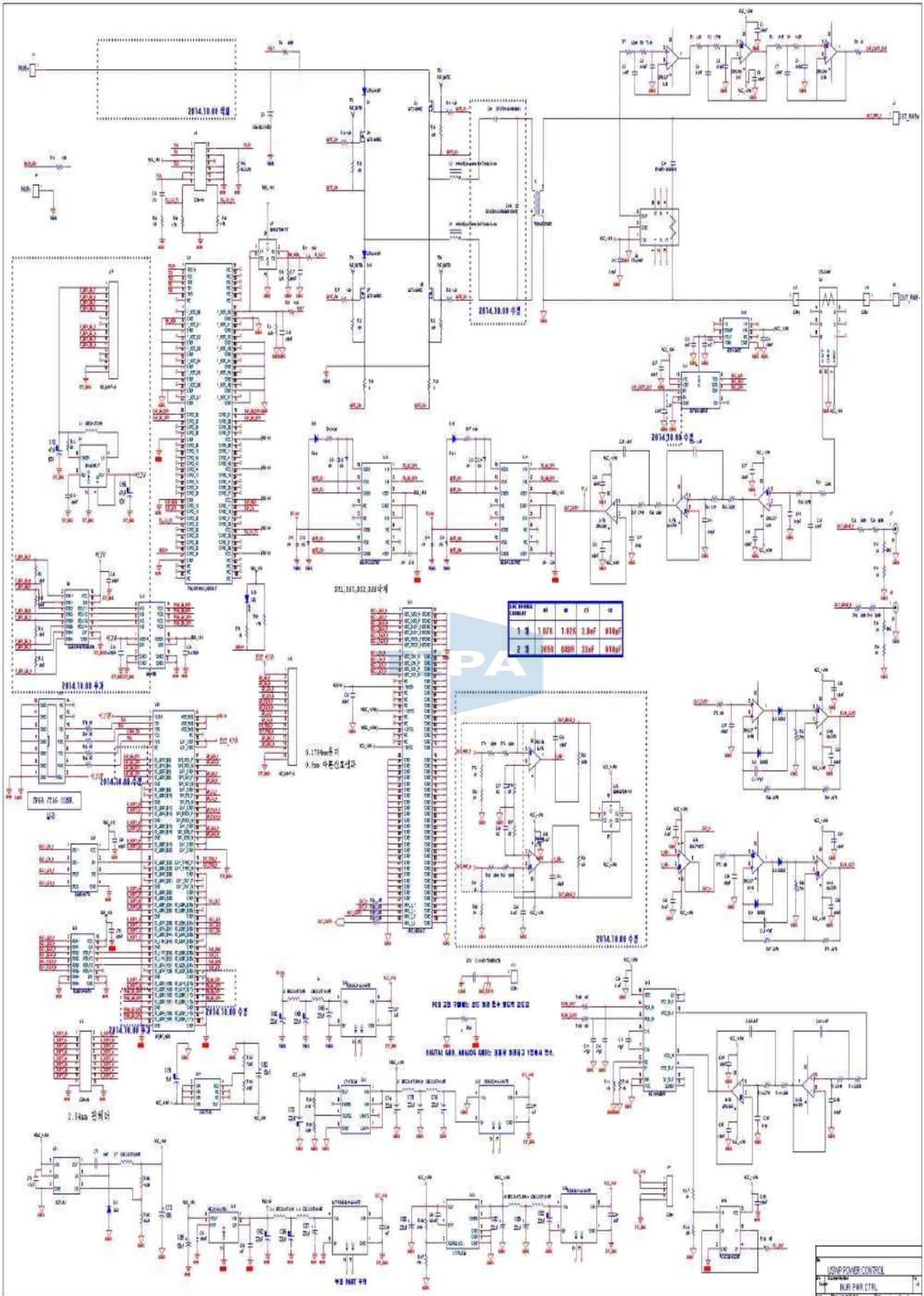
- 출력전압이 1000[V] 정도로 매우 높음으로 인하여 출력 전압을 정확하게 계측한다는 것은 쉽지 않음으로 아래 그림과 같은 회로를 고안하여 정확하게 검출하였음.



[그림 55] 출력 전압전류 sensing 블록다이어그램

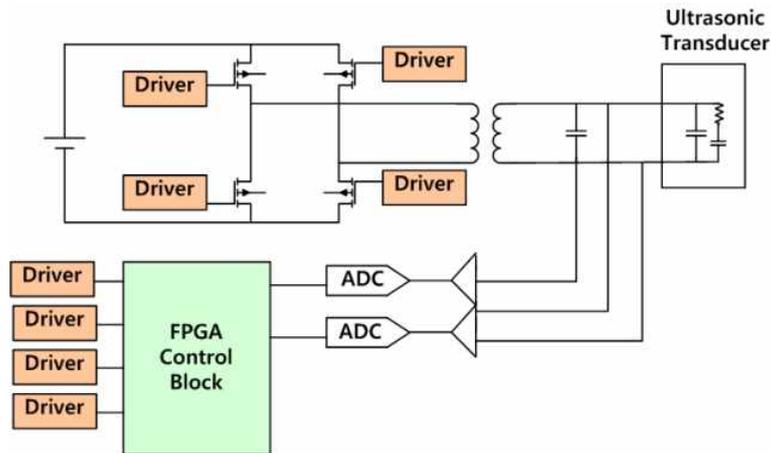


[그림 56] 출력 전압 전류 Sensing 출력파형



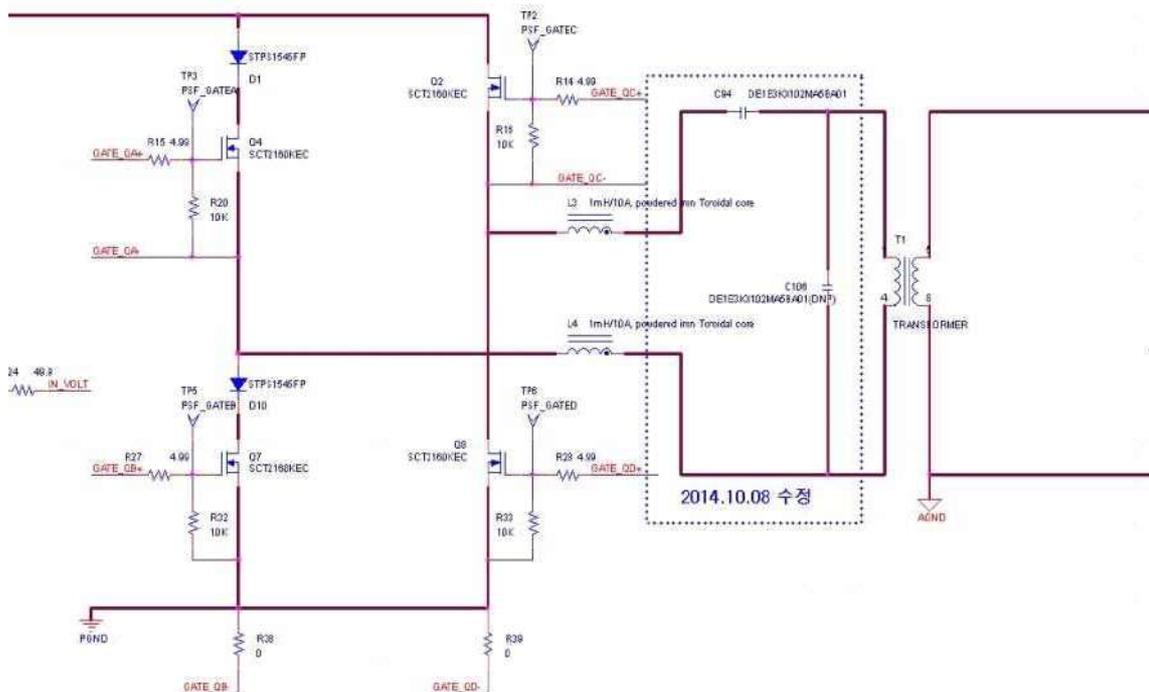
[그림 57] 출력전류 검출회로도

(나) Full Bridge

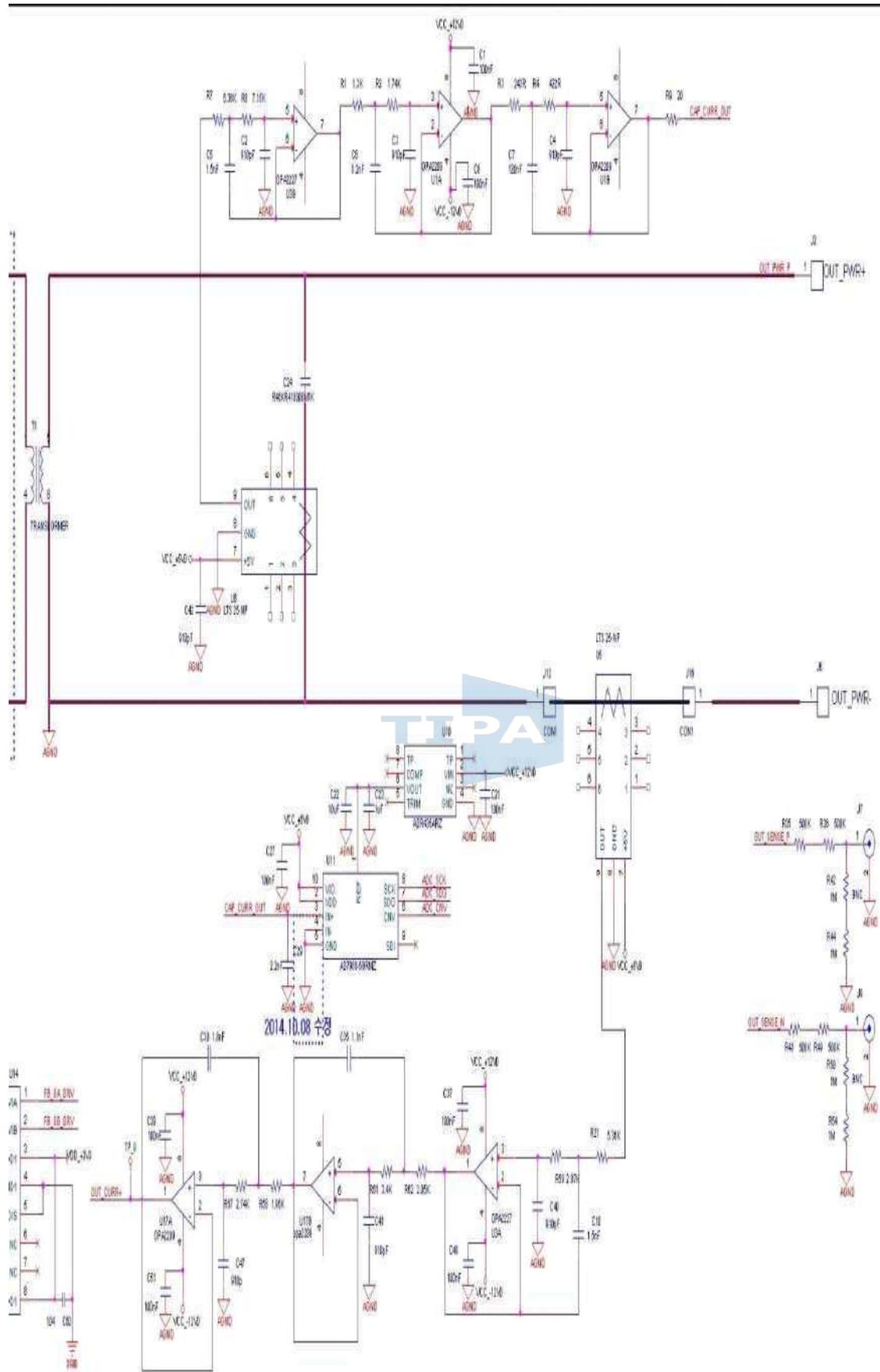


[그림 58] Full Bridge Power Stage

- ① 위 그림은 출력단의 초음파 진동자 구동을 위한 AC전압을 발생시키고 제어하는 블록 다이어그램임.
- ② Power MOSFET으로 구성된 출력 부분과 ADC로 전압전류를 읽는 부분 그리고 Digital Control Logic을 VHDL로 FPGA안에 구현한 Control 부분으로 구성됨



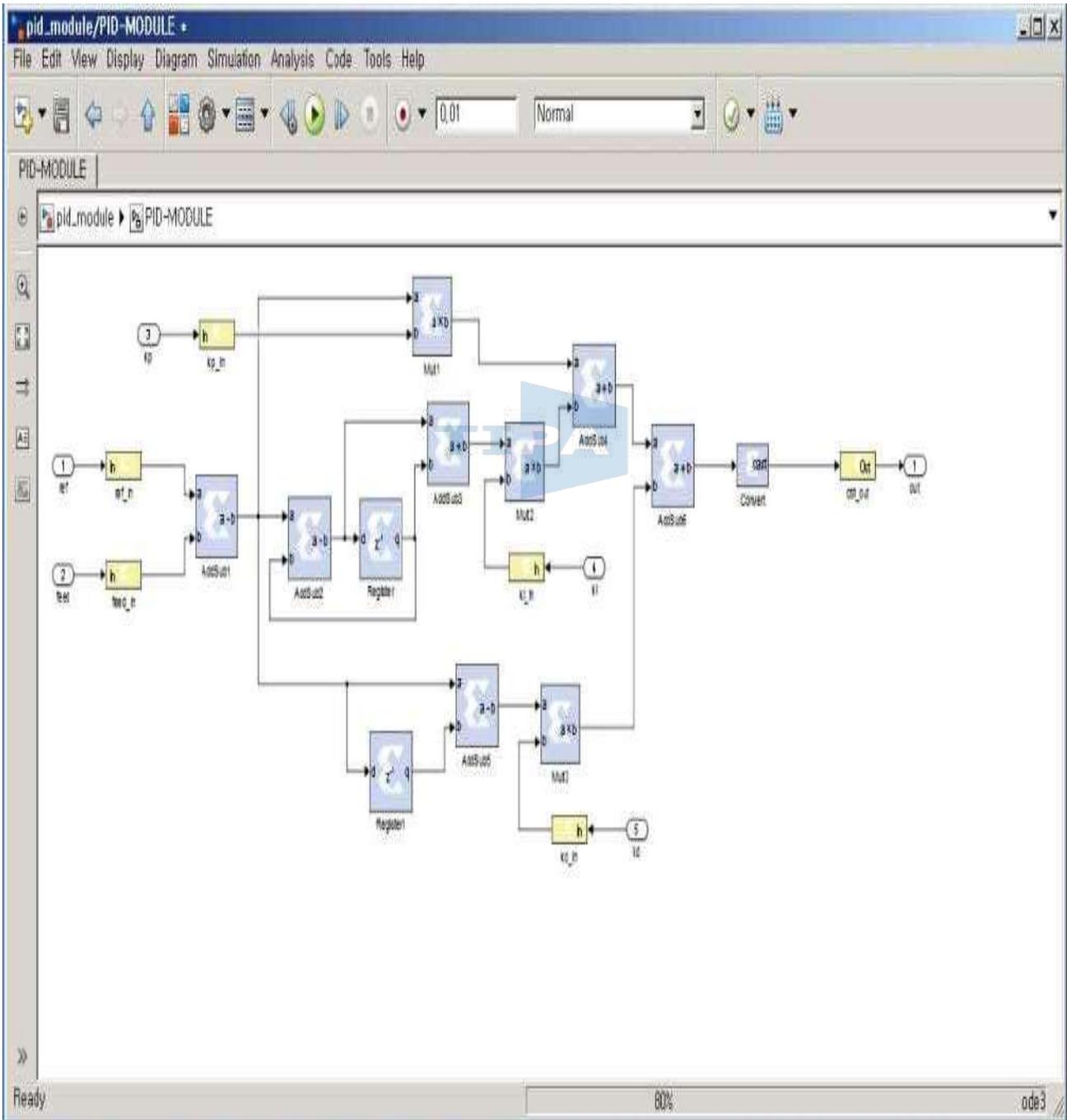
[그림 59] 풀 브리지 회로도



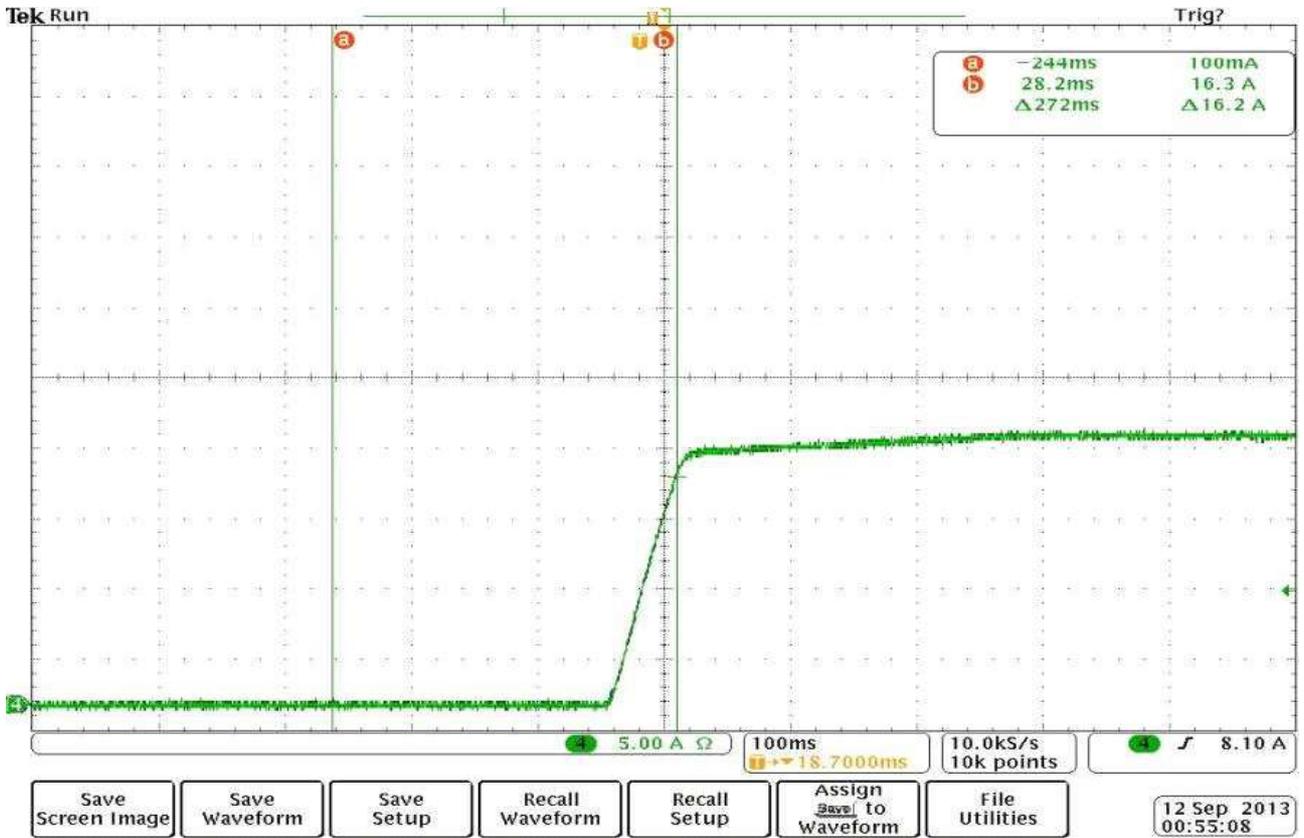
[그림 60] 출력전류 검출모듈 회로도

① PID제어

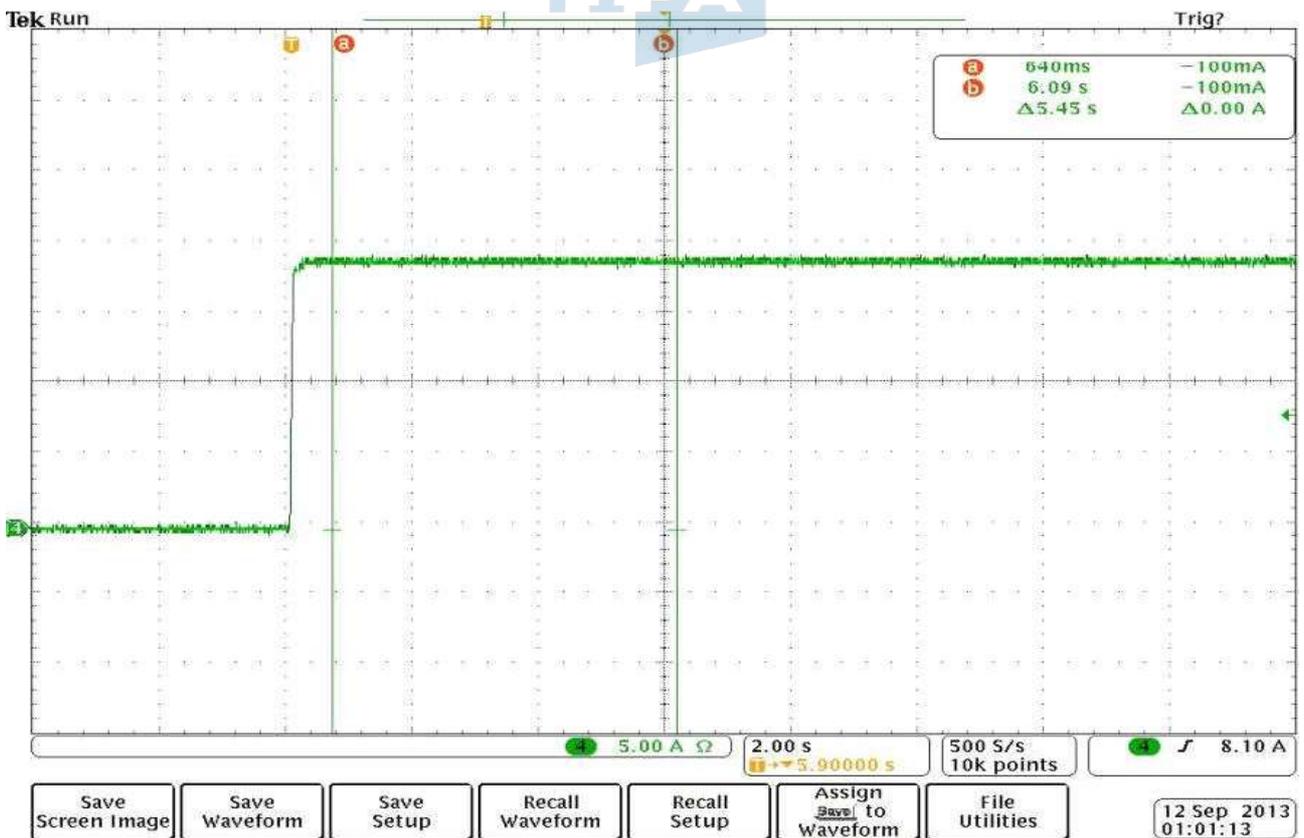
- PID 제어기를 사용하여 상승시간 20[ms]이하를 유지하였고 정확하게 목표 값에 도달함을 보여줌.
- 또한 P-gain값과 I-gain값을 조정함으로써 목표 값의 상승시간을 조절할 수 있었으며 부하의 값이 변경되더라도 PI-gain을 조정하여 안정도를 확보할 수 있었음.



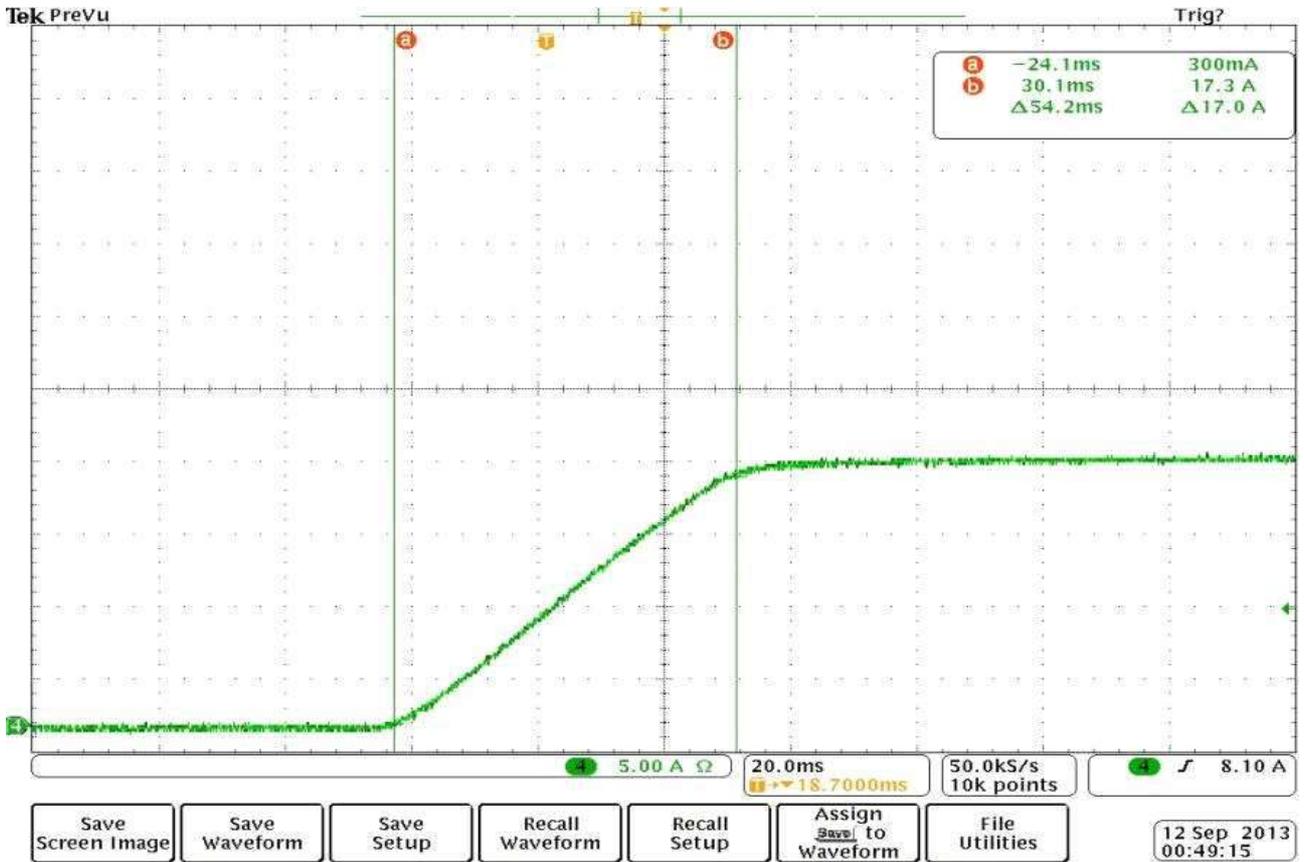
[그림 61] PID System generator 모델



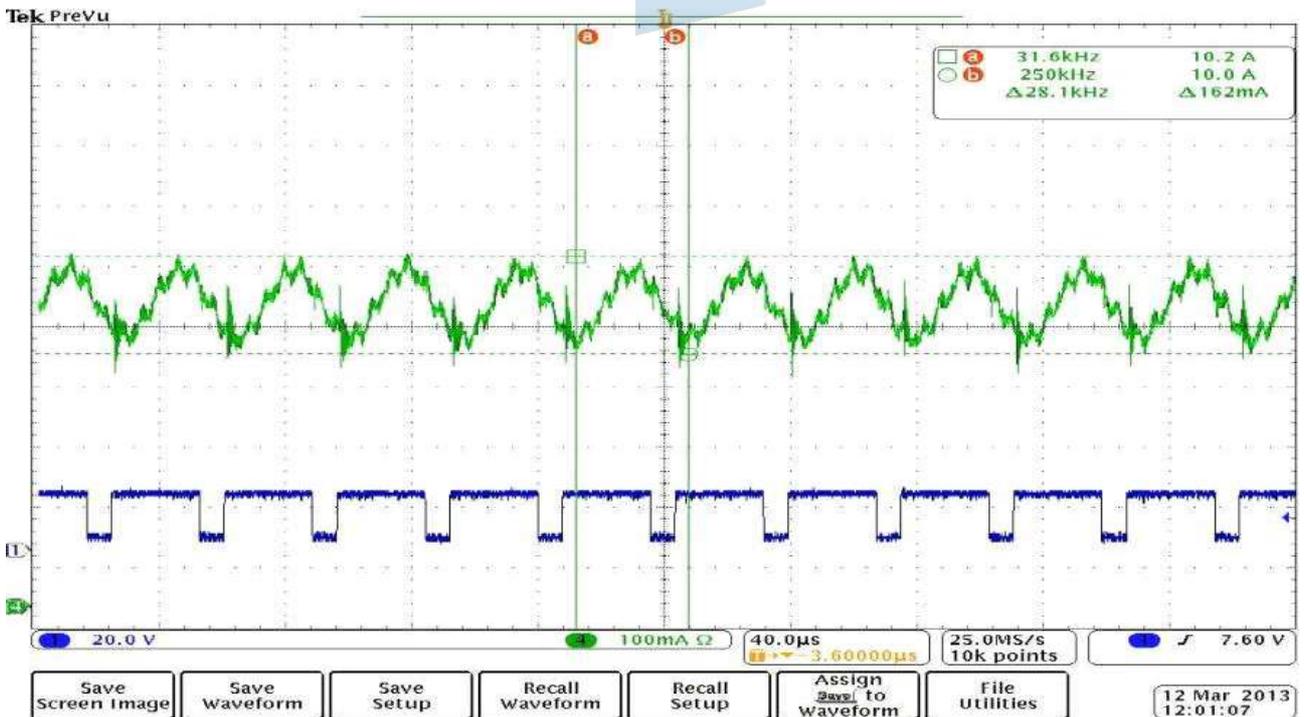
[그림 62] 플 부하상태의 PID제어특성_1



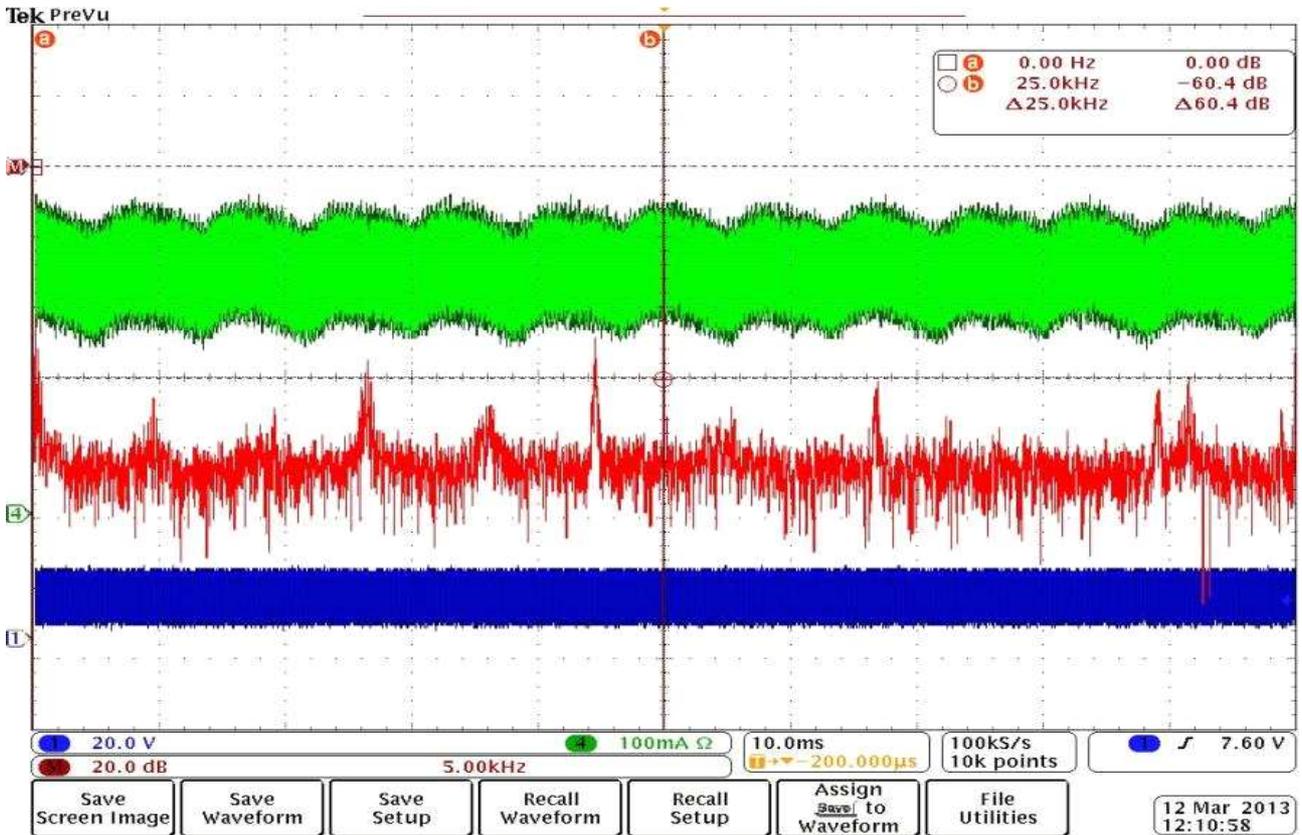
[그림 63] 플 부하상태의 PID제어특성_2



[그림 64] 풀 부하상태의 PID제어특성_3 (구간확대)



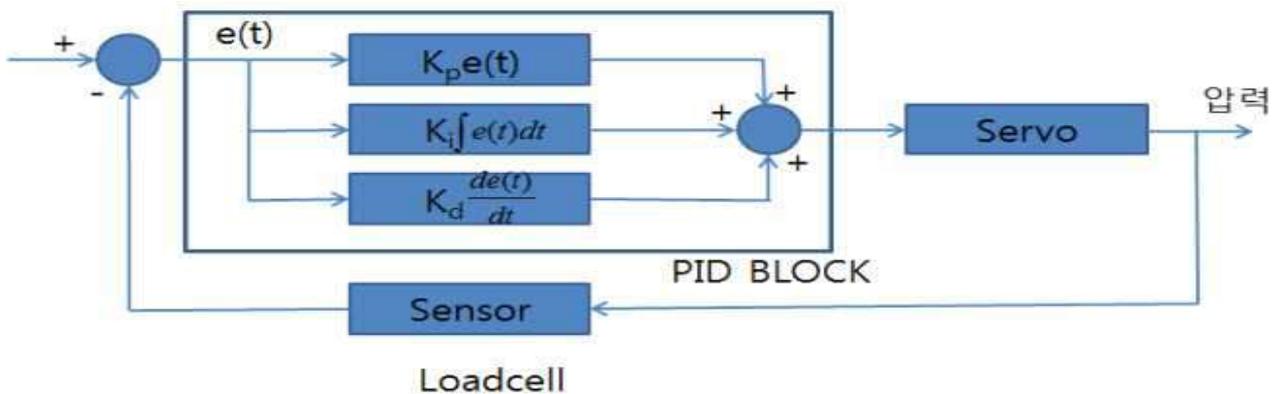
[그림 65] 출력보드 30kHz 공진특성(전류)



[그림 66] 출력보드 출력그래프

(4) 압력제어보드 (Pressure Controller Board)

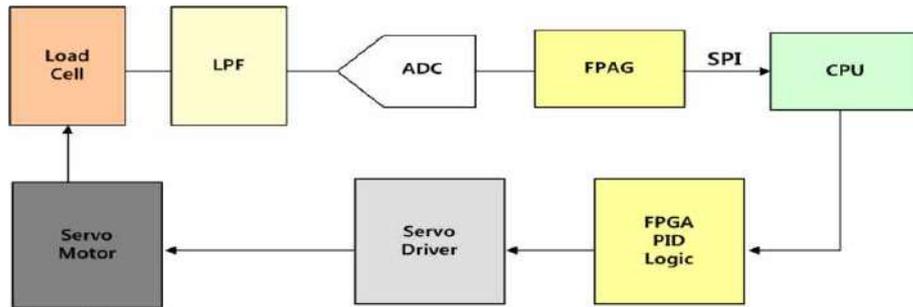
(가) 서보모터 제어(Servo Controller)



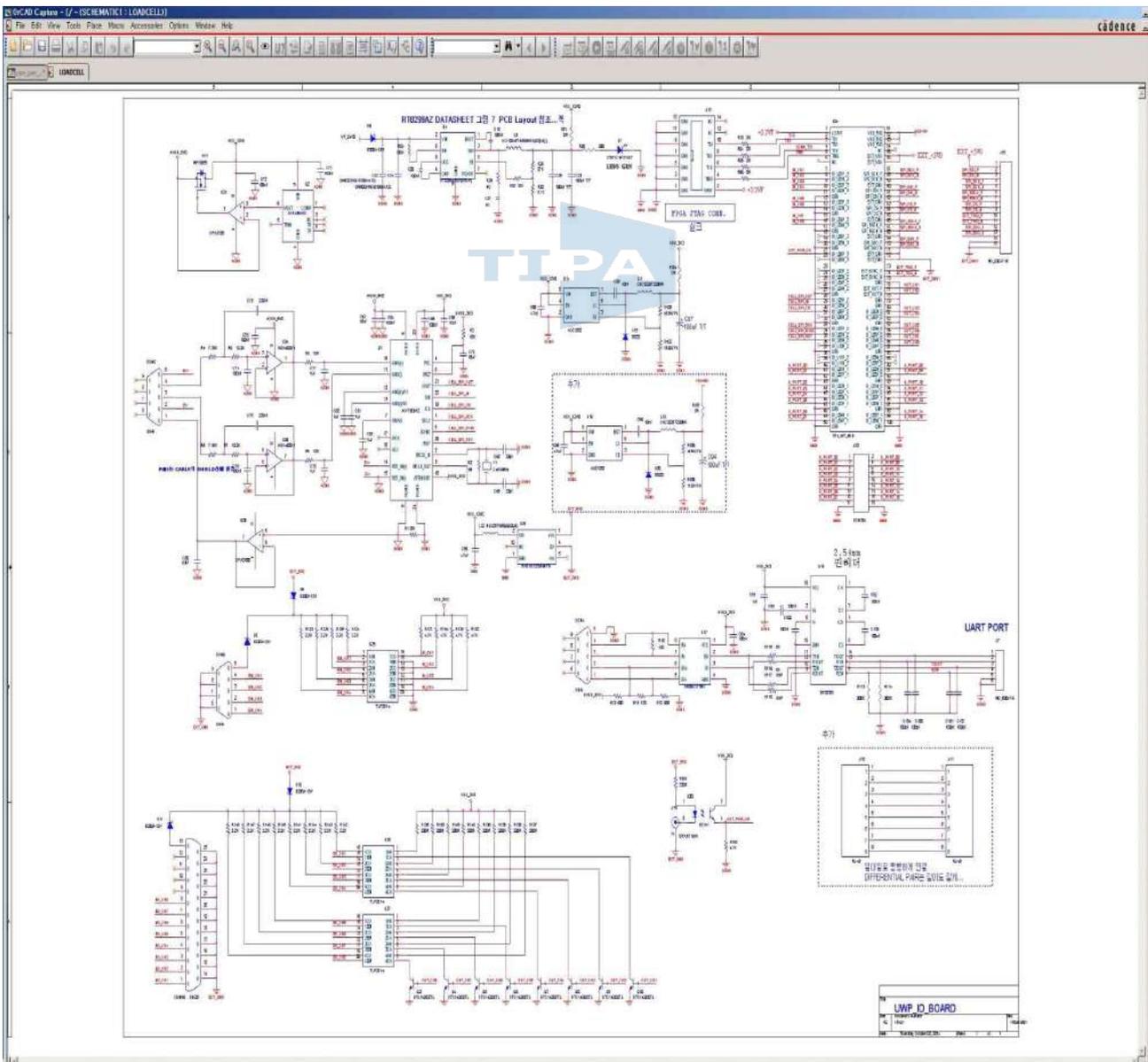
[그림 67] 압력제어시스템 블록다이어그램

- ① 초음파 용접기에 있어서 용접기 사이의 압력은 매우 중요함.
- ② 압력에 따라서 용접의 품질이 결정되기 때문이며, 기존의 제품들은 대부분 공압에 의한 압력조절 시스템을 사용하고 있으며, 이것은 압력제어의 정밀도를 떨어뜨려 용접품질 저하의 원인이 되었음.

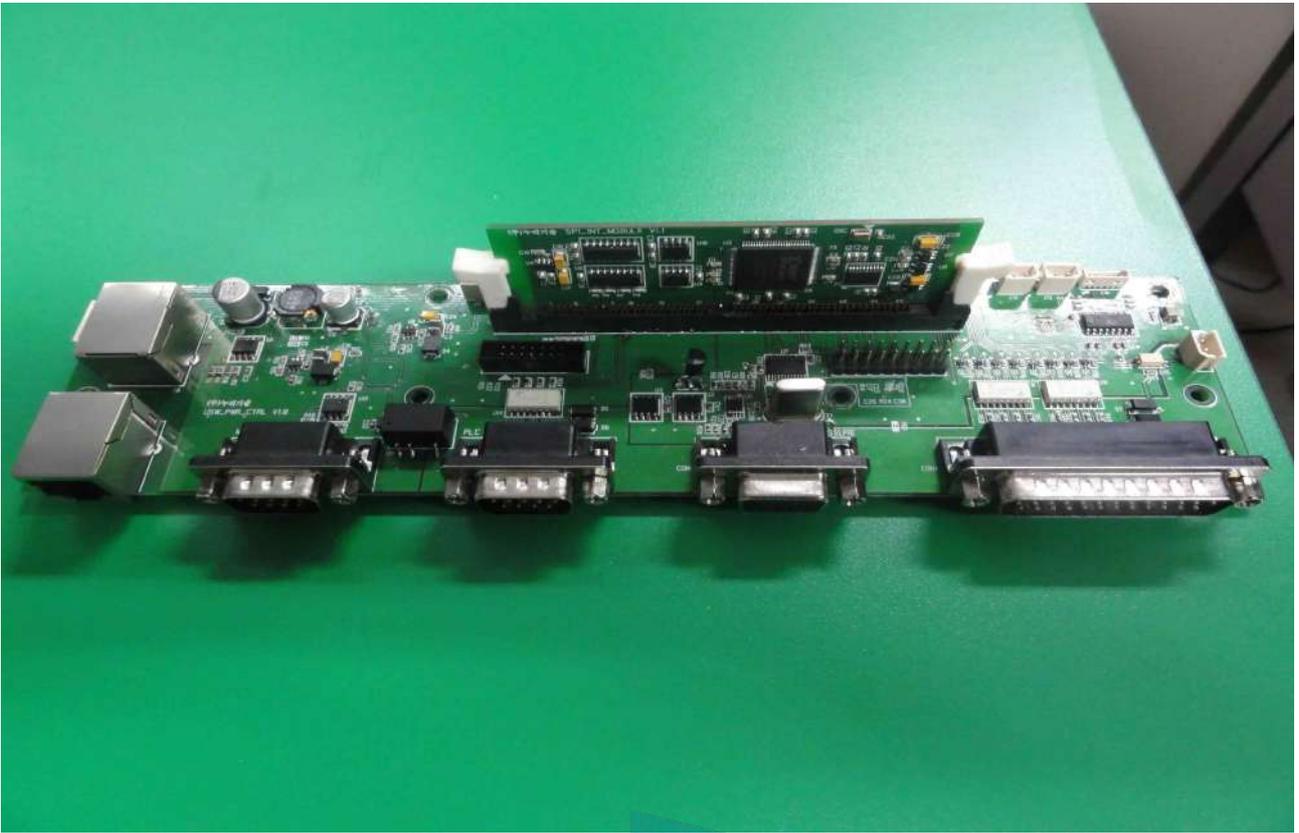
③ 따라서 우리는 Servo motor를 이용하여 정밀하게 압력을 조절할 수 있게 하였음.



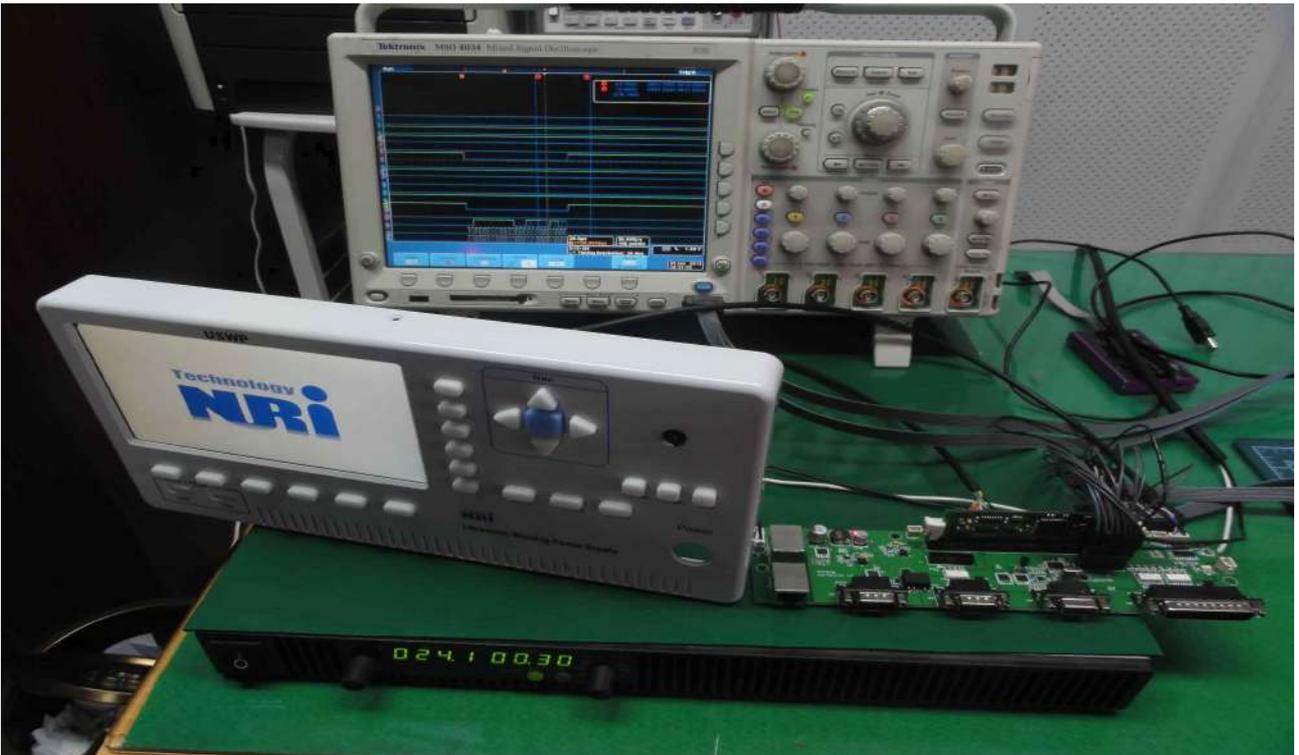
[그림 68] 압력제어 계통도



[그림 69] 압력제어 회로도



[그림 70] 압력제어보드 PCB 사진

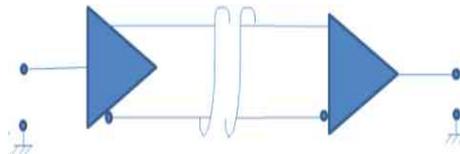


[그림 71] 압력제어보드 실험사진

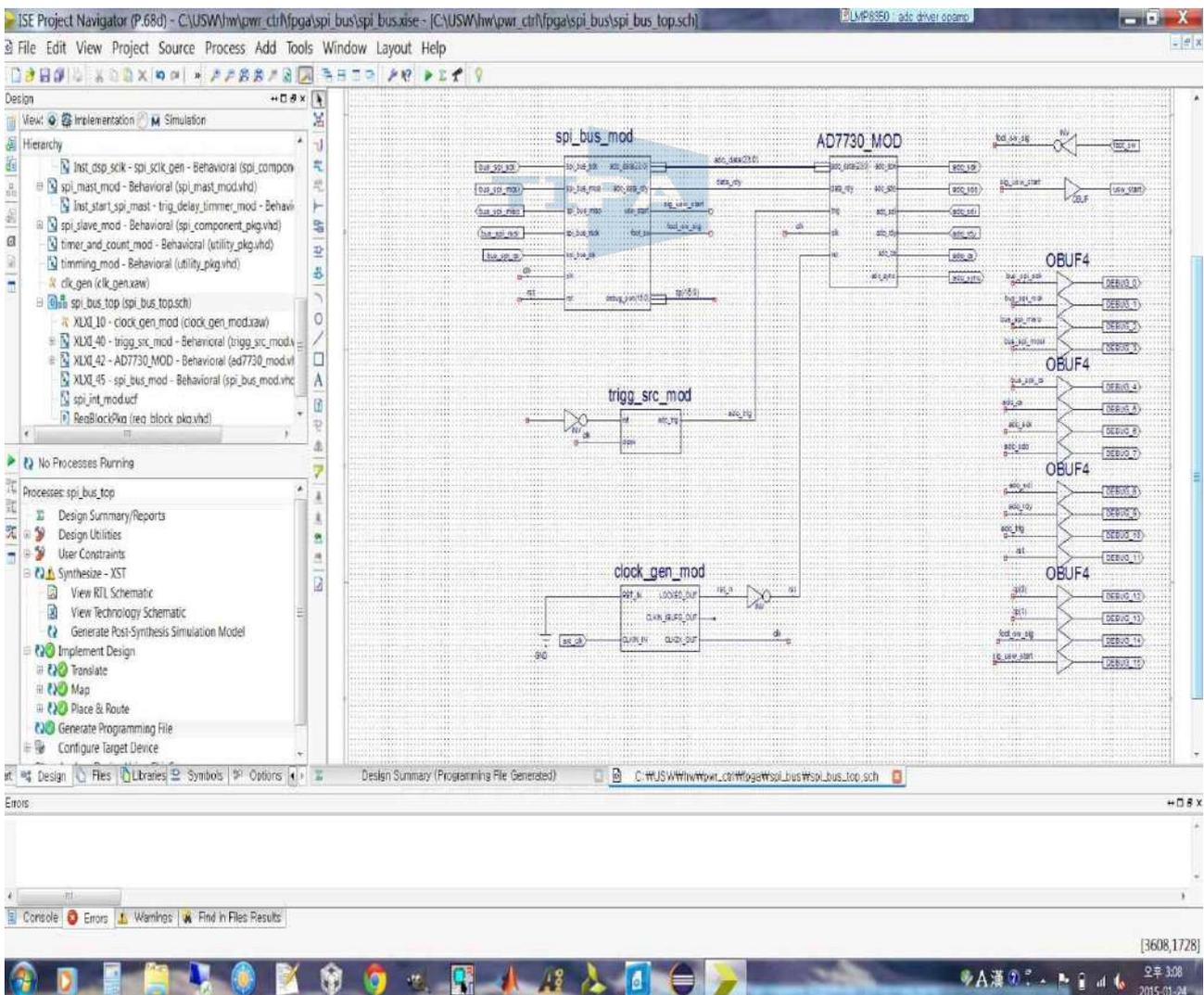
(5) SPI 모듈

(가) SPI모듈은 각 보드간의 시리얼 통신을 구성하고 연결하는 역할을 하며 Serial \leftrightarrow Parallel 컨버터와 I/O를 담당하는 FPGA Logic으로 구성되어 있음.

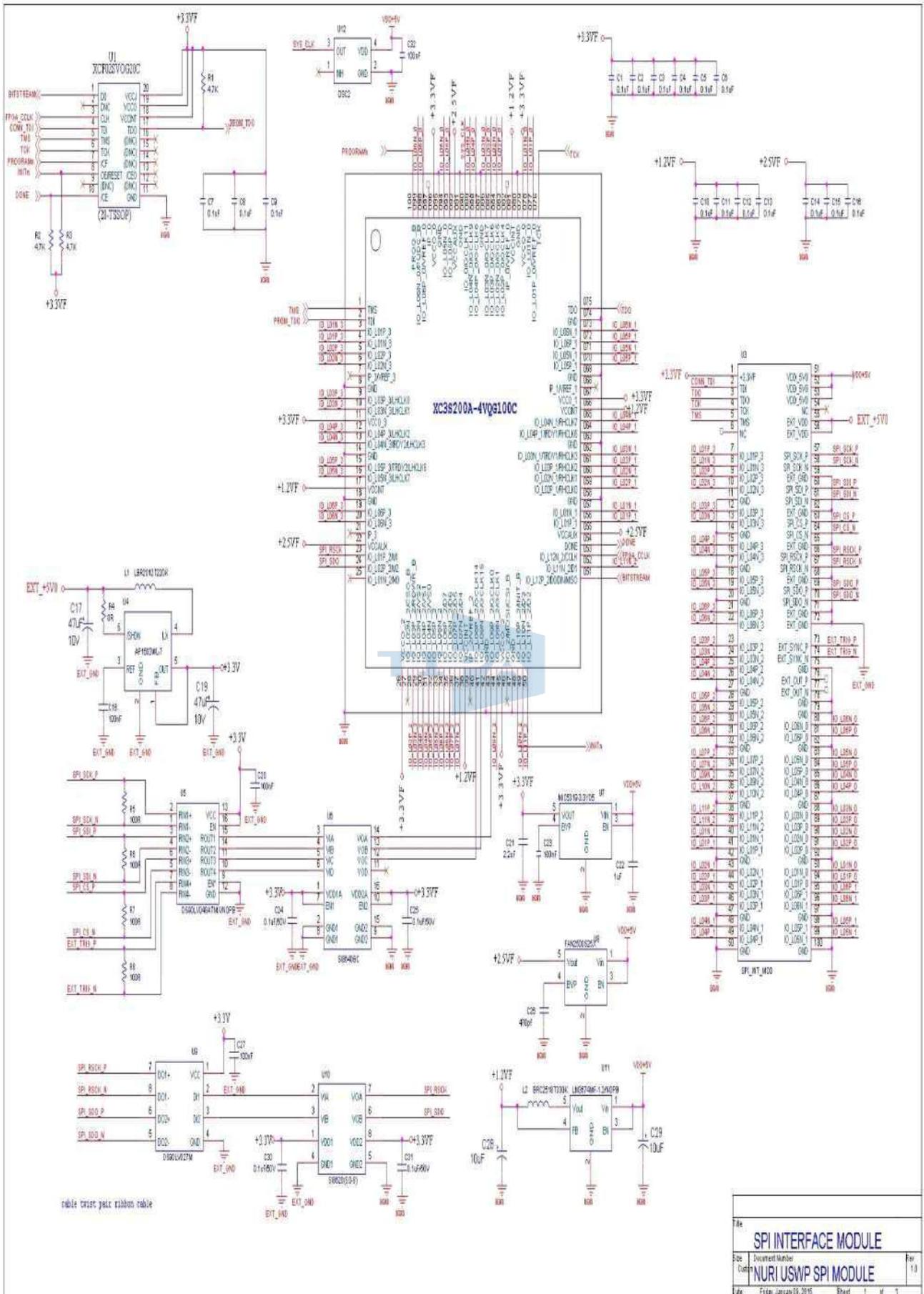
(나) CPU Board, 압력제어 보드, Power 보드를 연결하는 통신은 SPI모듈의 통신 라인으로 구성하였음. 그리고 내부에는 높은 전압의 switching 노이즈가 존재하여 통신을 방해할 수 있으므로 LVDS(Low-Voltage Differential Signal) 방식으로 아래 그림과 같이 구성함.



[그림 72] 3.3V LVDS



[그림 73] SPI 모듈 블록 다이어그램



[그림 74] SPI 모듈 회로도



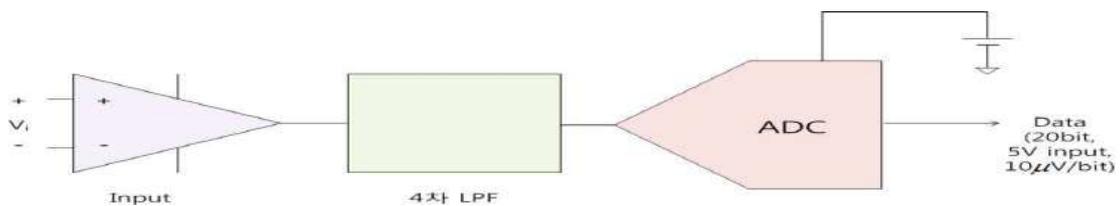
[그림 75] SPI 모듈 PCB 사진

(6) ADC 모듈

(가) ADC(Analog Digital Converter)는 전압, 전류의 Analog 신호를 검출하여 Digital 신호로 바꾸어주는 부분임.

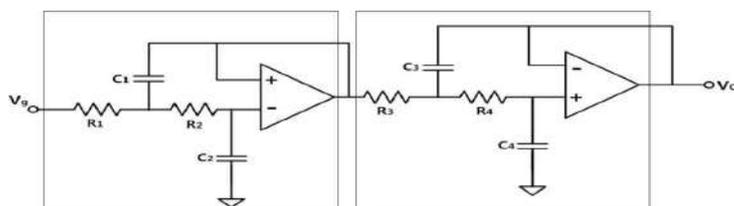
(나) Noise, 온도 변화에 따른 Data의 흔들림, 입력 전원의 흔들림 등으로부터의 영향을 최소화해야하고 신호의 출력이 정확하고 안정해야 시스템의 출력이 안정될 수 있어 매우 중요한 부분임.

(다) 아래 그림과 같이 Analog 4차 LPF를 ADC 전단에 삽입하여 외부의 Noise로부터 영향을 최소화함



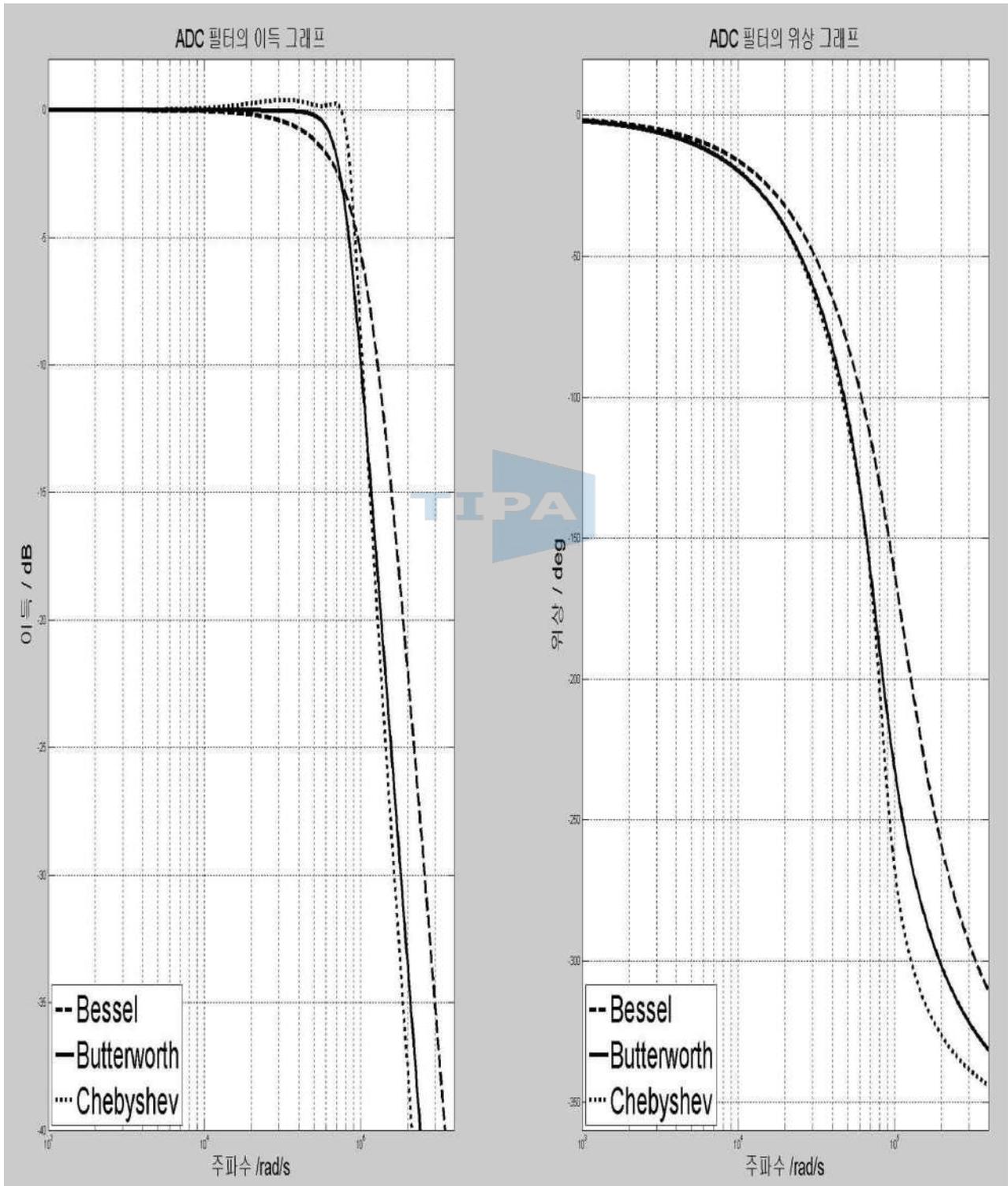
[그림 76] ADC 모듈 회로

① ADC 입력 필터 (이득이 1인 4차 저역통과필터(LPF))

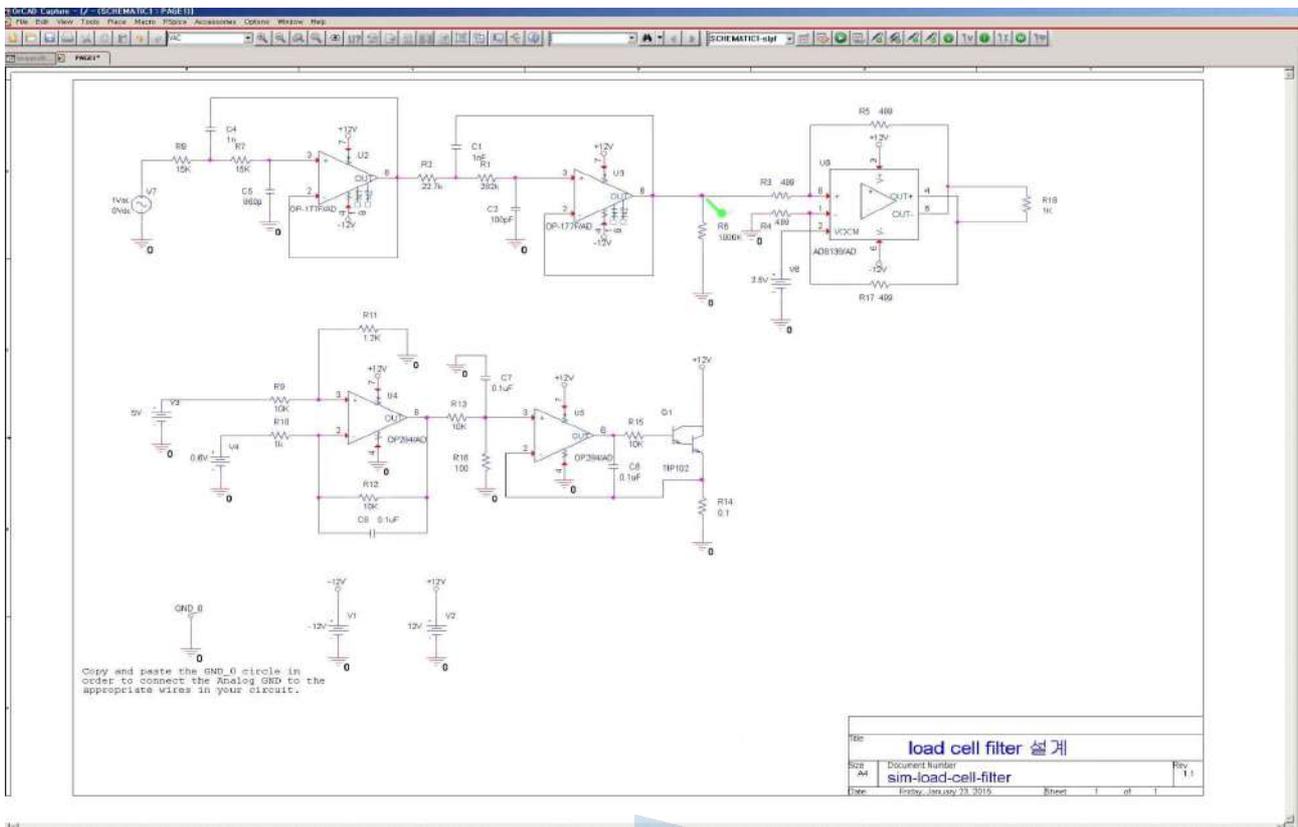


[그림 77] 4차 저역통과 필터 블록 다이어그램

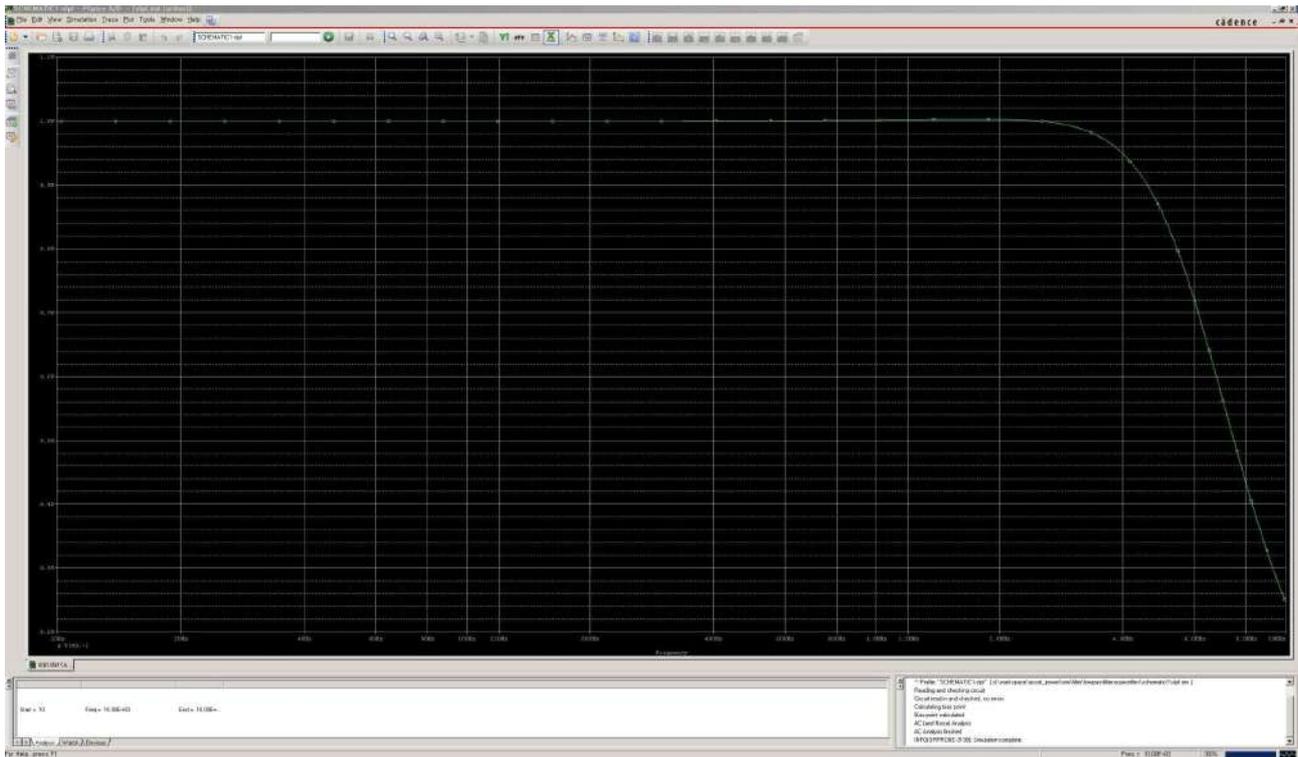
- 2차의 Sallen Key 저역통과필터를 직렬로 결합하여 4차의 필터를 구성하고 최적의 필터 효과를 냄.
- 평탄특성과 차단특성이 셋 중에 비교적 좋은 4차 Butterworth 저역통과필터를 사용하였음.



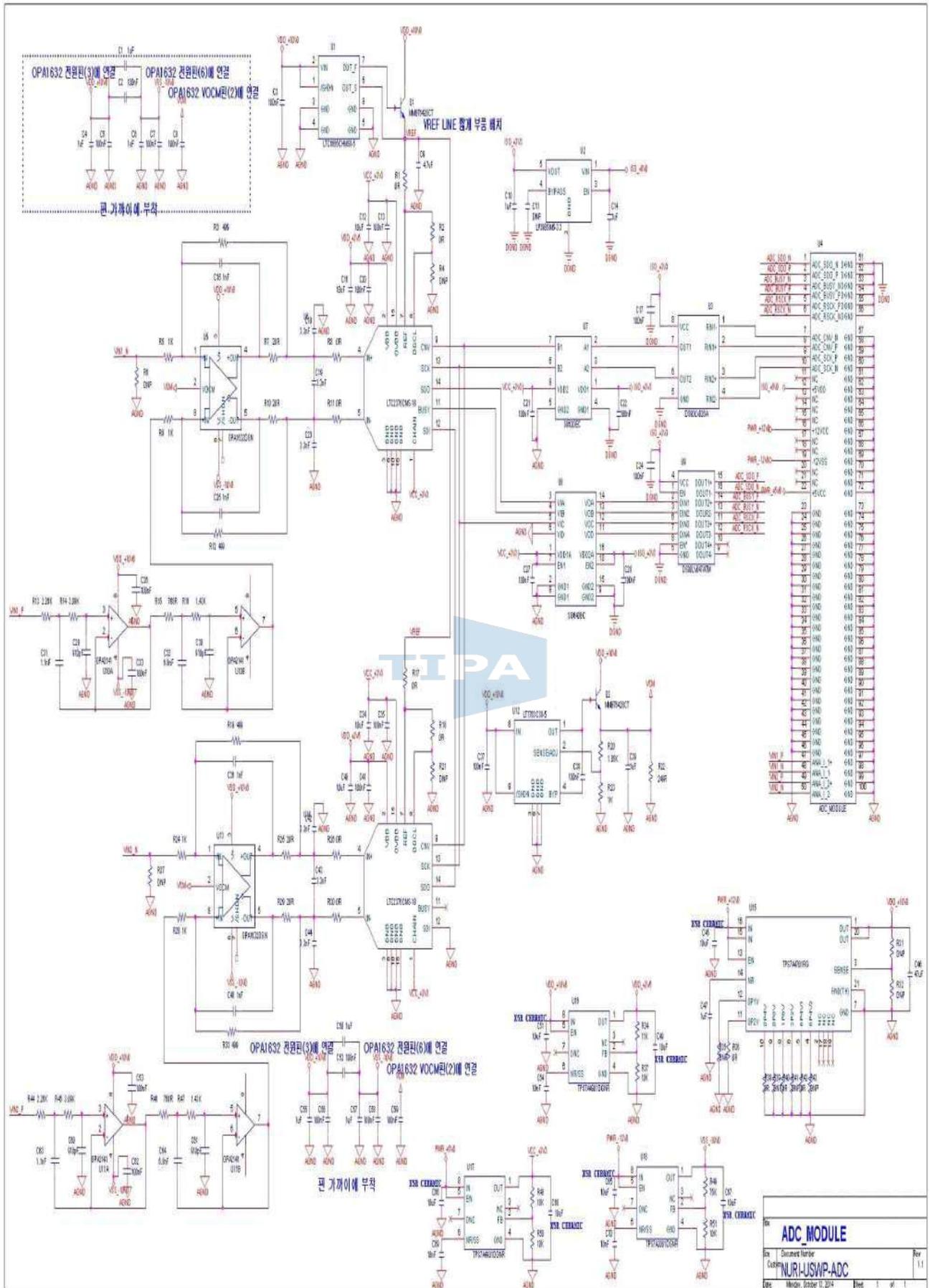
[그림 78] ADC 입력필터의 이득 및 위상 그래프



[그림 79] 4차 저역통과필터 Pspice 모델링 회로도



[그림 80] 4차 저역통과필터 Pspice 모델 이득 그래프



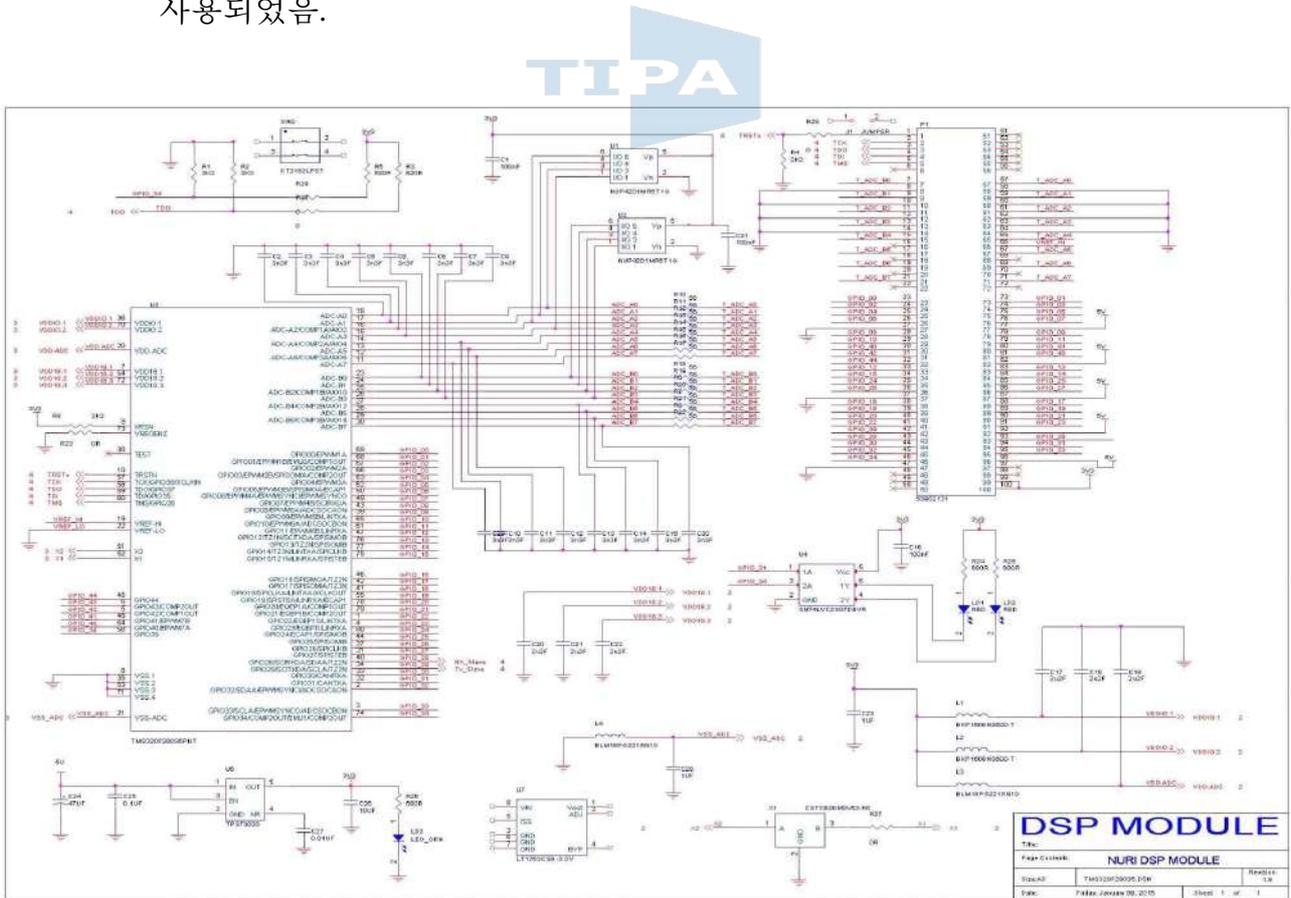
[그림 81] ADC 모듈 회로도



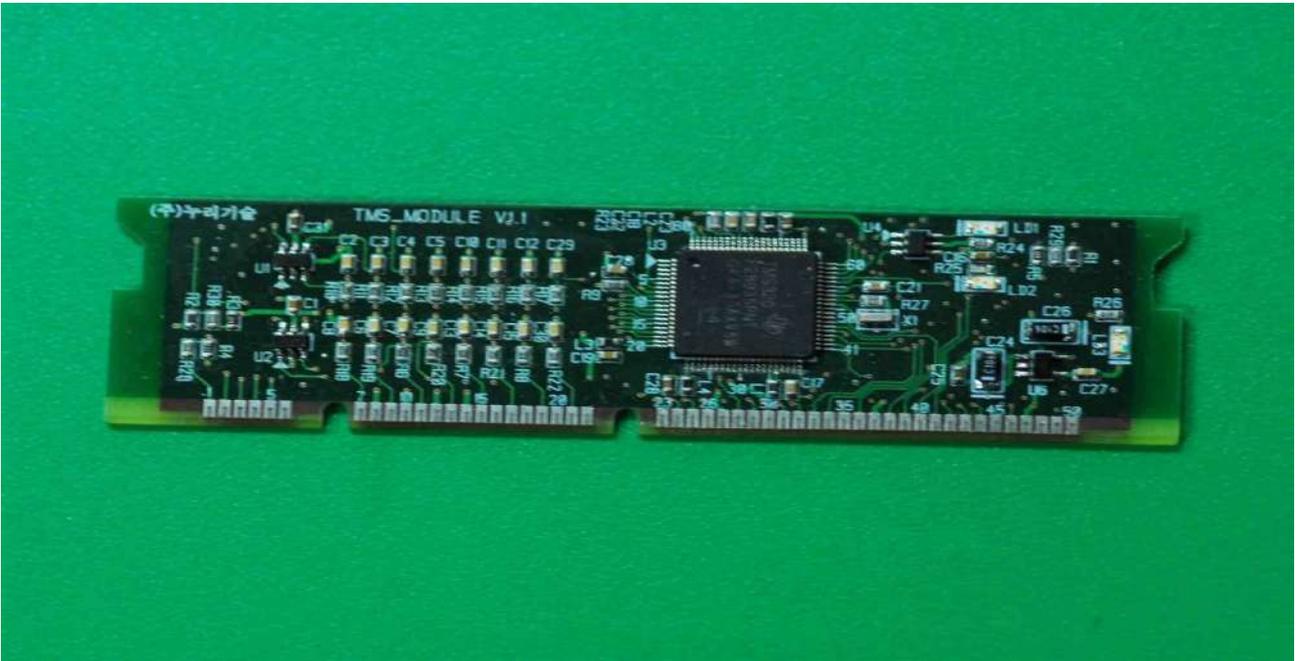
[그림 82] ADC 모듈 PCB 사진

(7) DSP 모듈

(가) DSP 모듈은 출력을 제어하기 위해 필요한 FFT, RMS 등 고속 연산을 위해 사용되었음.



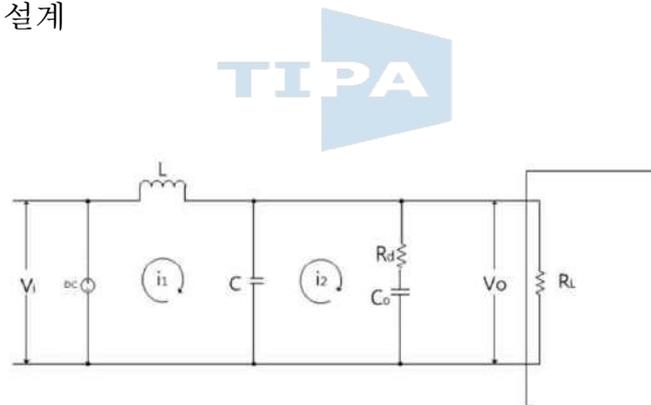
[그림 83] DSP 회로도



[그림 84] DSP모듈 PCB사진

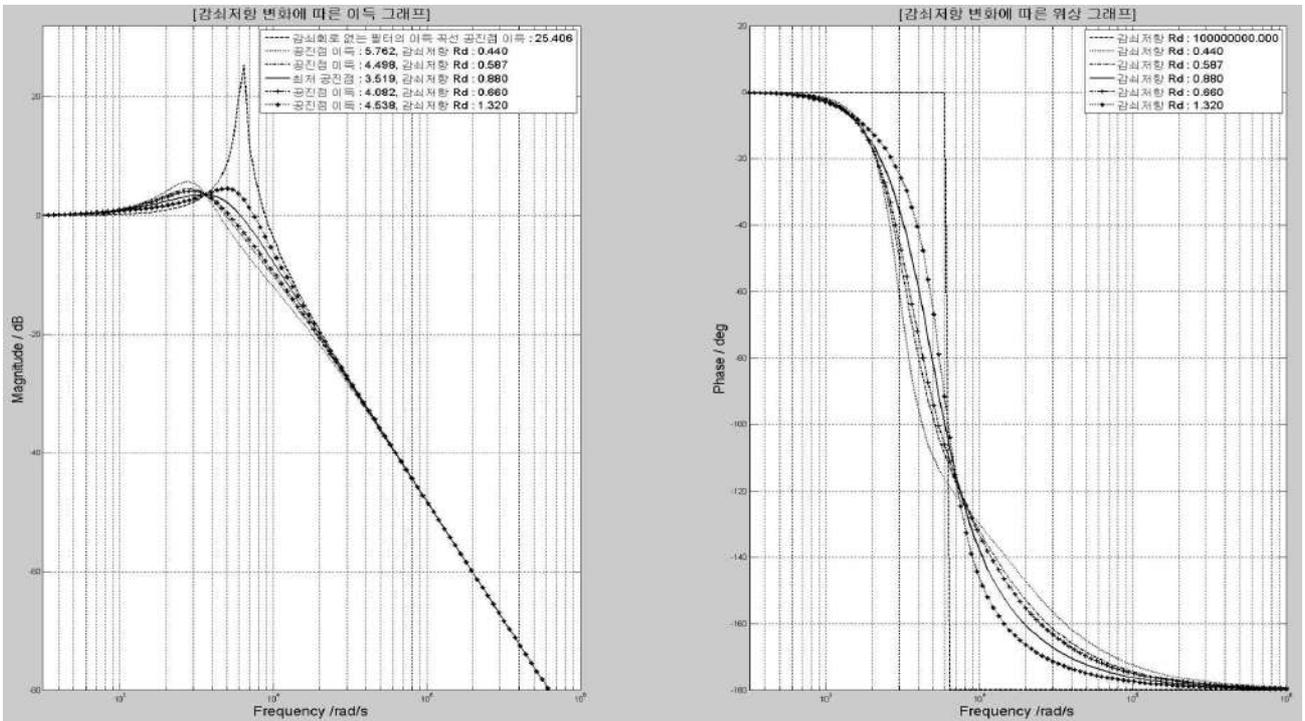
(8) 입력필터

(가) 입력필터 설계



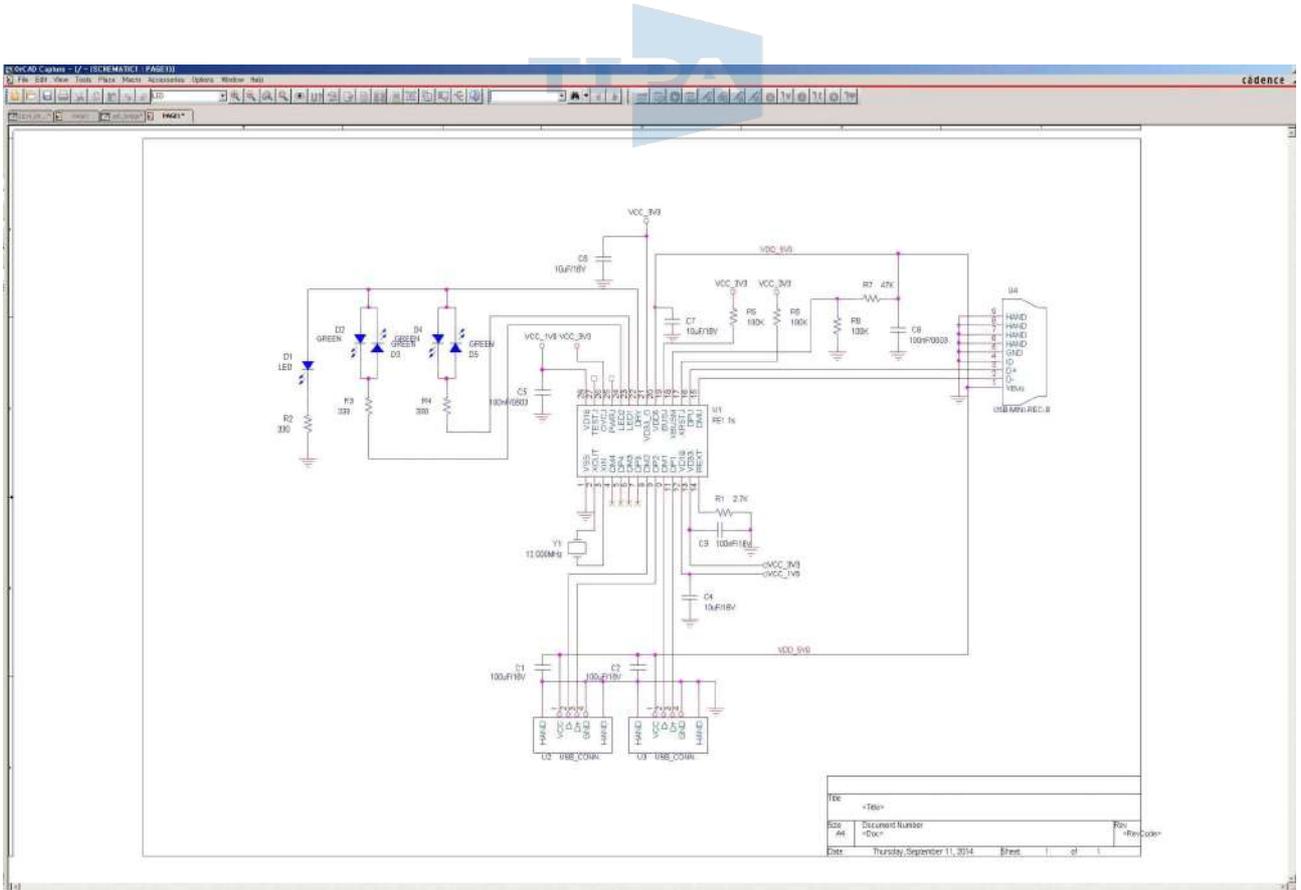
[그림 85] 입력필터의 등가모델

- ① 시스템의 안정도가 매우 중요하고 외부(온도, 습도, 전원 등)의 변화 시에도 안정된 전류가 공급되어야 함.
- ② 입력단의 전원 불안정과 전원 노이즈는 출력의 안정도를 저하하는 원인이기 때문에 이를 제거하기 위해서 저역통과필터(low-pass filter)를 설계하였음.
- ③ 최적감쇄 저항 값을 찾아 입력필터를 설계하였음.



[그림 86] 감쇠저항 변화에 따른 이득과 위상 그래프

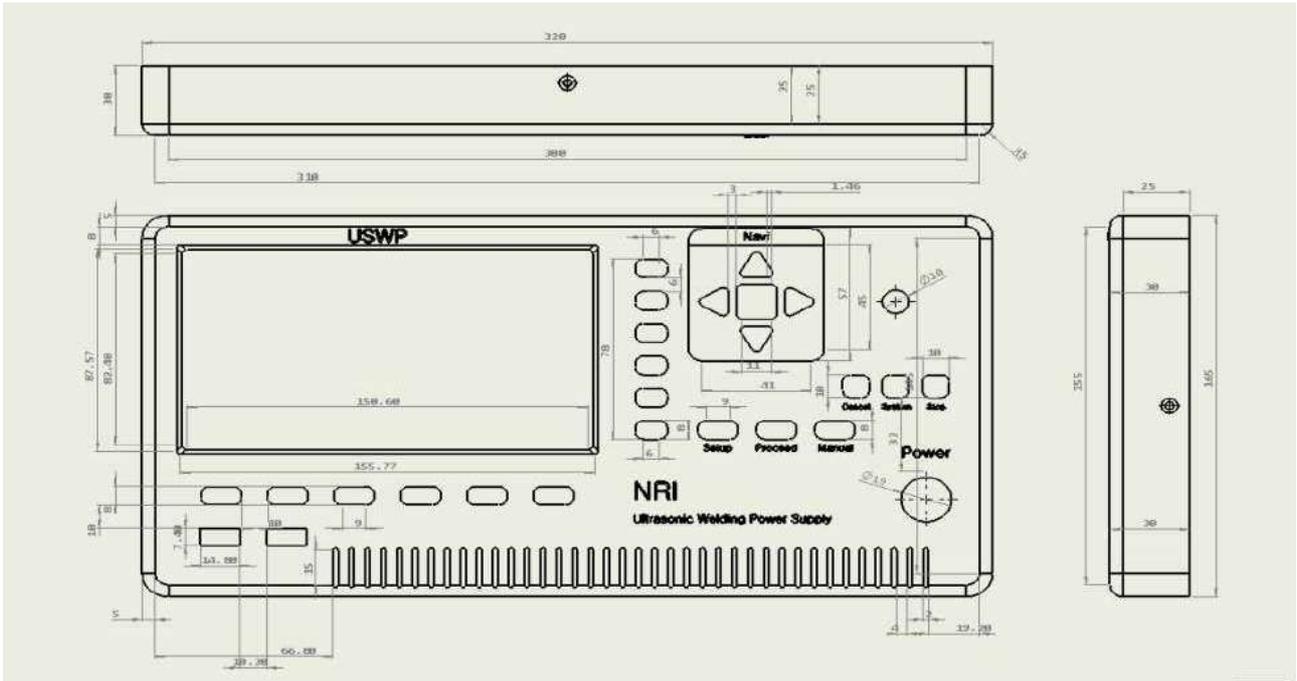
(9) USB모듈



[그림 87] USB 모듈 회로도

(10) Power Supply 케이스 제작

① 전면부

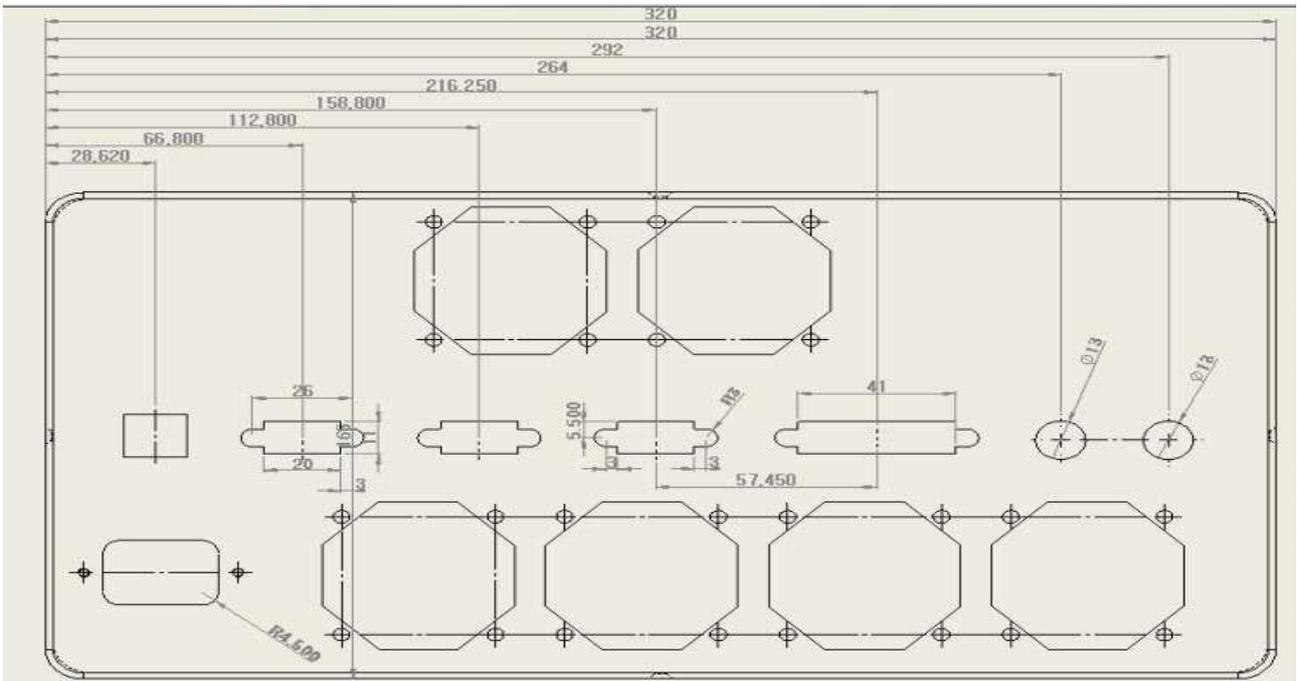


[그림 88] 전면 패널 도면 및 치수



[그림 89] 전면 패널 사진

② 후면부

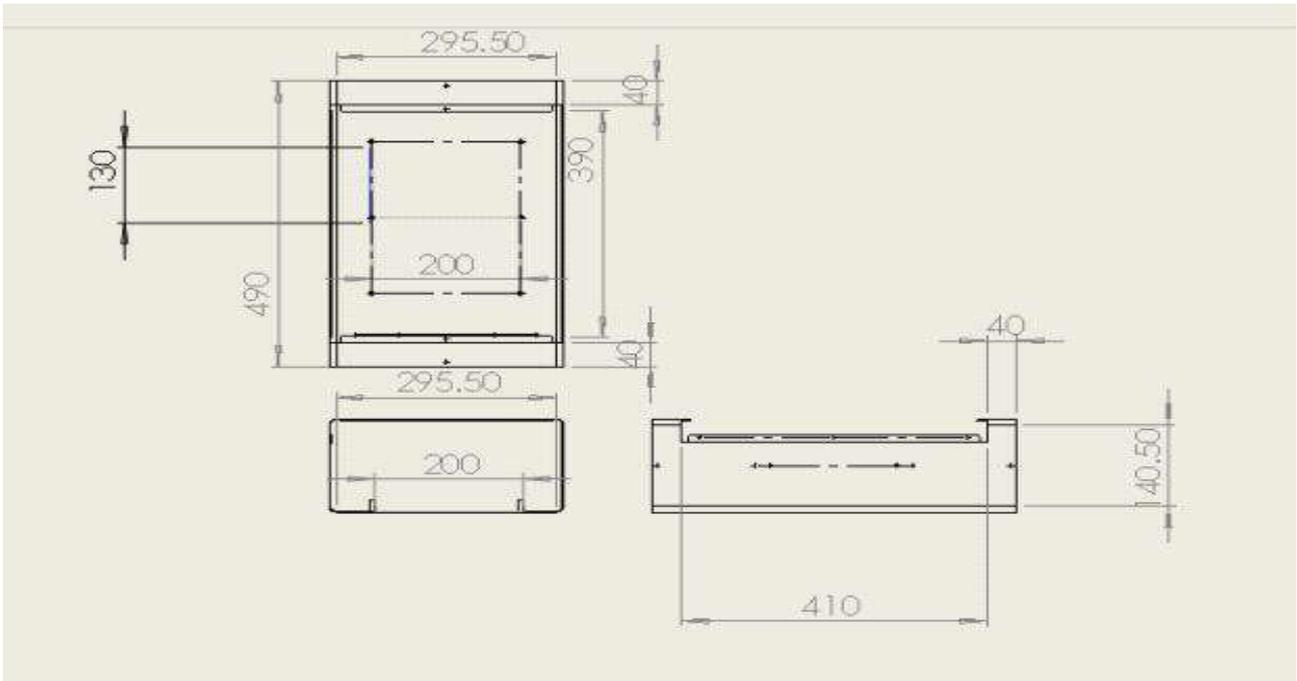


[그림 90] 후면 패널 도면 및 치수



[그림 91] 후면 패널 사진

③ 몸체



[그림 92] 몸체 도면 및 치수



[그림 93] 몸체 옆면사진



[그림 94] 몸체 윗면 사진

④ 전체

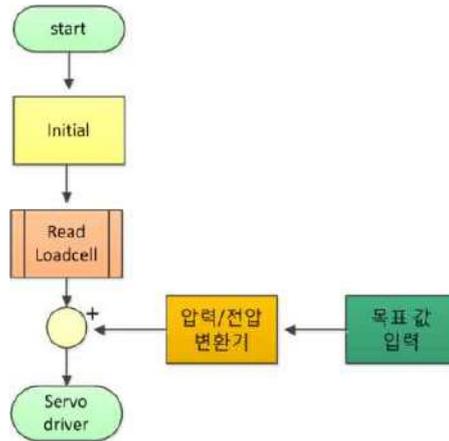


[그림 95] Power Supply 전체 사진

다. 초음파 금속 용접기 구동용 Power Supply 소프트웨어(S/W) 개발

(1) 압력제어용 모듈

(가) Load cell의 출력이 수 10mV정도로 낮기 때문에 이것을 안정하게 읽을 수 있는 (내부 증폭회로가 들어있는) ADC를 사용하였고 ADC의 출력을 입력으로 환산하고 PID Control을 S/W로서 구성하였음. S/W 모듈의 간단한 Flow Chart는 다음과 같음.



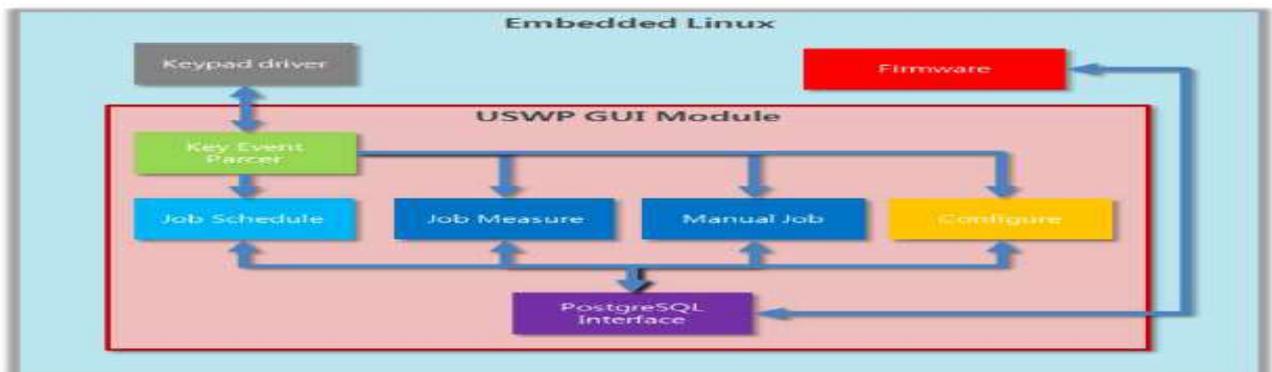
[그림 96] 압력제어 PID 흐름도

(2) GUI 모듈

(가) GUI 모듈 기본 조건

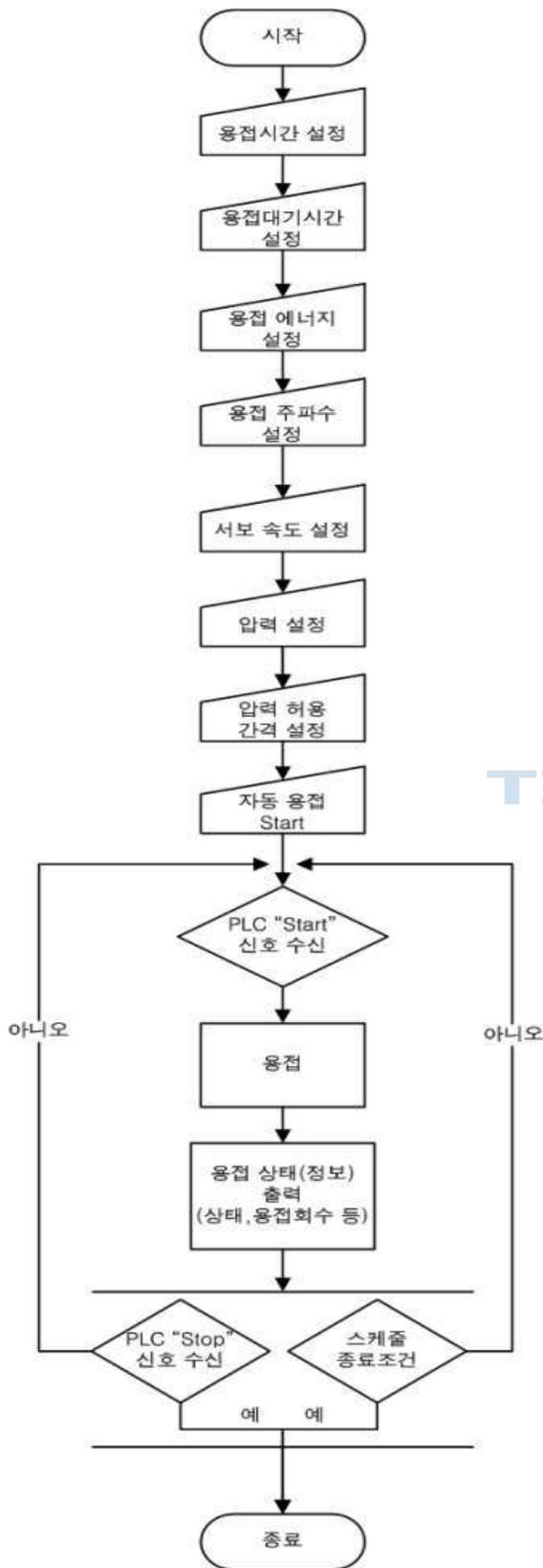
- ① 자동용접에 필요한 파라미터 작성가능 창 필요 -> Job List
- ② 자동용접 진행 상태 표시창 필요 -> Weld Process
- ③ 수동용접 입력 및 상태 표시창 필요 -> Manual Weld
- ④ 환경설정이 가능한 창 필요 -> Configuration

(나) GUI 모듈 데이터 흐름도

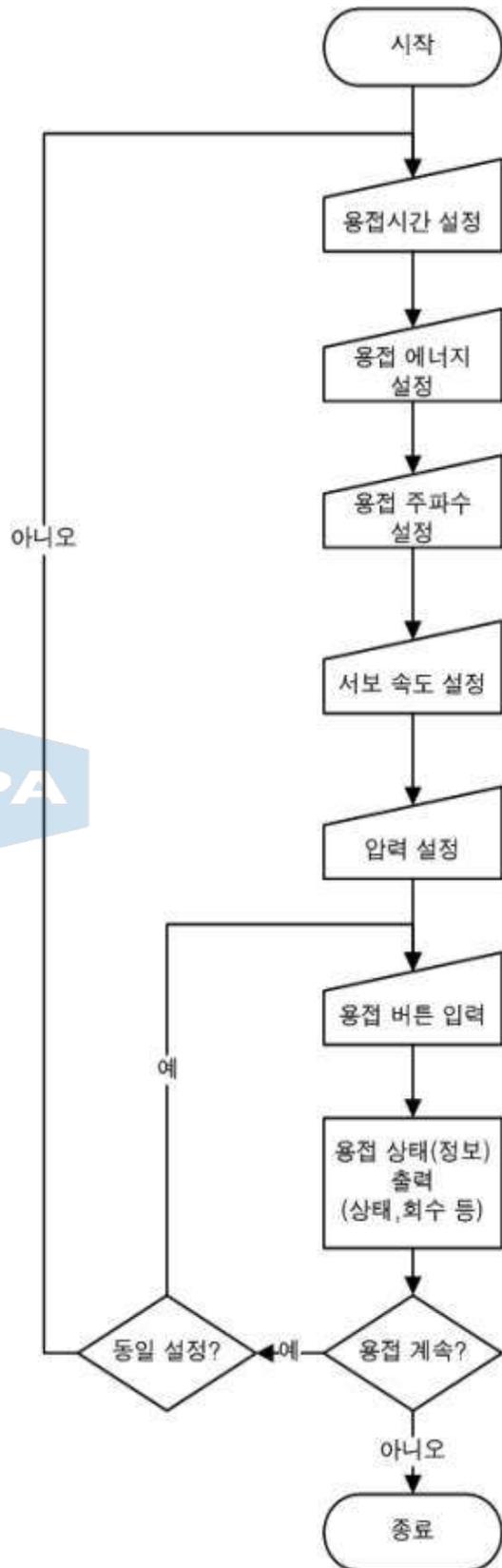


[그림 97] GUI 모듈 데이터흐름도 블록다이어그램

(다) GUI 모듈 용접 Flowchart



[그림 98] 자동용접 Flowchart



[그림 99] 수동용접 Flowchart

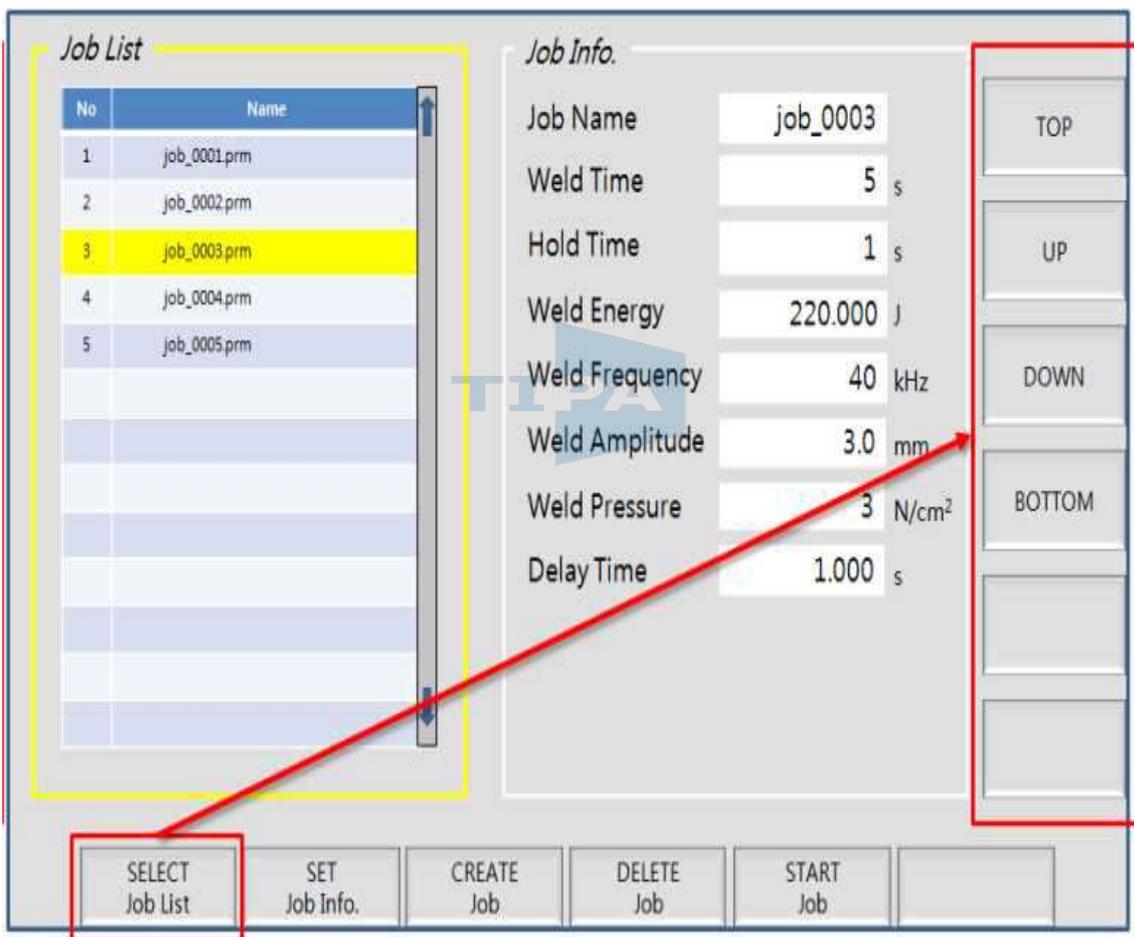
(라) GUI 모듈 Data Structure

No.	데이터명	구분1	구분2	Type	용도
1	weld list No.	param	자동	integer	용접 목록 번호
2	weld type	param	자동/수동	BYTE	용접 타입, (자동 용접, 수동 용접)
3	weld time	param	자동/수동	float	용접 시간
4	hold time	param	자동/수동	float	용접 후 유지 시간
5	weld energy	param	자동/수동	float	용접 에너지(단위 J)
6	weld frequency	param	자동/수동	float	용접 주파수
7	weld amplitude	param	자동/수동	float	용접부 진동폭...확인필요
8	weld pressure	param	자동/수동	float	용접 압력
9	delay time	param	수동	float	자동 용접시 용접 간 시간
10					
11	limit weld time	param	자동/수동		최대 용접시간 제한값
12	weld count	data	자동/수동		현재 용접 회수. (자동, 수동시 동일 적용되는지 검토필요)
13	weld result	data	자동/수동		용접 결과(Good, Bad, Suspect)
14	weld energy	data	자동/수동		
15	weld current	data	자동/수동		전력값
16	weld voltage	data	자동/수동		현재 용접 회수. (자동, 수동시 동일 적용되는지 검토필요)
17	weld power	data	자동/수동		전력값
18	pressure	data			로드셀 데이터(압력 값)
19	pressure gap	data			
20	weld No.	data	자동		용접 목록 번호
21	weld count No.	data	자동/수동	integer	현재 용접 카운트
22	weld type	data	자동/수동	BYTE	용접 타입, (자동용접, 수동 용접)
23	weld time	data			용접 시간
24	hold time	data			용접 후 유지 시간
25	weld energy	data			용접 에너지(단위 J)
26	weld frequency	data			용접 주파수
27	weld amplitude	data			용접부 진동폭
28	welding start time	data	자동/수동		
29	welding end time	data	자동/수동		

(마) GUI 모듈 개발 환경

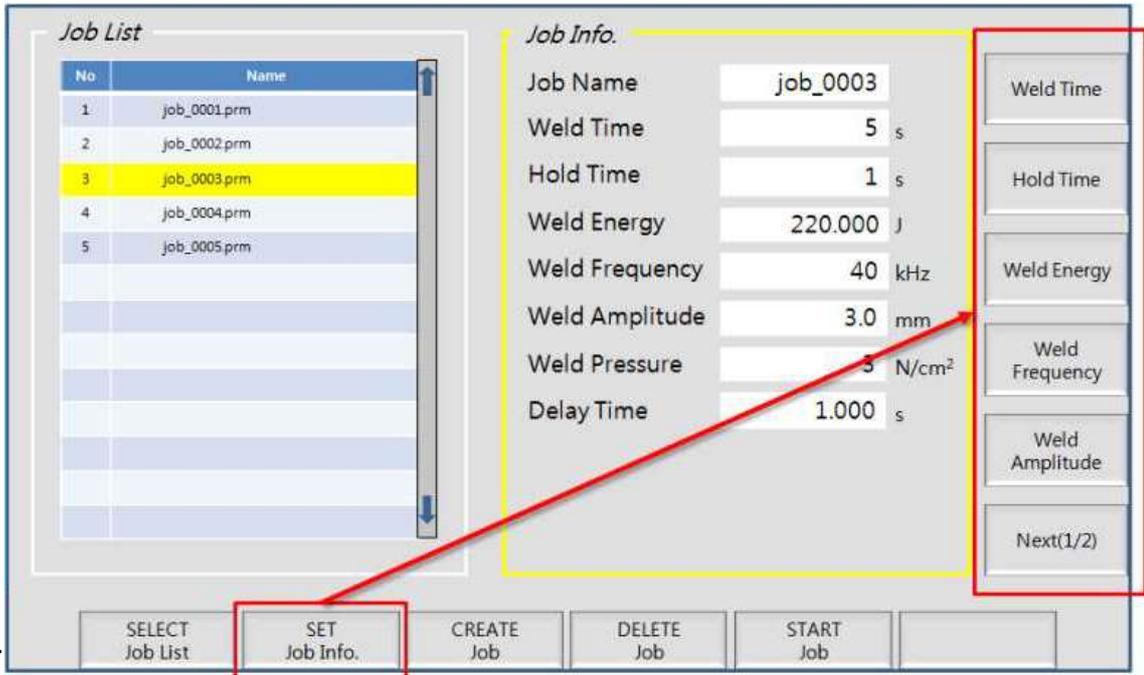
- ① Host PC : Linux (Ubuntu 64bit 14.04, kernel ver.3.13.0)
- ② Target B/D : Samsung S5CPV210 ARM CPU
- ③ Cross Compiler : arm-none-linux-gnueabi (arm-2009q3)
- ④ SDK : Qt-4.7.4, Qwt-6.1.0
- ⑤ IDE : Qt Creator 2.4.1, Eclipse LUNA

(바) GUI 모듈 Guideline 작성



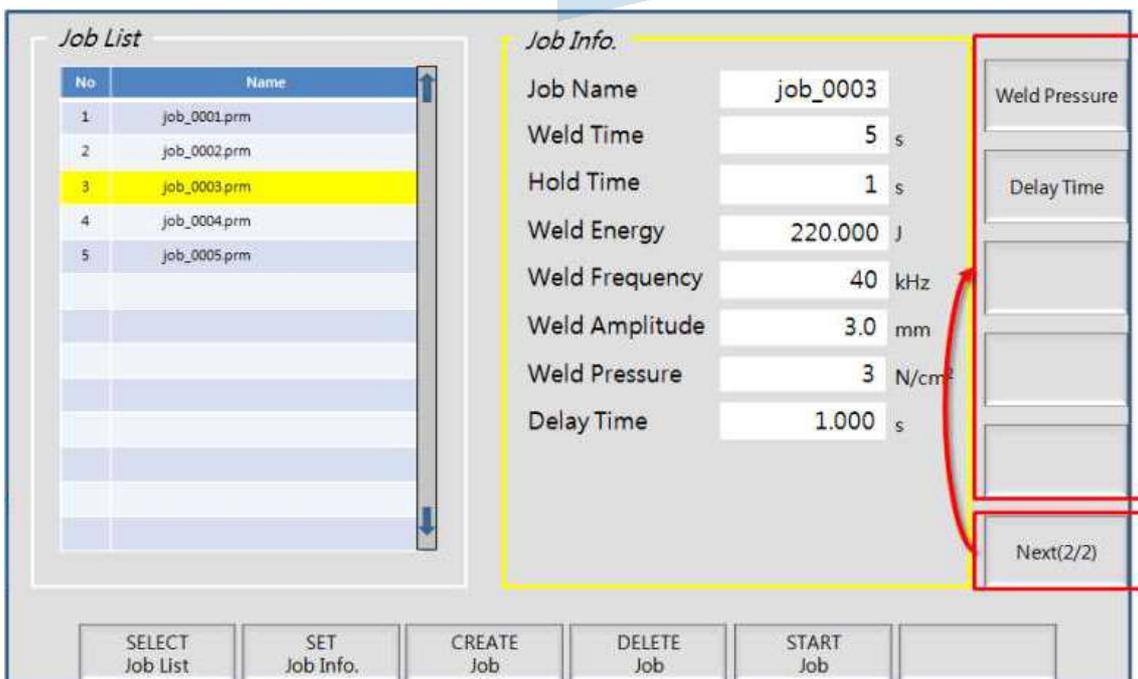
[그림 100] 자동용접 입력 파라미터 입력 화면 - Job schedule #1

- ① “Select Job List“ 수평 기능을 선택하면 ” Job List“ 그룹이 선택되고 수직 기능키는 아래와 같이 변경됨.



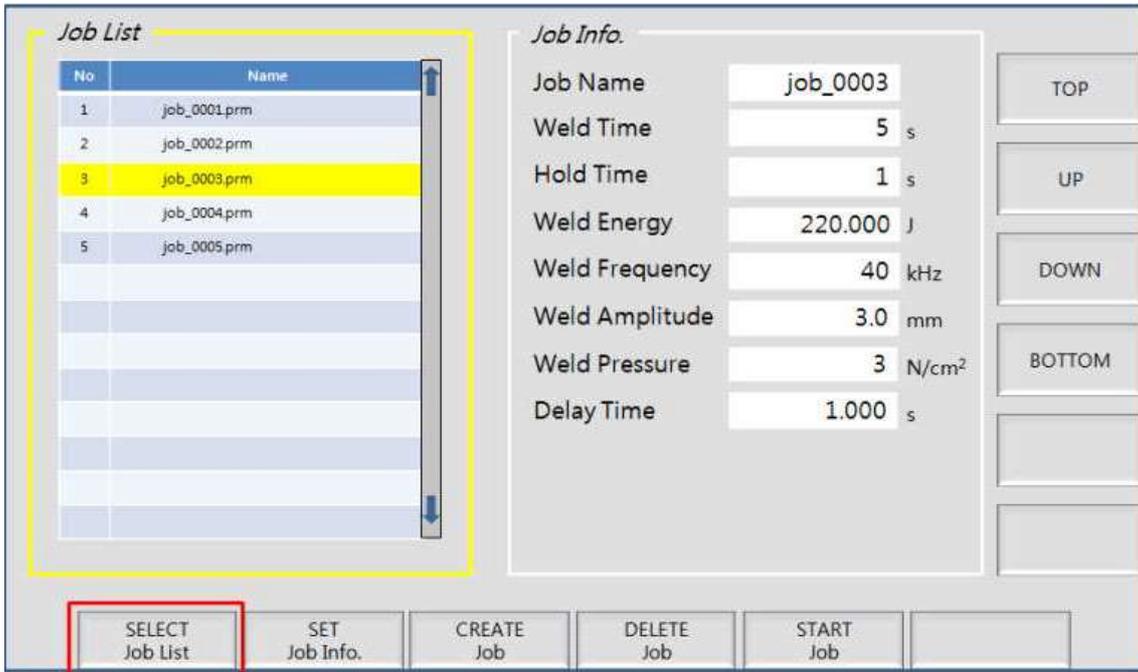
[그림 101] 자동용접 입력 파라미터 입력 화면 - Job schedule #2

- ② “Set Job Info.” 버튼을 누르면 ” Job Info.“ 그룹이 노란색으로 하이라이트 되고 버튼의 배열이 아래와 같이 변경됨. “Job Info.“ 입력 항목에 대응하는 버튼을 누르면 입력 값 변경가능.



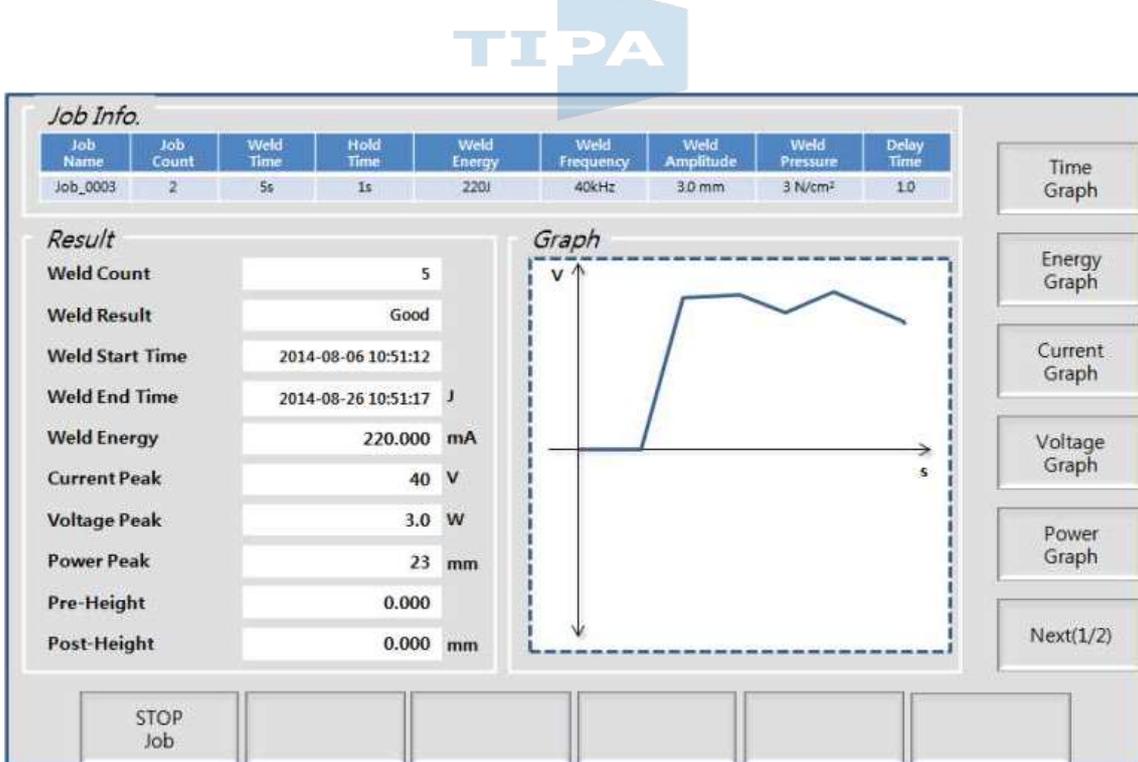
[그림 102] 자동용접 입력 파라미터 입력 화면 - Job schedule #3

- ③ “Next“ 버튼을 눌러 기능을 순차적으로 변경시킴.



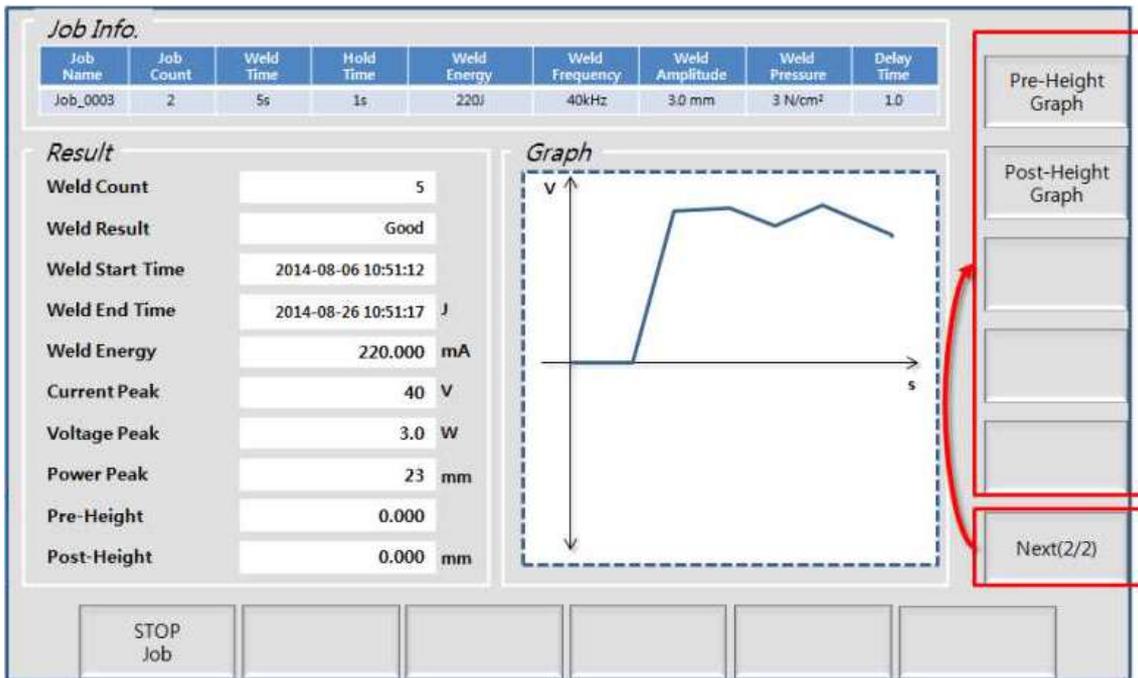
[그림 103] 자동용접 입력 파라미터 입력 화면 - Job schedule #4

- ④ “Set Job Info.“ 버튼을 누르면 ” Job Info.“ 그룹이 노란색으로 하이라이트 되고 버튼의 배열이 아래와 같이 변경됨.



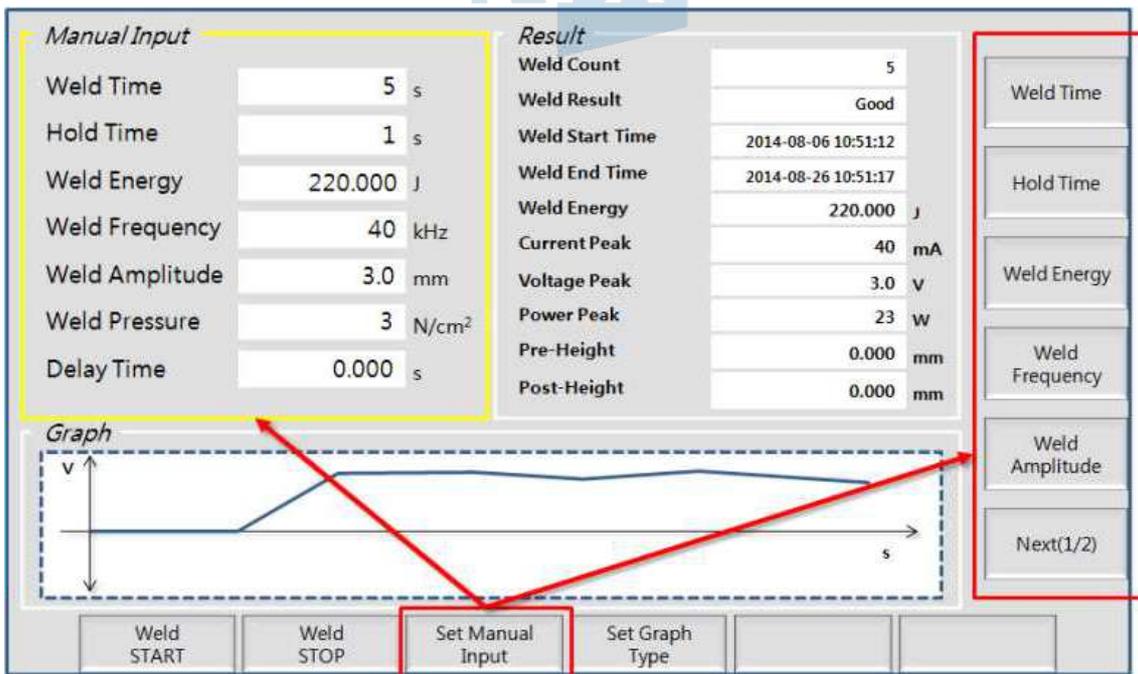
[그림 104] 자동용접 진행 상태 표시창 - Weld Process #1

- ⑤ “Start Job“ 버튼을 눌러 현재 로드된 항목의 값을 파라미터로 용접 작업을 진행 가능.



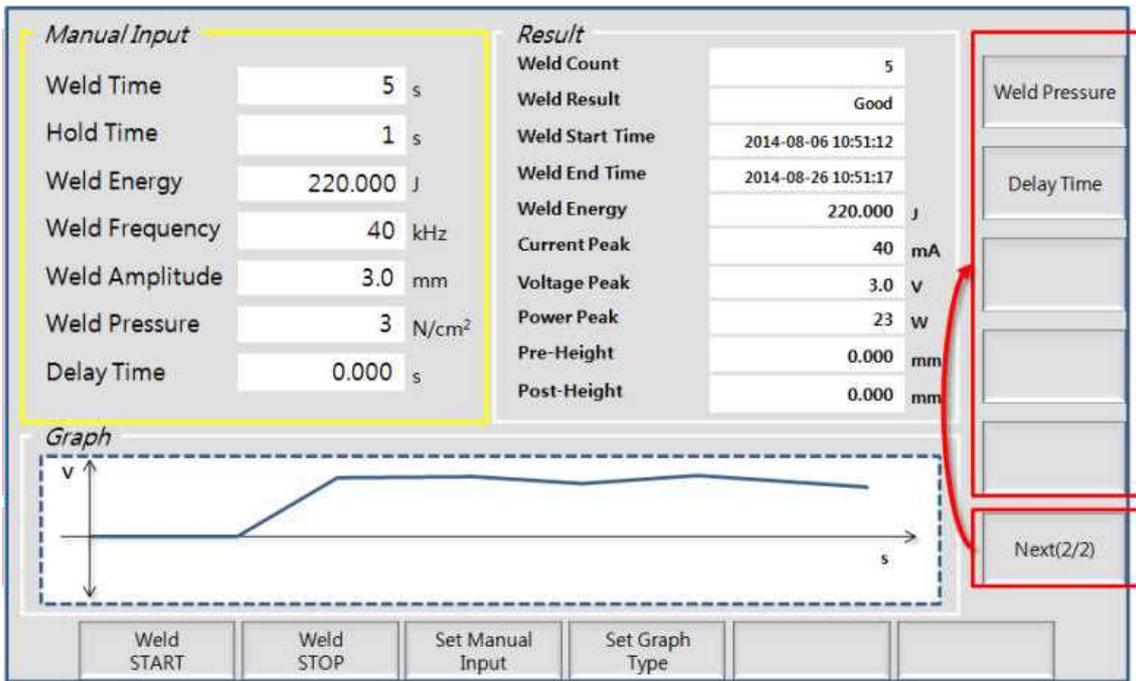
[그림 105] 자동용접 입력 파라미터 입력 화면 - Weld Process #2

⑥ “Next“버튼으로 수직 기능키 변경.



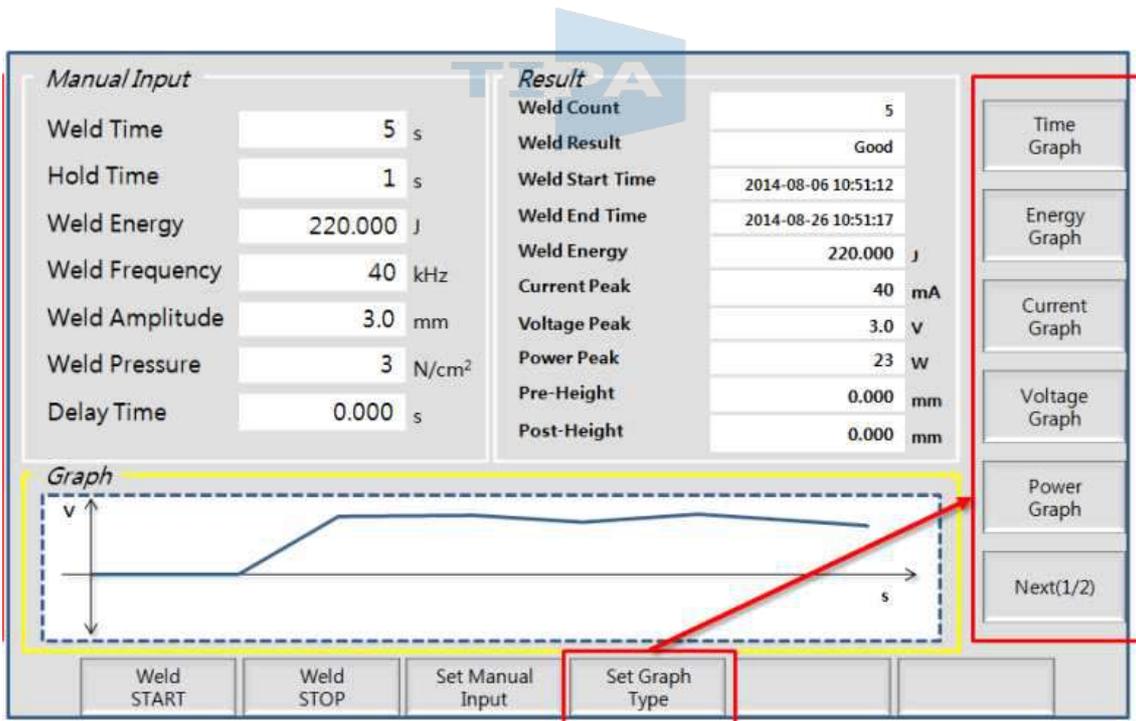
[그림 106] 수동용접 입력 및 상태 표시창 - Manual Weld #1

⑦ “Set Manual Input“버튼으로 ” Manual Input“그룹의 항목들을 선택하여 값을 입력함.



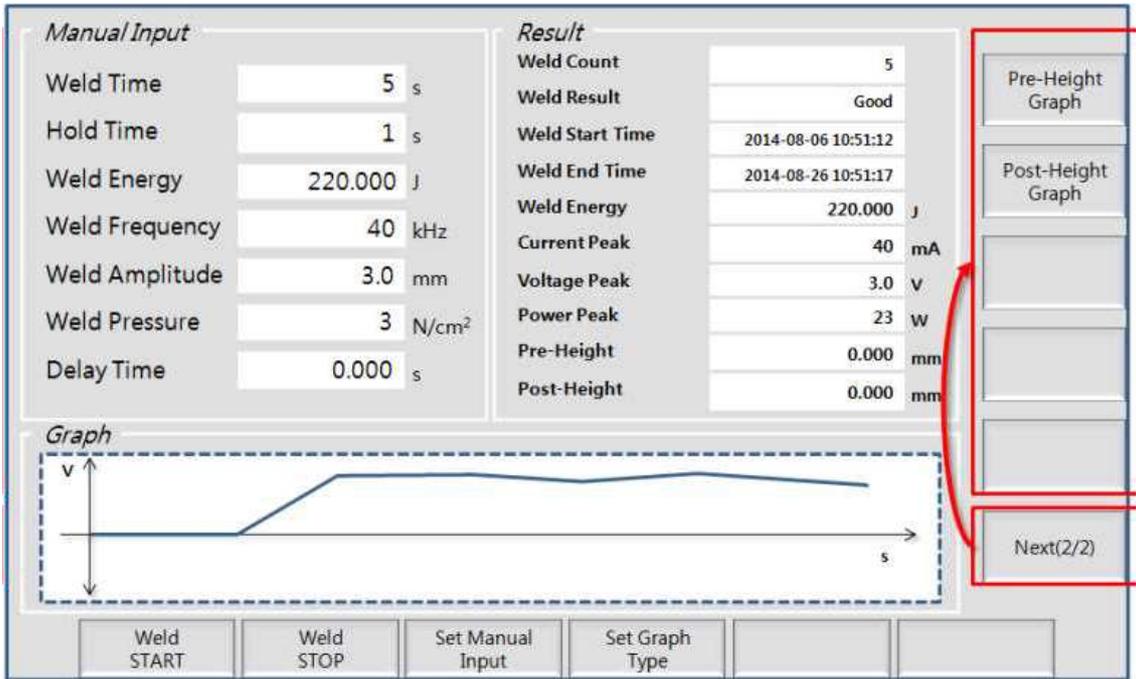
[그림 107] 수동용접 입력 및 상태 표시창 - Manual Weld #2

⑧ “Next“버튼으로 “Manual Input“ 항목의 다음 내용을 확인 가능.



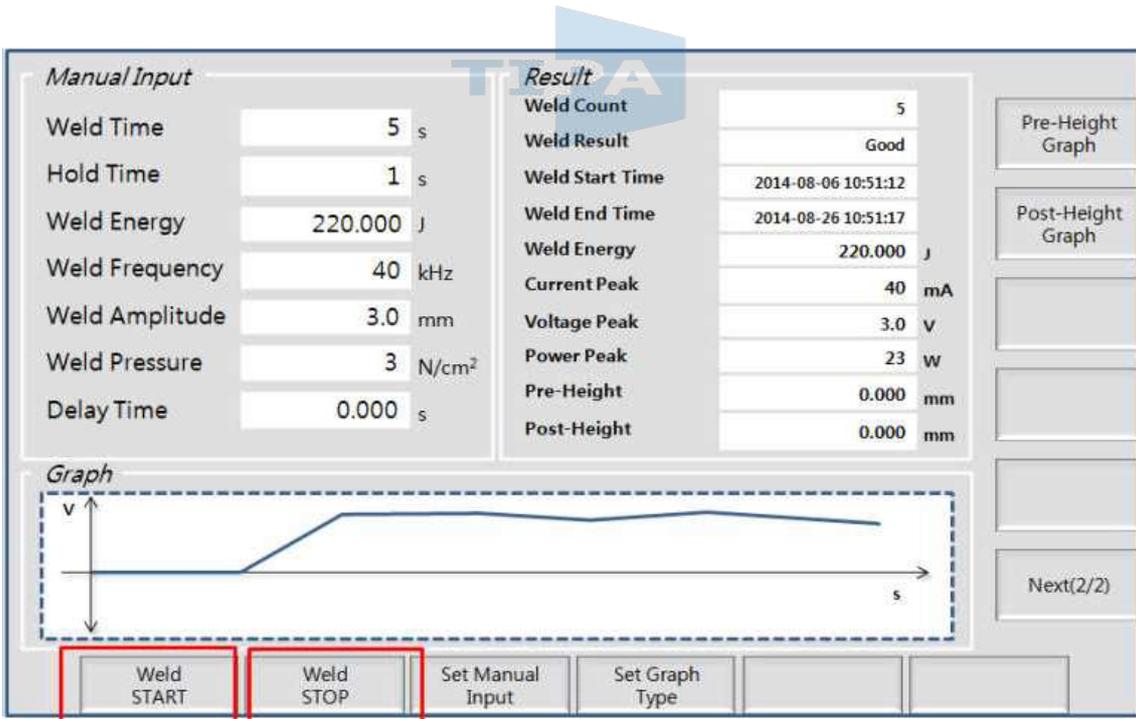
[그림 108] 수동용접 입력 및 상태 표시창 - Manual Weld #3

⑨ “Set Graph Type“버튼으로 확인이 필요한 그래프 선택이 가능.



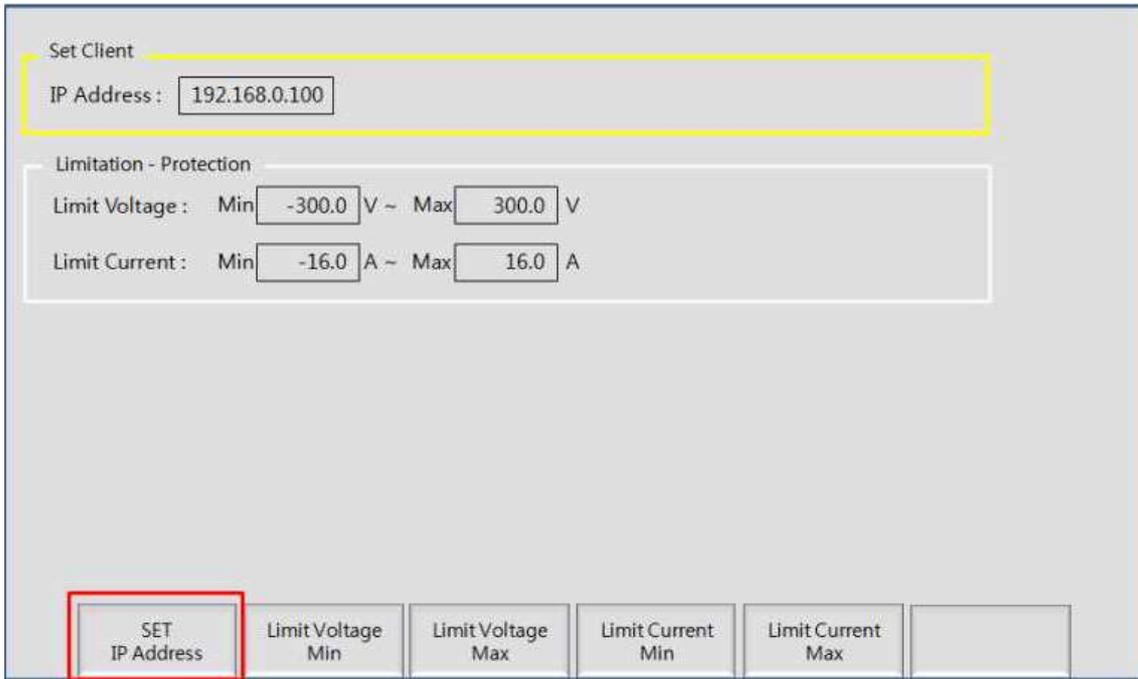
[그림 109] 수동용접 입력 및 상태 표시창 - Manual Weld #4

⑩ “Next“버튼으로 다음 입력 항목 확인 가능.



[그림 110] 수동용접 입력 및 상태 표시창 - Manual Weld #5

⑪ “Weld Start“버튼으로 일회성 용접을 진행, “Weld Stop“버튼으로 현재 용접 진행을 정지



[그림 111] 환경설정을 위한 설정창 - Configuration

- ⑫ “Set IP Address“버튼으로 장비의 IP주소를 설정함. Protection 값 입력으로 출력 값을 제한하도록 함.



(사) GUI 모듈 화면 구현



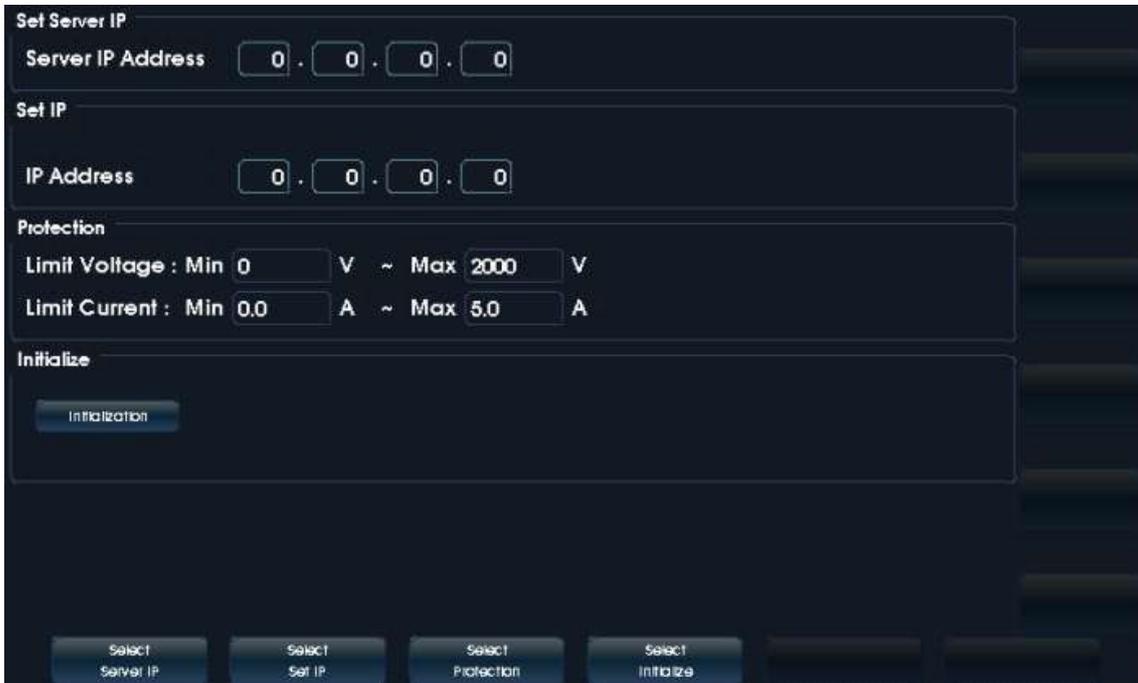
[그림 112] Job Schedule 입력 화면



[그림 113] Job Weld Process 화면



[그림 114] Manual Weld 화면



[그림 115] 자동용접 입력 파라미터 입력 화면 - Job schedule #4

(아) GUI 모듈 - firmware 통신

- ① firmware - GUI 모듈 간 통신은 rta-lib를 이용한 postgresQL 형식의 SQL문을 사용하여 이루어짐.
- ② firmware - GUI 모듈 간 통신 프로토콜 연결
 firmware와 GUI 모듈은 동일 타겟보드에서 구동이 되므로 접속 host는 localhost이며, port번호는 frmware에서 설정된 port번호인 “8888”을 사용함.

```

int connectPostgre()
{
    m_postgreConn = PQconnectdb("host=localhost port=8888");

    if(PQstatus(m_postgreConn) == CONNECTION_BAD)
    {
        qDebug("%s : %s", "Runtime", PQerrorMessage(m_postgreConn));
        PQfinish(m_postgreConn);
        return (-1);
    }
    return (0);
}

```

- ③ firmware로 명령 전달
 압력 데이터를 firmware에 전달하는 부분으로 “UPDATE servo_param_tbl

SET m_fPressureValue=%1;“ 과 같이 SQL문으로 통신 인터페이스가 구현이 되어 있어, 기본 SQL문법만으로 쉽게 구현이 가능함.

```
int SendPressure(float fPressure)
{
    QString sPressure = QString("%1").arg(fPressure);
    QByteArray baStoreTableName = sPressure.toLatin1();
    char* cPressure = baStoreTableName.data();

    QString sQueryString = QString("UPDATE servo_param_tbl SET
m_fPressureValue=%1;").arg(cPressure);
    return queryExec(sQueryString);
}
```

④ firmware - GUI 모듈 간 통신은 rta-lib를 이용한 postgresQL 형식의 SQL문을 사용하여 이루어짐.

(자) GUI 모듈 - keypad 통신

- ① keypad - GUI 모듈 간 통신은 keypad 드라이버를 구현하여 사용함. kernel 부팅 시 keypad 드라이버를 로드 시켜야 함.
- ② keypad - GUI 모듈 간 통신 프로토콜 연결
일반적인 장치 디바이스와 같이 “open“명령으로 장치를 연결함.

```
...중략...
fd = open("/dev/keypad", O_RDWR);
if(fd<0) {
    printf("keypad open fail!\n");
    return;
}
memset(&g_keydata, 0, sizeof(KEY_DATA));
read(fd, (void*)&g_keydata, sizeof(KEY_DATA));
...중략...
```

③ keypad 드라이버에서 key 입력이 발생하면, GUI 모듈에서는 신호를 해석하여 현재 GUI 모듈의 상태값에 따라 분기함.

```
void onReadKeyCode()
{
    read(fd, (void*)&buff, sizeof(KEY_DATA));
```

```

if(buff.m_keydata&0x8000) // keypad
{
    g_keydata.m_keydata = buff.m_keydata;
    buff.m_keydata = buff.m_keydata & 0x7FFF;
    printf("write keycode => %4X : %4X\n", g_keydata.m_keydata, buff.m_keydata);
    parseKeyEvent(buff.m_keydata);
    write(fd, (void*)&buff, sizeof(KEY_DATA));
}
if(g_keydata.m_encoder != buff.m_encoder) // encoder
{
    printf("read encoder => %4X : %4X\n", g_keydata.m_encoder, buff.m_encoder);
    g_keydata.m_encoder = buff.m_encoder;
    parseKeyEvent(buff.m_encoder);
}
}

```

라. 용접 제품 추적 관리 시스템 개발

(1) 용접 제품 추적 관리 시스템 기본 조건

- (가) 수신된 데이터 저장을 위한 데이터베이스 필요함.
- (나) 용접 이력 표시 창 필요함.
- (다) 용접 검색 창 필요함.
- (라) 주요 그래프 표시 창 필요함.

(2) 용접 제품 추적 관리 시스템 개발 환경

- (가) Host PC : Windows 7 Professional
- (나) Compiler : Microsoft Visual C++ Compiler 11.0 (x86)
- (다) SDK : Qt-5.2.1 MSVC2012 32bit
- (라) IDE : Qt Creator 3.0.1 postgresql-9.3.3-1-windows
- (마) Database : postgresql 9.3.3-1

(3) 용접 제품 추적 관리 시스템 데이터베이스 설계 및 구축

- (가) 데이터베이스 생성 쿼리

```

-- Database: uswpdb
-- DROP DATABASE uswpdb;
CREATE DATABASE uswpdb
WITH OWNER = postgres

```

```

ENCODING = 'UTF8'
TABLESPACE = pg_default
LC_COLLATE = 'Korean_Korea.949'
LC_CTYPE = 'Korean_Korea.949'
CONNECTION LIMIT = -1;

```

(나) 용접 명칭 기록을 위한 테이블 (joblist)

```

-- Table: joblist
-- DROP TABLE joblist;
CREATE TABLE joblist
( job_id bigint NOT NULL,
  job_name character varying(50)
)WITH (
  OIDS=FALSE
);
ALTER TABLE joblist
  OWNER TO postgres;

```

(다) 용접 결과 및 정보 기록을 위한 테이블 (jobresultarray)

```

-- Table: jobresultarray
-- DROP TABLE jobresultarray;
CREATE TABLE jobresultarray
( job_result_id bigserial NOT NULL,
  job_id bigint NOT NULL,
  job_result_date date,
  job_result_starttime timestamp with time zone,
  job_result_endtime timestamp with time zone,
  job_result "char",
  job_data_voltage real[],
  job_data_current real[],
  job_data_pressure real[]
)WITH (
  OIDS=FALSE
);
ALTER TABLE jobresultarray
  OWNER TO postgres;

```



(4) 용접 제품 추적 관리 시스템 데이터베이스 연결 구현

(가) 데이터베이스 연결

```

bool openDB(QString fileName)
{
  QString dbName = "uswpdb";

```

```

if(fileName.isEmpty())
    dbName = "uswpdb";
else
    dbName = fileName;

m_DbPostgre = QSqlDatabase::addDatabase("QPSQL");
m_DbPostgre.setHostName("localhost");
m_DbPostgre.setDatabaseName(dbName);
m_DbPostgre.setUserName("postgres");
m_DbPostgre.setPassword("nuri4085");

return m_DbPostgre.open();
}

```

(나) 데이터베이스에서 필요한 데이터 쿼리 요청 부분

```

void queryJobList()
{
    QSqlQuery query(m_DbPostgre);
    QString queryString;

    queryString = "SELECT job_id, job_name FROM joblist;";
    query.exec(queryString);
    qDebug() << query.lastError();

    ui->JobList_tableWidget->setRowCount(0);

    int row = 0;
    int col = 0;

    // 첫번째 줄은 전체 선택 줄을 삽입하도록 한다.
    ui->JobList_tableWidget->insertRow(row);
    // job_id
    ui->JobList_tableWidget->setItem(row, col, new QTableWidgetItem(tr("%1").arg(-1)));
    // job_name
    ui->JobList_tableWidget->setItem(row, col+1, new QTableWidgetItem(tr("%1").arg("ALL")));

    row++;
    // 첫번째 줄 삽입 끝

    while(query.next())
    {
        ui->JobList_tableWidget->insertRow(row);
        col = 0;
    }
}

```

```

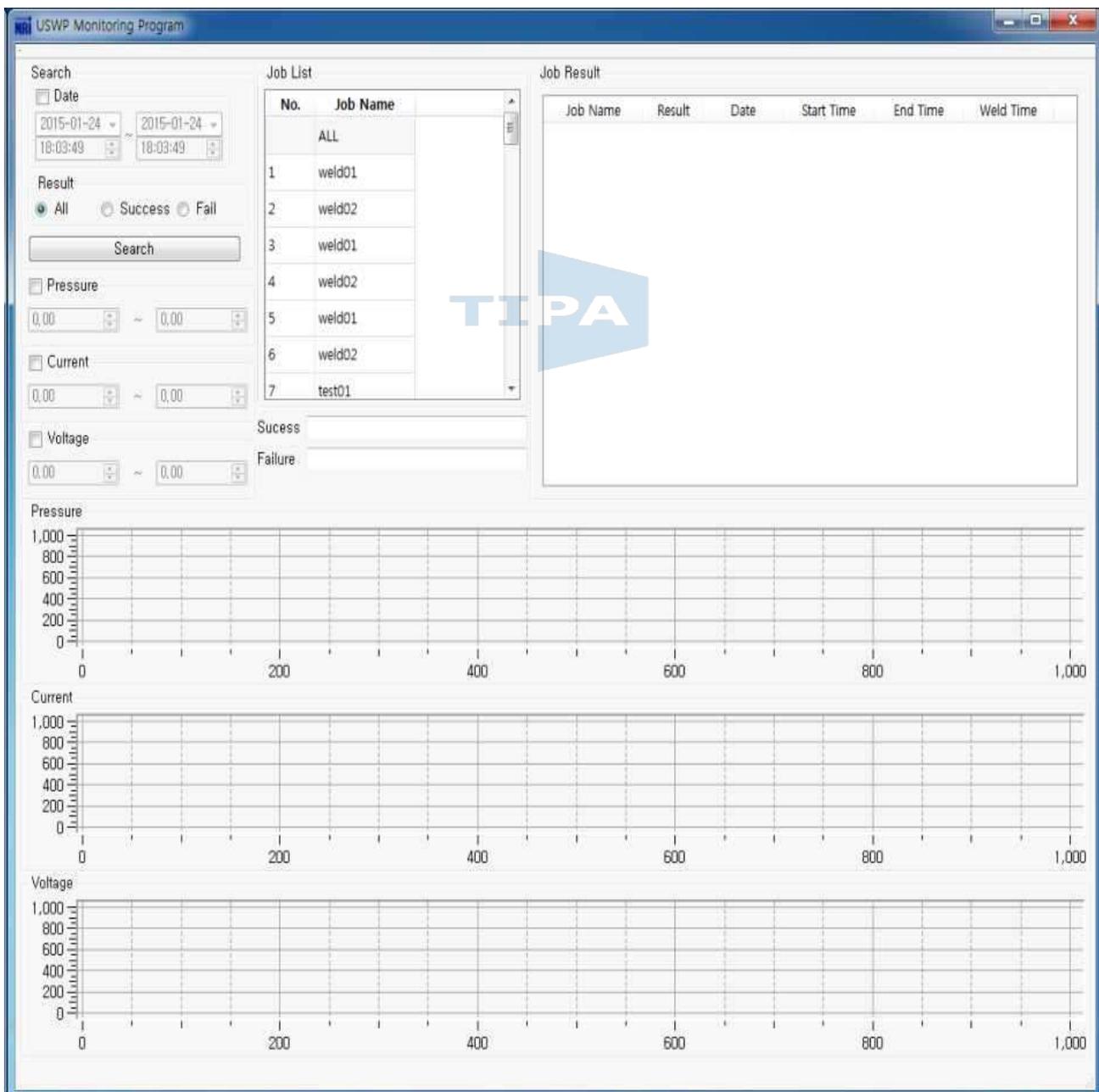
// job_id
ui->JobList_tableWidget->setItem(row, col, new QTableWidgetItem(tr("%1").arg(query.value(col).toInt())));
col++;
// job_name
ui->JobList_tableWidget->setItem(row, col+1, new QTableWidgetItem(tr("%1").arg(query.value(col).toString())));
row++;
}
}

```

(5) 용접 제품 추적 관리 시스템 화면 구현

(가) 초기 실행 화면

Job List 그룹에서 기존 용접 제품 이력 확인이 가능함.



(나) 용접 제품 결과 확인

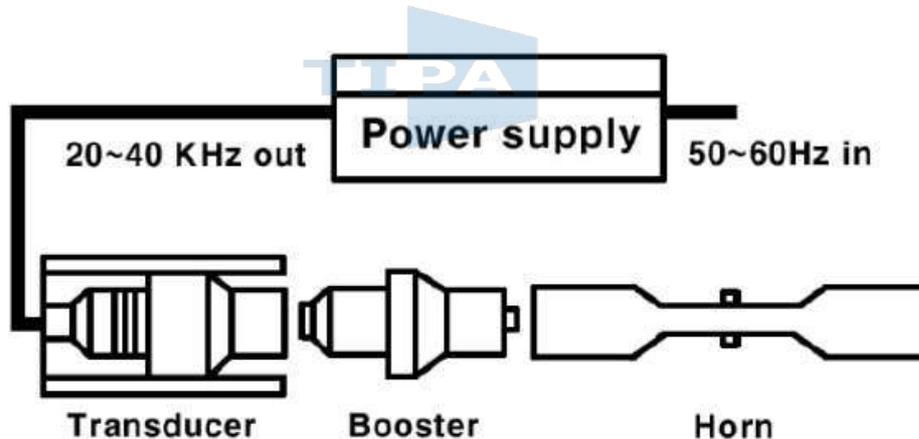
Job List에서 용접명을 선택하면, Job Result에서 동일 용접명으로 작업 진행이 된 용접의 결과인 성공(Success)과 실패(Failure) 비율 확인이 가능함.

마. 초음파 금속 용접기용 진동자(Transducer) 및 혼(Horn) 개발

(1) 초음파 용접용 진동자, 혼 작동원리

(가) 작동원리는 혼(Horn)이 진동자(Converter) 및 부스터(Booster)에 의해 축 방향으로 진동을 하게 되어, 접합물은 정적인 힘(누르는 힘)과 동적인 힘(초음파 진동)을 동시에 받게 되어, 별도의 용접을 위한 물질 없이 두 힘에 의해 용접이 되는 방식임.

(나) 이와 같은 초음파 금속 용접을 하기 위해서는 크게 전기적 발진부와 기계적 용접부가 필요하며, Power Supply를 통해 들어온 전기적 에너지가 진동자를 통해 기계적인 진동 에너지로 바뀐 뒤 부스터로 그 진폭을 증폭시켜 형성된 진동에너지가 혼을 통해 금속 부재에 전달되면 금속 부재의 접합면에 강제적 확산에 의한 강력한 결합이 이루어짐.



[그림 117] 초음파 용접구조 및 증폭 메커니즘

(다) 플라스틱 초음파 용착에는 통상 종진동이 사용되지만 초음파 금속 용착의 경우에는 횡진동이 사용됨. 종진동의 경우 두 개의 용착재가 완전하게 밀착되지 않은 상태에서 진동을 받아 용착 시 용융되어 지기 때문에 용착도중 공기가 들어가 기포나 먼지 등 분순물이 혼입되기 쉬움.

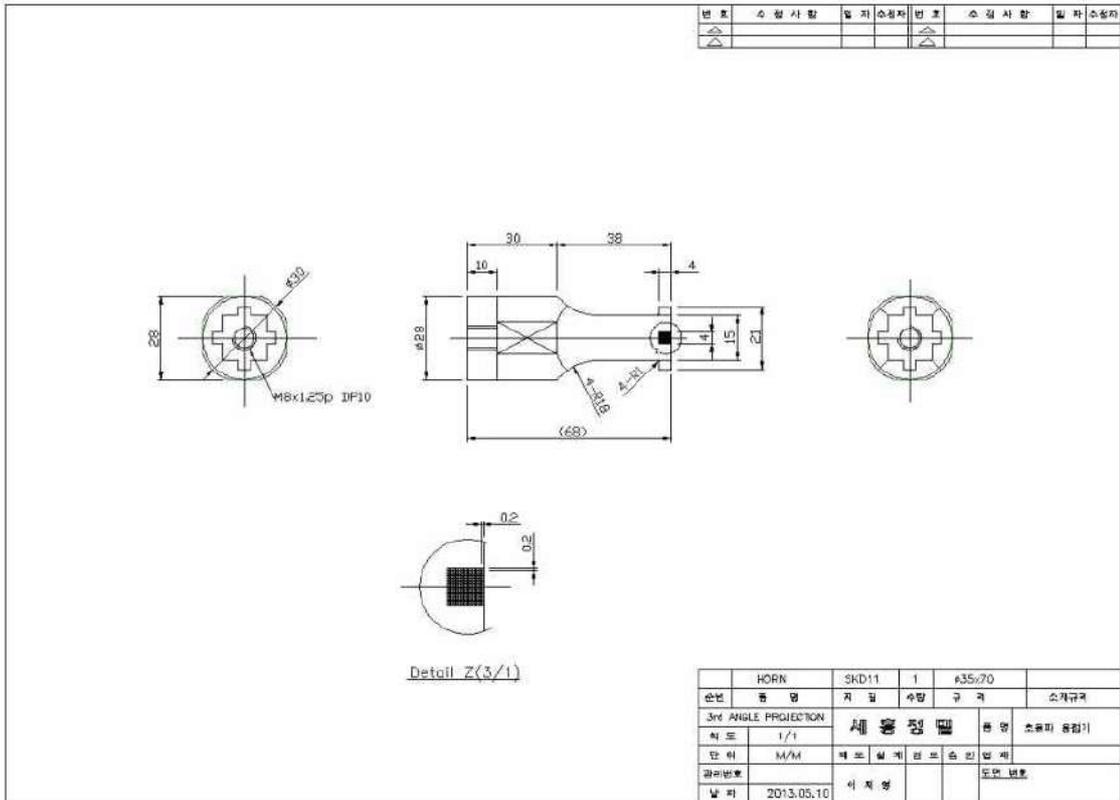
(라) 그러나 횡진동의 경우 진동방향과 용착면의 방향이 동일 시 되기 때문에 용착면을 서로 밀착시켜 공기에 노출되지 않으며, 여분의 불순물을 배재해서 발열시키기 때문에 양호한 기밀성을 얻을 수 있음.

(2) 초음파 용접용 혼의 설계방법

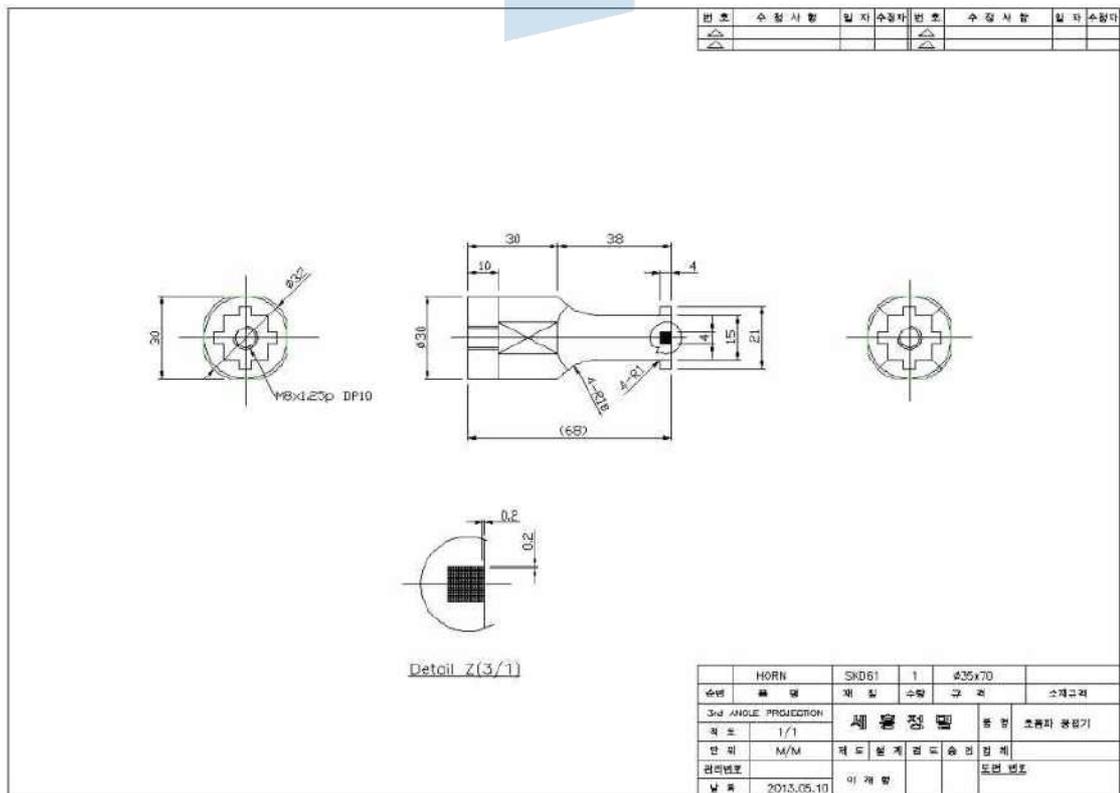
- (가) 초음파 용접용 혼은 4가지 중요한 기준을 따라 설계하였음.
- (나) 혼의 공진주파수는 근접 주파수와 분리시켜야 하며, 주파수가 충분히 분리되지 않으면 작동주파수와 가까운 모드와 섞이거나, 모드 스위칭이 발생할 수 있으며 그 결과 혼의 축방향 진동이 왜곡될 가능성이 있기 때문임.
- (다) 용접에 사용되는 에너지는 출력면의 진폭에 비례하므로 출력면의 진폭을 균일하게 하여야 함.
- (라) 기계적 진동 파워는 출력면의 진폭의 제곱에 비례하기 때문에 출력면의 진폭이 커야 접합물에 충분한 에너지를 전달할 수 있음.
- (마) 피로현상을 방지하기 위해서 혼에서 발생된 응력의 재질의 최대 허용응력을 초과하여서는 안 됨.

(3) 초음파 용접용 혼의 기본설계 결과

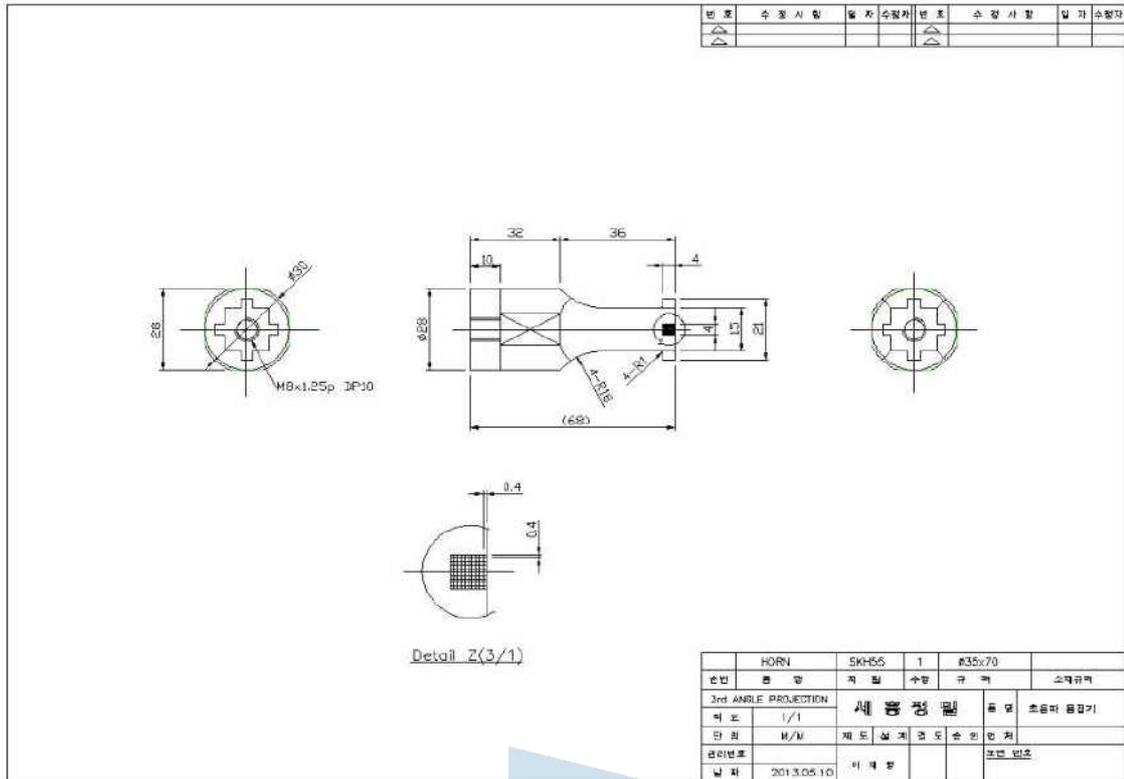
- (가) 초음파 진동에 의해 2개의 금속 접촉 면에 기계적인 진동을 가함으로서 물리적인 확산작용(Diffusing)으로 강력한 접합이 이루어지는 공법임.
- (나) 따라서 초음파 금속용착은 두 금속부재에 상하로 작용하는 압력에 의해 혼이 부재와 접촉, 진동이 전달되어 용착이 이루어짐.
- (다) 용착과정 중 혼의 양 끝에 작용하는 가압을 제어시키고, 진동이 전달되는 진동자, 혼을 상하로 움직여 부재와 접촉, 용착이 이루어지는 방식의 설계가 필요함.
- (라) 최종적으로 아래와 같이 혼의 직경, 길이 등 세부형상의 변화를 통해 1차적인 시제품 설계를 완료하였으며, 진동해석을 통해 최적의 형상조건을 확인할 수 있도록 하였음.
- (마) 혼의 팁(Tip)에 해당하는 부분의 표면은 금속 용착 시 피 접합물의 미끄러움을 방지하기 위해 표면을 가공하여 구성하였음.



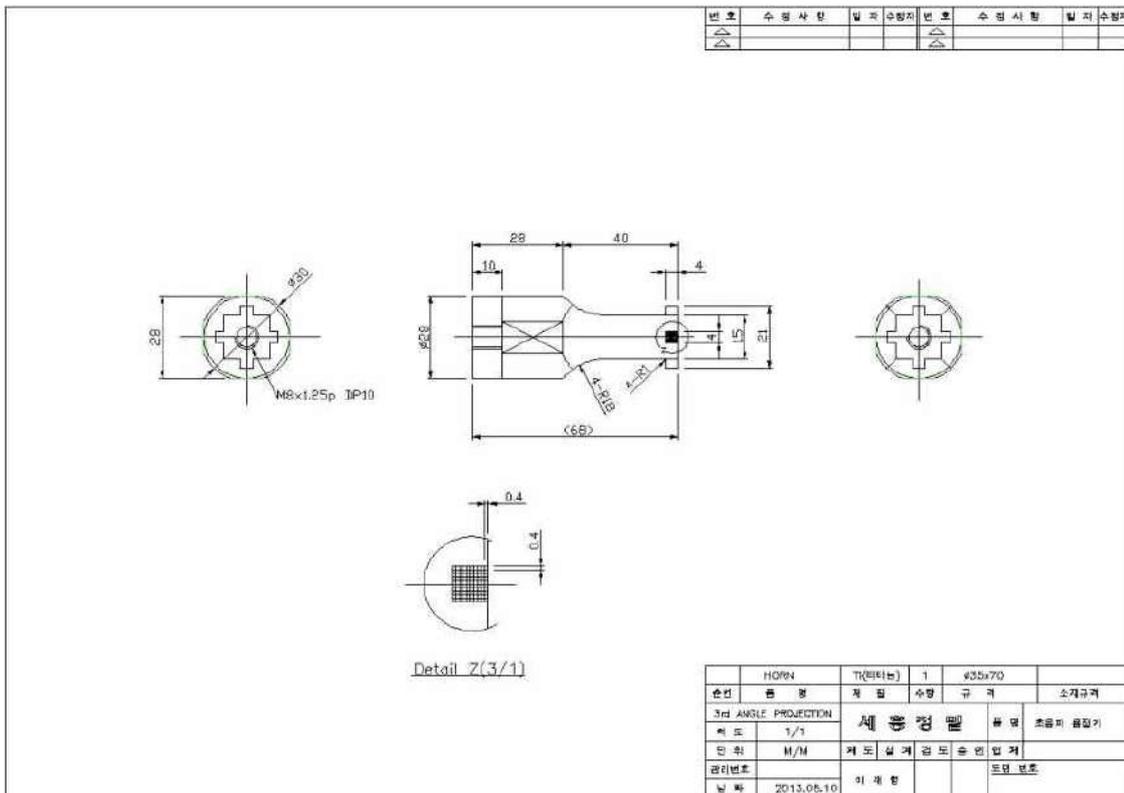
[그림 118] 초음파 용접용 혼 설계결과 1



[그림 119] 초음파 용접용 혼 설계결과 2



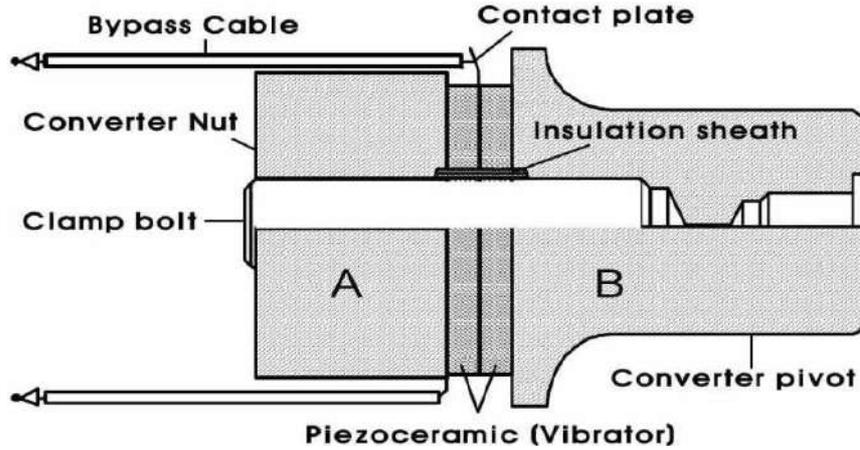
[그림 120] 초음파 용접용 혼 설계결과 3



[그림 121] 초음파 용접용 혼 설계결과 4

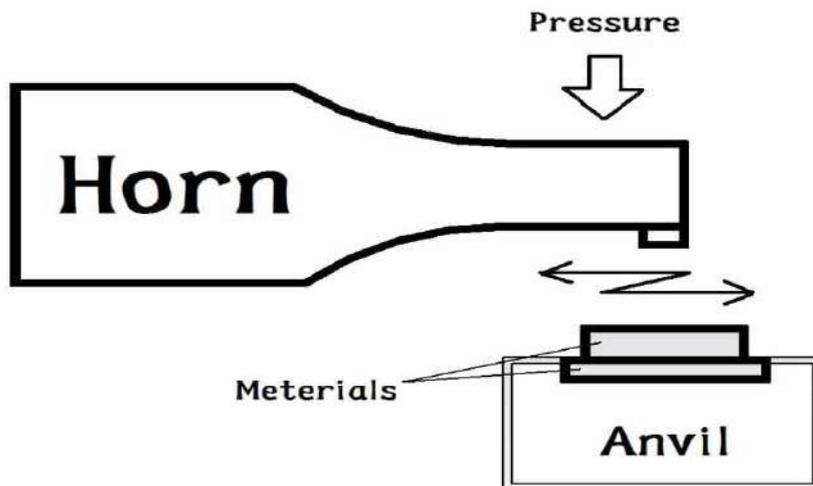
(4) 초음파 용접용 진동자 기본설계 결과

(가) 초음파 진동자에는 초음파를 발생시키는 음원에 따라서 자왜형, 압전·전왜형 및 전자형 진동자 등이 있음.



[그림 122] 초음파 금속 용접용 진동자 기본구조

- (나) 이중 압전 세라믹을 이용한 압전 진동자는 소비전력이 많고 발열과 전자기파 발생 등의 문제를 가지고 있는 기존의 전자기 진동자의 결점을 가지지 않고 소형 경량으로 여러 분야에 적용이 가능한 장점이 있음.
- (다) 기본적 구성은 단순하나 충분한 특성을 실현하기 위해서는 압전소자와 금속 block과의 접촉을 기계적으로도, 전기적으로도 양호하게 조립할 필요가 있으며 접합면의 형상이나 마무리 처리, 조이는 힘의 조절 등의 기술이 필요함.

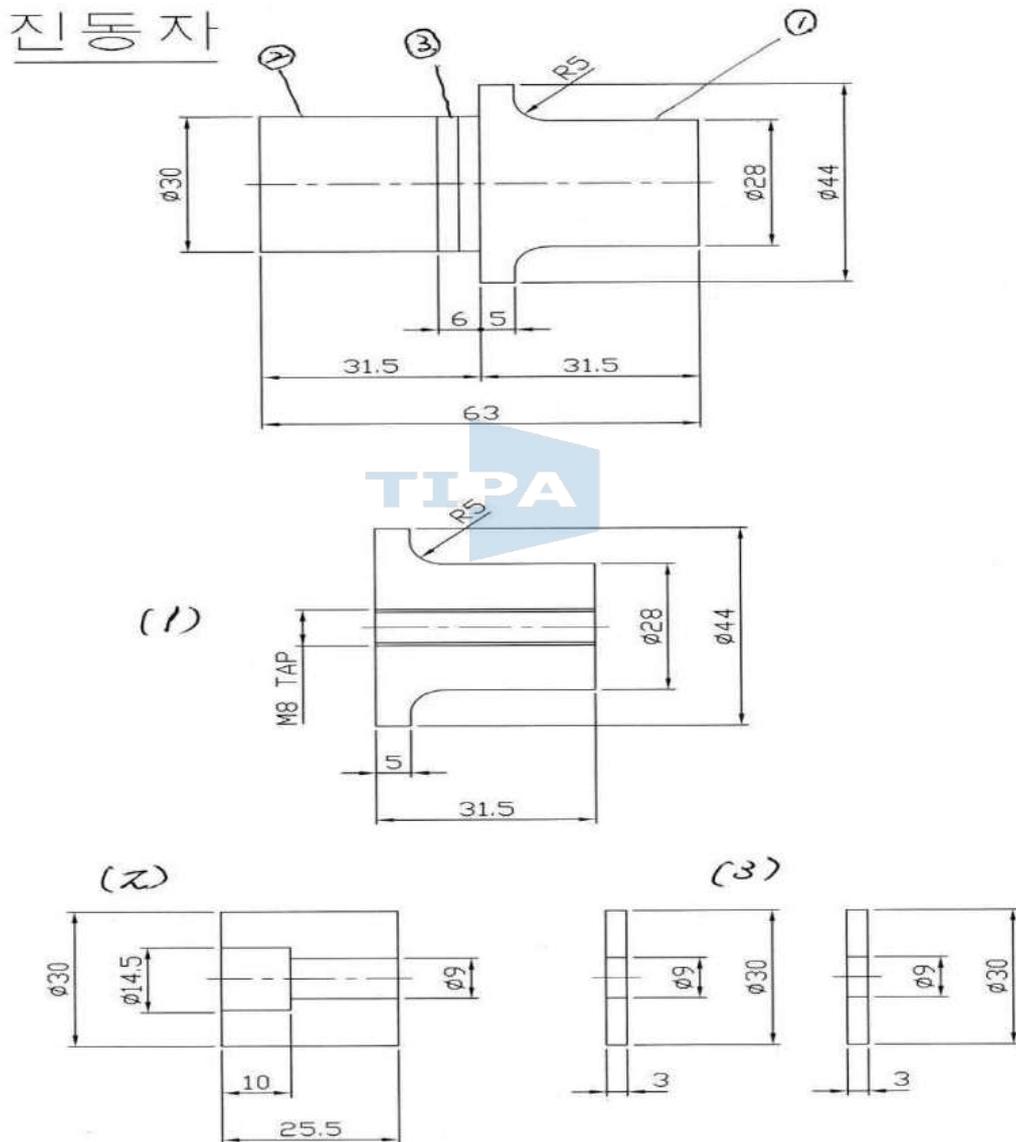


[그림 123] 초음파 금속 용접 모식도

(라) 진동자의 상부 금속 Block은 초음파가 후방으로 나오지 못하고 전방으로만 나갈 수 있도록 파장의 정수배로 설계하여야 하며, 하부 금속 Block은 반파장

의 정수배의 길이로 설계하여 미세 진동 증폭역할을 수행할 수 있도록 해야 함.

(마) 40kHz 진동자의 경우 Ring 타입의 압전소자 2매를 서로 마주보도록 설치한 후 전기적으로 병렬연결하고 상단 및 하단에 금속 Block을 부착하여 전체를 볼트로 조인하며, 압전소자는 구동회로부터 구동신호를 인가받아 기계적인 진동으로 변환하도록 하며 이때 구동주파수는 압전세라믹의 공진주파수가 아니라 조립된 상태에서의 공진주파수로 인가됨.



[그림 124] 초음파 용접용 진동자 설계결과

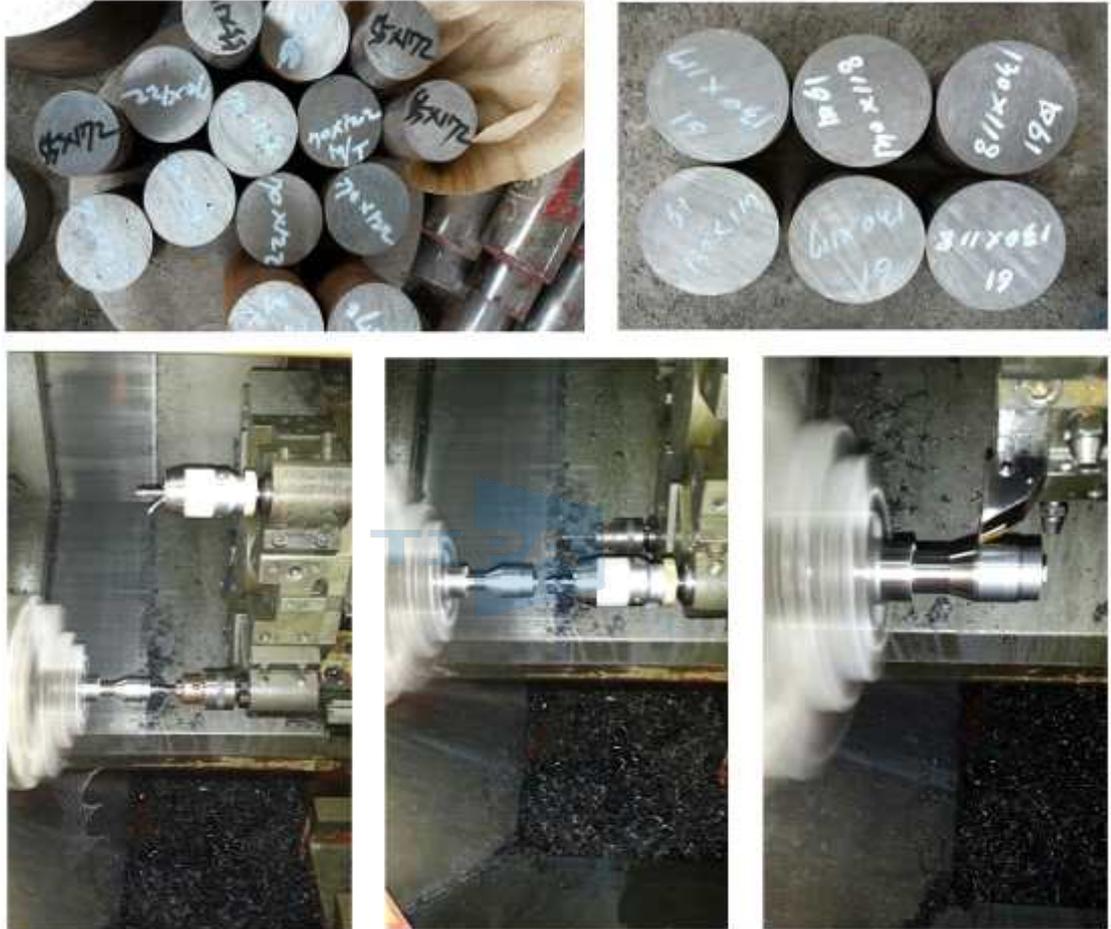
(5) 초음파 용접용 혼 정밀가공

(가) 초음파 용접용 혼 정밀가공 과정

- ① 재료 내부의 진동응력과 내부손실이 크기 때문에 혼이 파손될 우려가 있어

응력해석을 통한 정밀한 설계·제작이 필요함. 초음파 혼의 재질은 금속부재의 재료와 혼의 무게에 따라 선택되어야 하며, 강도와 경도가 혼 재료 선택의 중요한 변수가 됨.

- ② 금속부재의 재질이 혼보다 경도가 강하게 되면 가공에 사용되는 혼도 같이 가공이 되기 때문에 금속부재의 재질보다 경도가 높은 재료를 선택하는 것이 바람직함.



[그림 125] 초음파 용접용 혼 정밀가공

- ③ 혼의 커널부분이 금속부재와 접합하여 진동이 전달되기 때문에 커널부의 형상 및 정밀도는 접합에 중요한 영향을 미침. 또한 커널부분에서의 최대의 진폭이 나타나야 용착성이 높아지며, 이는 접합강도에 영향을 미치므로 파장에 따른 혼의 진폭을 고려한 설계가 반드시 이루어져야함.

- ③ 혼의 커널부분의 다양한 후처리 가공을 통해 정밀도를 향상시켜 가공함.

(나) 초음파 용접용 혼 정밀가공 결과

- ① 1차적인 정밀 절삭가공을 통한 성형가공 결과



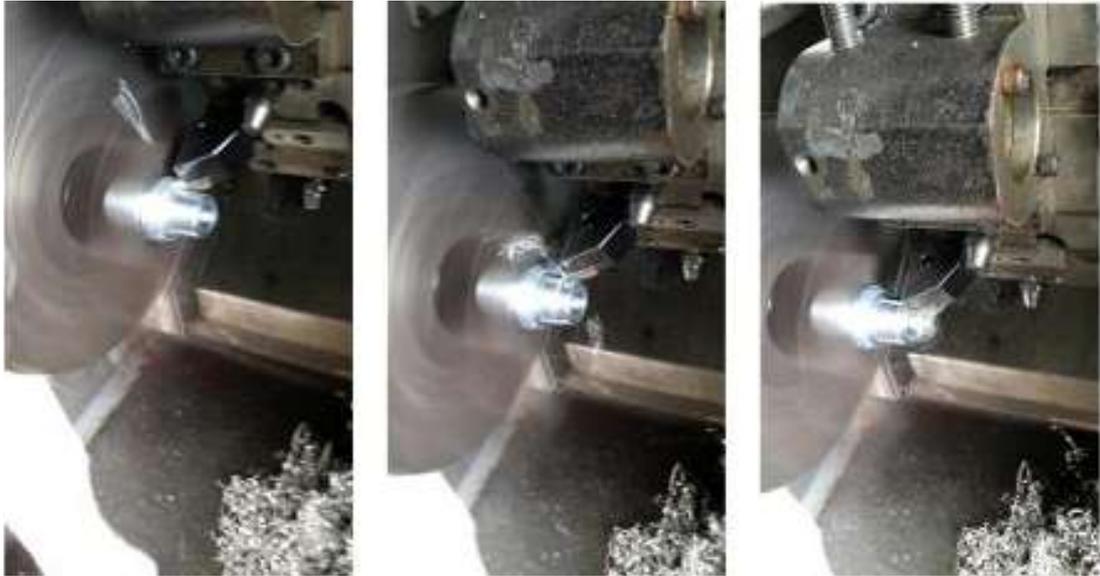
② 열처리 및 도장처리를 통한 최종 시제품 결과



[그림 127] 초음파 용접용 혼 최종 시제품 가공결과

(6) 초음파 용접용 진동자 정밀가공

(가) 초음파 용접용 진동자 정밀가공 과정



[그림 128] 초음파 용접용 진동자 정밀가공

(나) 초음파 용접용 진동자 정밀가공 결과



[그림 129] 초음파 용접용 진동자 최종 시제품

(7) 초음파 용접용 진동자 및 혼 성형해석을 통한 최적화

(가) 초음파 용접기 공진설계 연구

- ① 초음파 용접은 진동자의 출력 단에 진동자와 같은 고유 진동수를 가진 부스터와 혼을 부착하여 공진에 의한 증폭작용으로 초음파 금속용착에 필요한 진동에너지를 얻게 됨.
- ② 그러나 부스터와 혼의 고유 진동수가 진동자의 진동수와 일치하지 않는 경우에는 혼의 출력 단에 용착에 필요한 초음파 진동이 전달되지 않기 때문에 혼에 대한 공진설계가 요구됨.
- ③ 혼의 설계, 제작 시 가장 중요하게 여기는 변수는 혼 재료의 가진 주파수에 따른 파장의 길이임. 이 파장의 길이는 공구혼의 재료 내에 전파하는 파동의 정확한 음속도에 따라 결정됨.
- ④ 파장의 길이는 혼을 설계, 제작하는 중요한 변수로 혼의 길이를 결정하는데 영향을 미치고, 혼의 초음파 진동을 발생시켜 공진을 발생시키는 요소가 됨.
- ⑤ 혼의 길이를 결정함에 따라 혼의 공진주파수가 결정되며, 혼의 입력면과 출력면 사이의 거리가 파장의 1/2파장에서 진폭이 최대가 되고 혼의 길이도 반파장 길이의 두 배가 됨.



(나) 초음파 용접용 혼 원소재 분석

Element	Weight %	Mechanical Properties			
C	1.40-1.60	Properties		Conditions	
Mn	0.60			T (°C)	Treatment
Si	0.60	Density (×1000 kg/m ³)	7.7	25	
Cr	11.00-13.00	Poisson's Ratio	0.27-0.30	25	
Ni	0.30	Elastic Modulus (GPa)	190-210	25	
Mo	0.70-1.20	Thermal Properties			
V	1.10	Conditions		Thermal Expansion Coeff. (10 ⁻⁶ /°C)	
Co	1.00	T (°C)	Treatment		
Cu	0.25	20-100		10.4	
P	0.03	20-200		10.3	
S	0.03	20-425		11.3	
		20-540		12.2	
		20-650		12.2	

[그림 130] SKD-11 원소재 물성 확인

- ① 초음파 혼의 재질은 보통 합금공구강, 알루미늄, 티타늄 등이 많이 사용되며 금속부재의 재료와 혼의 무게에 따라 선택되어야 하고, 강도와 경도가 혼 재

료 선택의 중요한 변수가 됨.

- ② 금속부재의 재질이 혼보다 경도가 강하게 되면 가공에 사용되는 혼도 같이 가공이 되기 때문에 금속부재의 재질보다 경도가 높은 재료를 선택하는 것이 필요함.
- ③ 원소재 특성 분석 : SKD 11 냉간 공구강은 광범위하게 사용되는 범용 강이라고 할 수 있음. 특히 공구형상이 복잡한 경우와 충격하중이 크거나 가공재와의 마찰 등이 일어나는 경우에는 인성과 내마모성을 높인 매트릭스계 고속도강이 널리 사용됨.
- ④ SKD 61 합금 공구강은 널리 압출 모형, 다이단조, 합금 다이캐스팅 금형을 제조함에 사용됨. 아울러 SKD 61은 특히 높은 열강도와 경도, 중온에 강인성이 좋고 열 피로 특성과 내마모성이 있음.
- ⑤ 낮은 오스테나이트 온도 조건 공기 냉각에서 열처리 시 최소 치수 변형과 산화철이 나타나는 경향이 크지 않고 침식 용융 알루미늄에 저항할 수 있는 특성이 있음.

Element	Weight %	Mechanical Properties																						
C	0.32-0.45	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Properties</th> <th colspan="2">Conditions</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>T (°C)</th> <th>Treatment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Density ($\times 1000 \text{ kg/m}^3$)</td> <td>7.76</td> <td>25</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Poisson's Ratio</td> <td>0.27-0.30</td> <td>25</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Elastic Modulus (GPa)</td> <td>190-210</td> <td>25</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Properties		Conditions				T (°C)	Treatment	Density ($\times 1000 \text{ kg/m}^3$)	7.76	25		Poisson's Ratio	0.27-0.30	25		Elastic Modulus (GPa)	190-210	25			
Properties			Conditions																					
			T (°C)	Treatment																				
Density ($\times 1000 \text{ kg/m}^3$)	7.76		25																					
Poisson's Ratio	0.27-0.30	25																						
Elastic Modulus (GPa)	190-210	25																						
Mn	0.20-0.50																							
Si	0.80-1.20																							
Cr	4.75-5.50																							
Ni	0.3	Thermal Properties																						
Mo	1.10-1.75	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Conditions</th> <th rowspan="2">Thermal Expansion Coeff. ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)</th> </tr> <tr> <th>T (°C)</th> <th>Treatment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20-100</td> <td></td> <td>10.4</td> </tr> <tr> <td>20-200</td> <td></td> <td>11.5</td> </tr> <tr> <td>20-425</td> <td></td> <td>12.2</td> </tr> <tr> <td>20-540</td> <td></td> <td>12.4</td> </tr> <tr> <td>20-650</td> <td></td> <td>13.1</td> </tr> </tbody> </table>		Conditions		Thermal Expansion Coeff. ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	T (°C)	Treatment	20-100		10.4	20-200		11.5	20-425		12.2	20-540		12.4	20-650		13.1	
Conditions		Thermal Expansion Coeff. ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)																						
T (°C)	Treatment																							
20-100		10.4																						
20-200		11.5																						
20-425		12.2																						
20-540		12.4																						
20-650		13.1																						
V	0.80-1.20																							
Cu	0.25																							
P	0.03																							
S	0.03																							

[그림 131] SKD-61 원소재 물성 확인

- ⑥ 티타늄은 최근 양산되는 초음파 용접용 혼에 폭넓게 적용되고 있는 소재로 강도는 거의 탄소강과 같고, 비강도는 비중이 철보다 작으므로 철의 약 2배가 되고 열전도도와 열팽창률도 작은 편임. 아울러 티타늄은 철강에 비해 40%정도 가벼운 무게로 같은 강성을 보이는 우수한 소재지만, 순수한 티타늄은 강도가 높지 않기 때문에 다른 소재와 합금형태로 만들어야 하는데 제조 과정이 다소 복잡한 단점이 있음.
- ⑦ 원소재 시험분석 : 광학금속현미경 관찰을 통하여 원소재의 미세조직 확인

을 통한 성질 분석



[그림 132] 원소재 미세조직 관찰

⑧ 로크웰 경도 측정



[그림 133] 로크웰 경도 측정

⑨ 비커스 경도 측정



[그림 134] 비커스 경도 측정

(다) 초음파 용접용 혼(Horn) 유한요소 해석결과

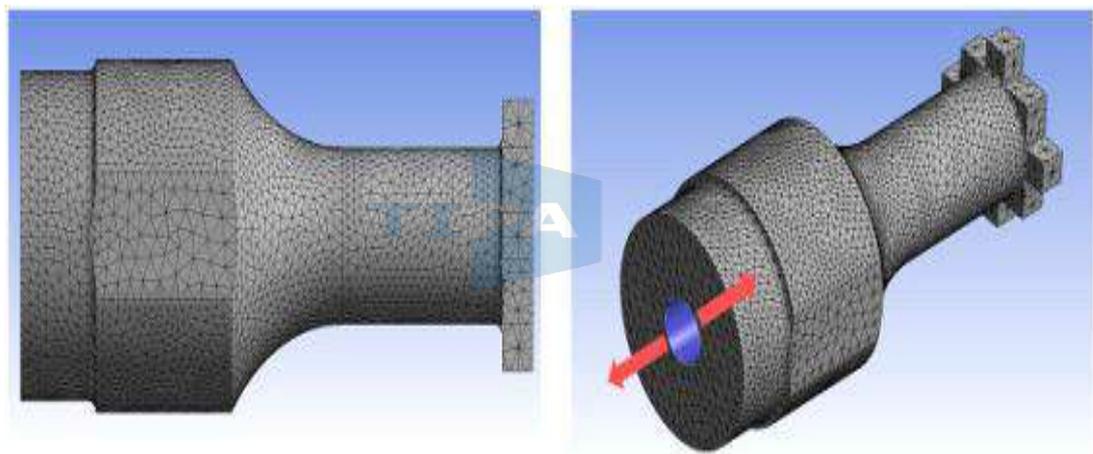
① 초음파 용접용 혼의 형상 : 혼의 진동모드 해석을 진행 할 혼의 2D 도면 및 3D 도면 결과

Material	2D Drawing	3D Drawing
Ti		
SKD11		
SKD61		

② 초음파 용접용 혼의 소재 : 본 과제에서는 티타늄(Titanium) 합금, 공구강 (SKD) 등을 사용하였으며 진동(Modal)모드 해석을 위한 재료의 기계적 물성치를 아래와 같이 나타내었음.

Properties	Ti	SKD11	SKD61
Density (kg/m ²)	4,500	7,700	7,760
Poission's Ratio	0.34	0.27	0.27
Young's Modulus (GPa)	116	190	190

- ③ 메쉬(Mesh)생성 및 경계조건 설정 : 유한요소 해석을 위한 메쉬(Mesh) 수 및 형상은 해석 툴(ANSYS Workbench 14.5)에서 1mm 사이즈로 자동으로 생성시켰으며, 형상은 4면체(Tetrahedron)형상으로 하였음. 또한 해석을 위한 경계조건은 부스터와 볼트로 체결되는 체결부에 실린더 구속을 주며, 실린더는 축방향의 변위만 자유롭게 하였음.

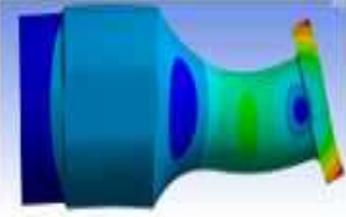
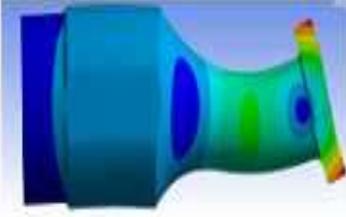
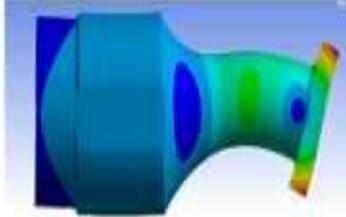
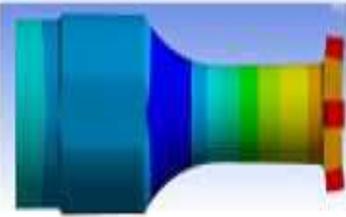
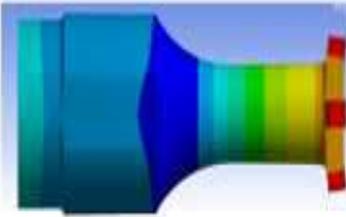
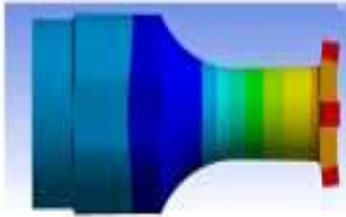
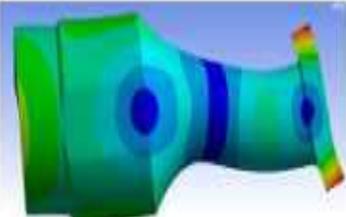
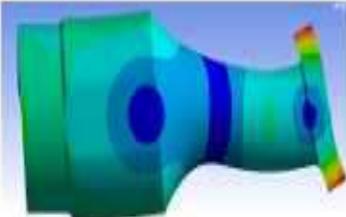
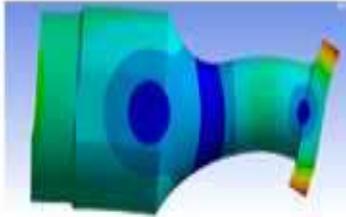


(a) 혼 메쉬(mesh) 생성 결과

(b) 경계조건

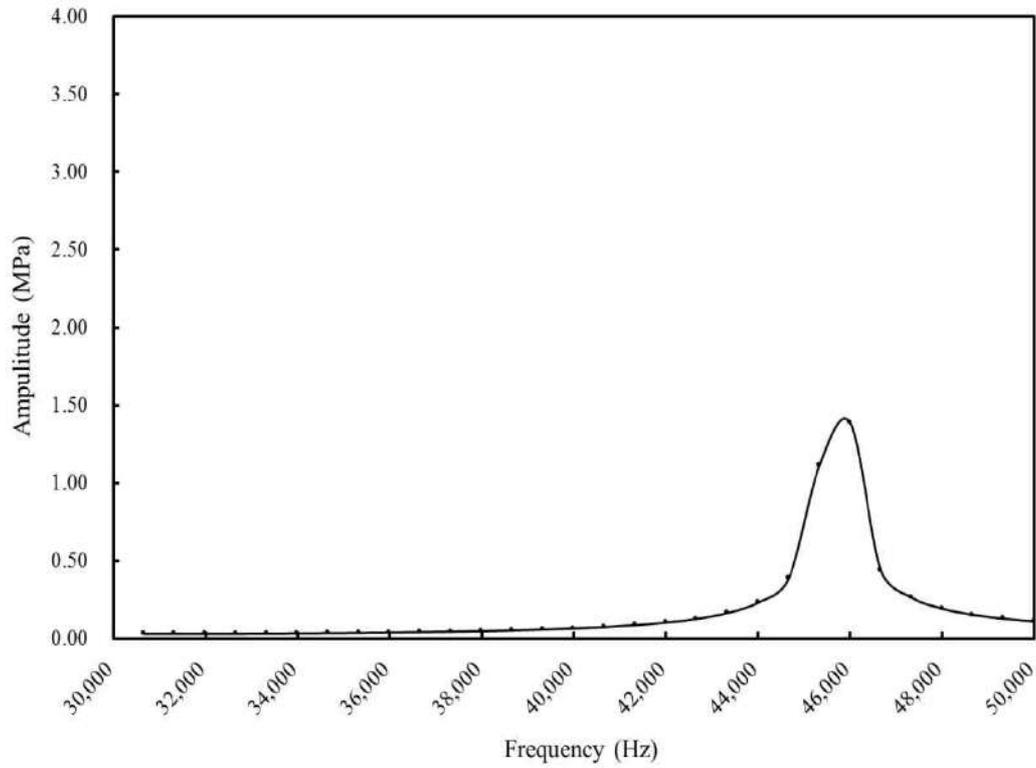
[그림 139] 유한요소 모델링 형상

- ④ 진동모드 해석결과 : Ansys Workbench 14.5를 이용하여 설계된 혼에 대한 진동모드 해석과 조화반응(Harmonic response) 해석을 수행하였음. 진동모드 해석을 수행한 결과로 혼의 팁에서 최대 진폭을 갖는 진동모드와 고유진동수를 나타낸 것으로 설계하고자 하였던 40kHz 혼과 유사한 고유 진동수는 9, 10, 11차 진동모드에서 나타났음.

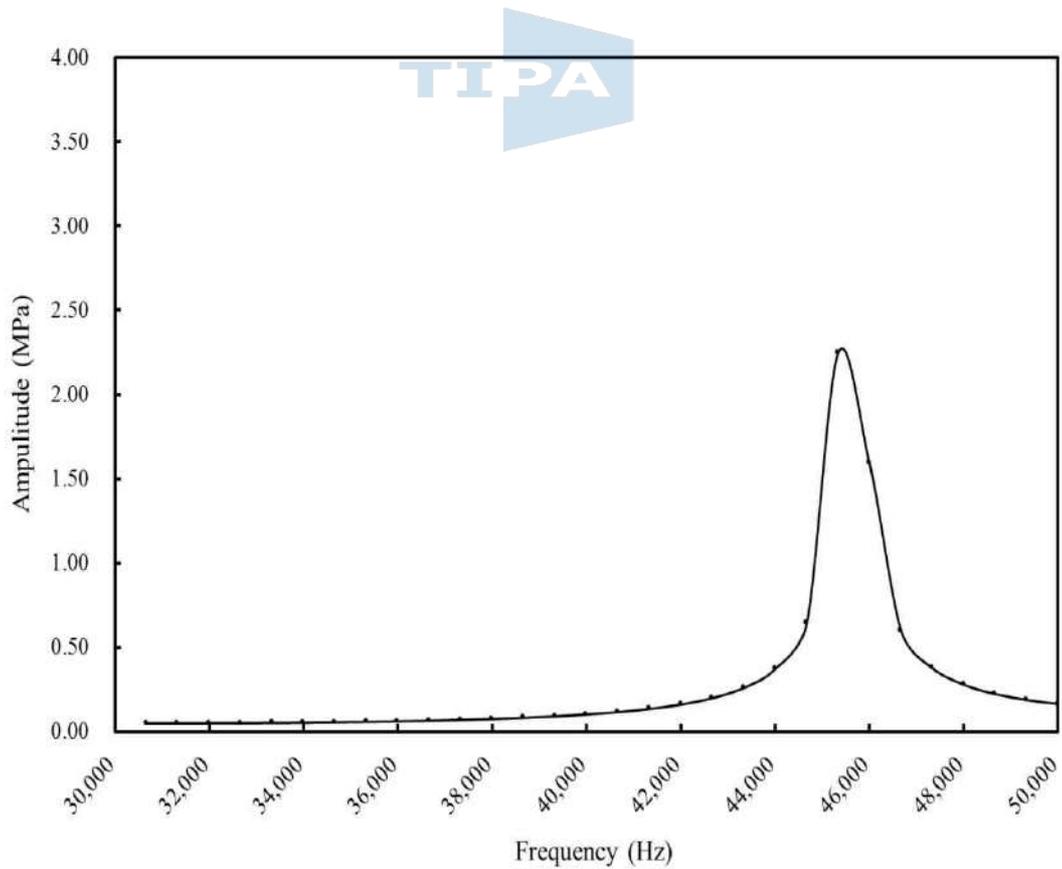
Ti	SKD11	SKD61
		
9th mode - 32,671Hz	9th mode - 34,049Hz	9th mode - 33,871Hz
		
10th mode - 33,593Hz	10th mode - 34,901Hz	10th mode - 34,785Hz
		
11th mode - 45,511Hz	11th mode - 46,725Hz	11th mode - 43,613Hz

[그림 140] 진동모드 해석 결과

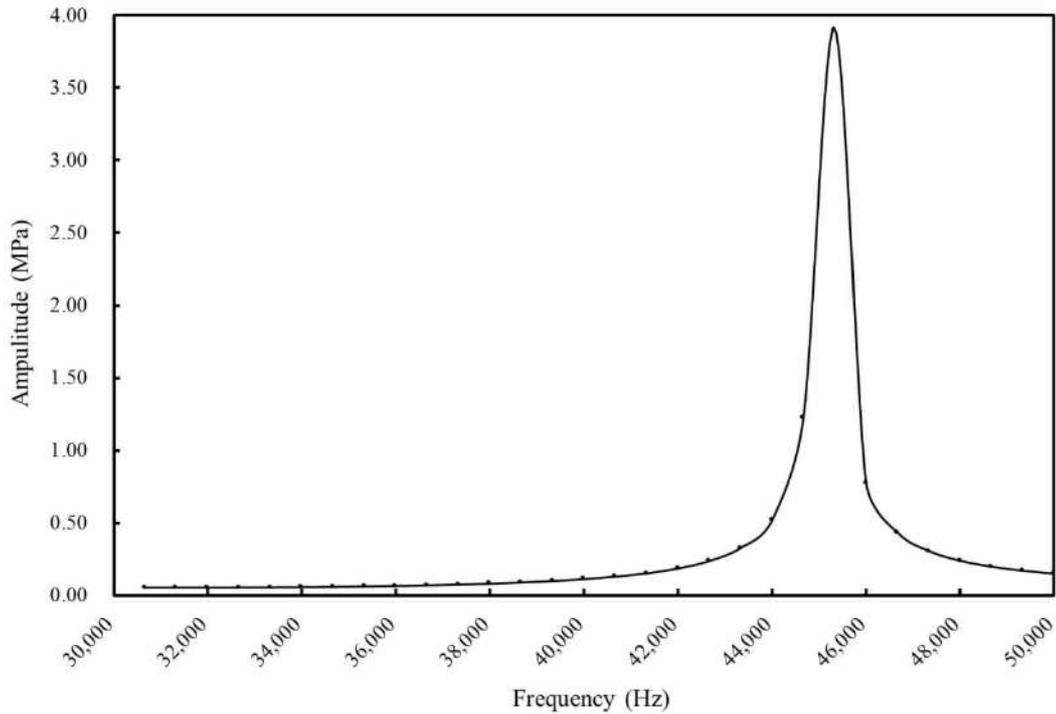
- ⑤ 조화반응 해석결과 : 설계된 혼의 입력면(혼 왼쪽 끝단)에 30kHz에서 50kHz까지의 주파수로 가진 했을 때 팁 부분의 주파수 응답을 분석하기 위한 조화반응 해석을 수행한 결과를 나타낸 것으로 혼의 출력면(혼 오른쪽 끝단)의 주파수 값을 출력하였음.



(a) Ti 조화반응 해석 결과



(b) SKD11 조화반응 해석 결과



(c) SKD61 조화반응 해석 결과

(라) 초음파 용접용 진동자 유한요소 해석결과

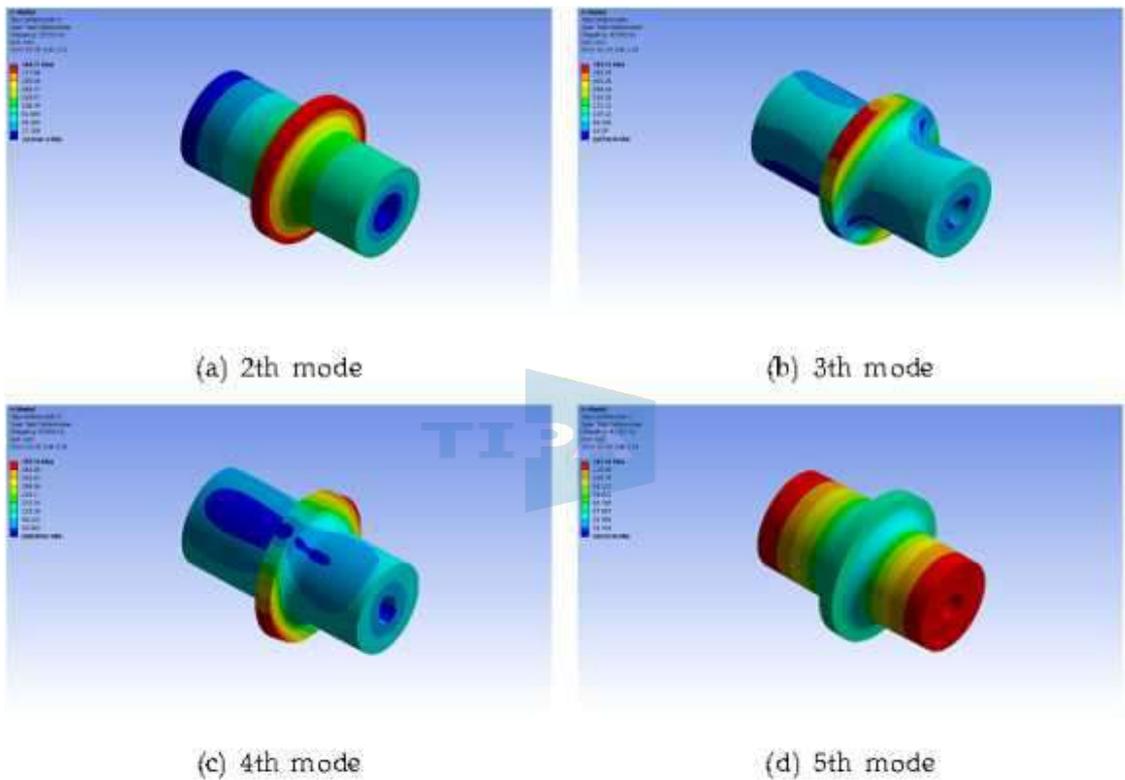
① 초음파 용접용 진동자의 **형상** : 진동자의 진동모드 해석을 진행 할 혼의 2D 도면 및 3D 도면을 나타내었음.

Material	2D Drawing	3D Drawing
Aluminum 7075		

② 초음파 용접용 진동자의 소재 : 본 과제에서는 Aluminum 7075 소재를 사용하였으며, 진동(Modal)모드 해석을 위한 재료의 기계적 물성치를 나타내었음.

Properties	Aluminum 7075
Density (kg/m ²)	2,823
Poission's Ratio	0.33
Young's Modulus (GPa)	71.7

③ 진동모드 해석결과 : ANSYS Workbench 14.5를 이용하여 설계된 진동자에 대한 진동모드 해석을 수행한 결과 값을 나타내었음.



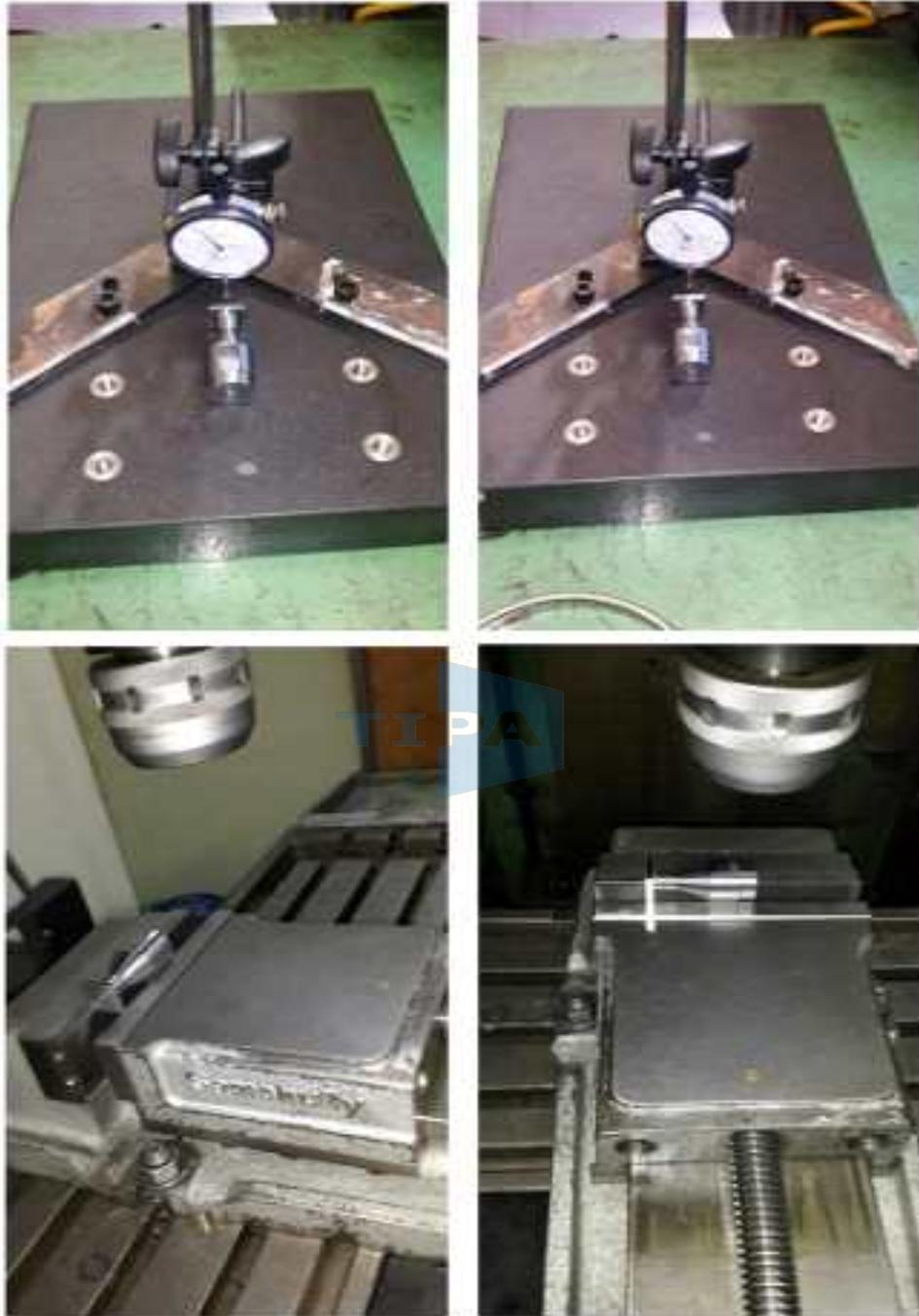
[그림 146] 진동자 진동모드 해석결과

④ 각각의 모드에 대한 주파수 값을 표로 나타내었음.

Mode	Frequency (Hz)
2th	25,710
3th	40,796
4th	40,799
5th	41,255

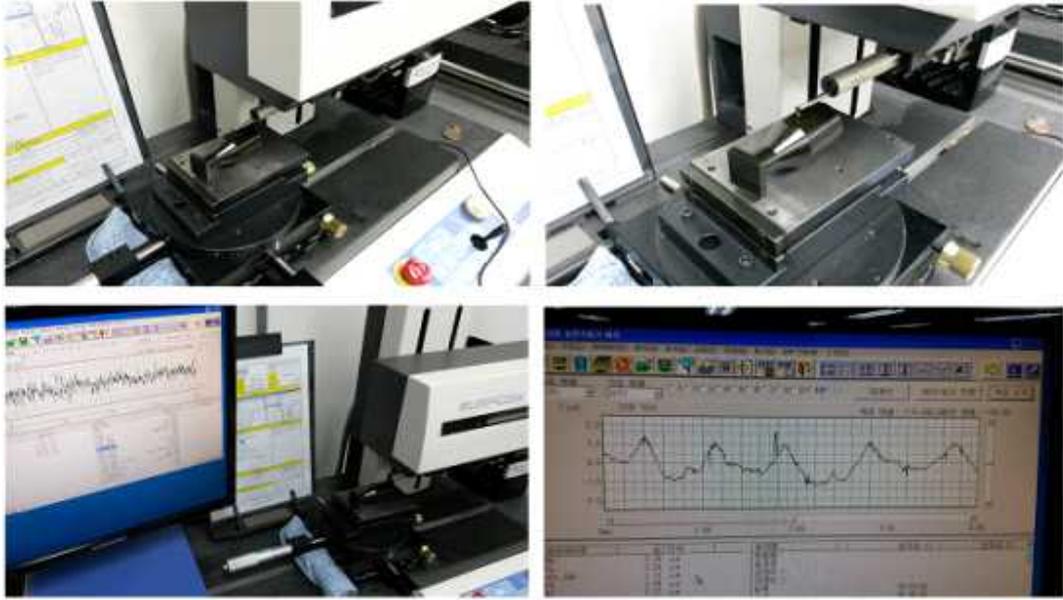
(8) 초음파 용접용 진동자 및 혼 시제품 신뢰성 평가

(가) 진동자 및 혼 가공정밀도 측정 : 최종 가공된 진동자 및 혼에 대한 가공정밀도, 평면도 측정



[그림 147] 초음파 용접용 진동자 및 혼 치수정밀도, 평면도 측정

(나) 시제품 표면거칠기 확인 : 초음파 용접용 혼 시제품의 표면거칠기 측정을 통하여 0.28 μ m의 표면거칠기 확인



[그림 148] 초음파 용접용 혼 표면거칠기 측정

(다) 시제품 표면경도 확인 : 초음파 용접용 혼 시제품의 표면경도 측정을 통한 경도 확인



[그림 149] 초음파 용접용 혼 경도 측정

(라) 시제품 유해물질(XRF) 분석 결과 : 시제품 성분분석을 통한 원소재 물성 확인 및 열처리 유해물질분석



Results

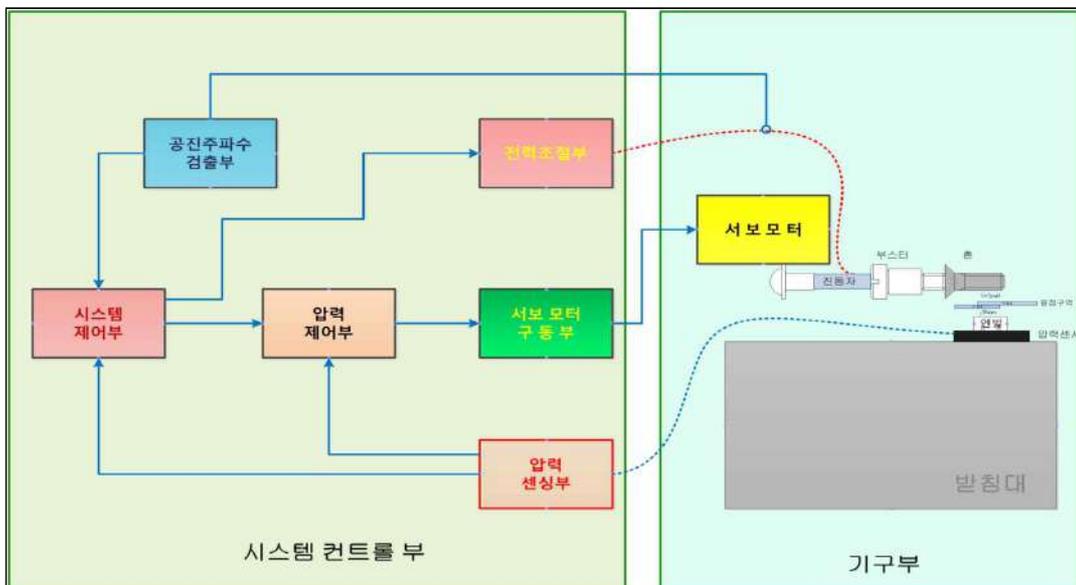
Element	Concentration	Std. Dev.	Peak (cps/mA)	Background (cps/mA)
shd				
Al	[0.021] %	0.051	0	5
Si	0.39 %	0.13	1	8
P	2.011 %	0.053	26	9
S	9.613 %	0.077	168	4
Fe	24.741 %	0.085	4955	390
Cr	3.628 %	0.043	440	70
Mn	0.207 %	0.021	31	75
Co	0.316 %	0.022	86	447
Ti	0.00 %	0.0	0	21
Ni	0.0339 %	0.0078	8	13
Zn	58.88 %	0.13	14778	1477
Cu	0.084 %	0.011	18	34
Ba	0.00 %	0.0	0	5
Sn	[0.0072] %	0.0038	1	0
Pb	0.00 %	0.0	0	1
Zr	0.0196 %	0.0071	4	7
Ag	0.0449 %	0.0080	4	0
Hg	0.00 %	0.0	0	12
Cd	[0.0005] %	0.0022	0	0
Bi	0.00 %	0.0	0	1

[그림 150] 초음파 용접용 혼 유해물질분석

바. 초음파 금속 용접기 기구부 설계 및 제작

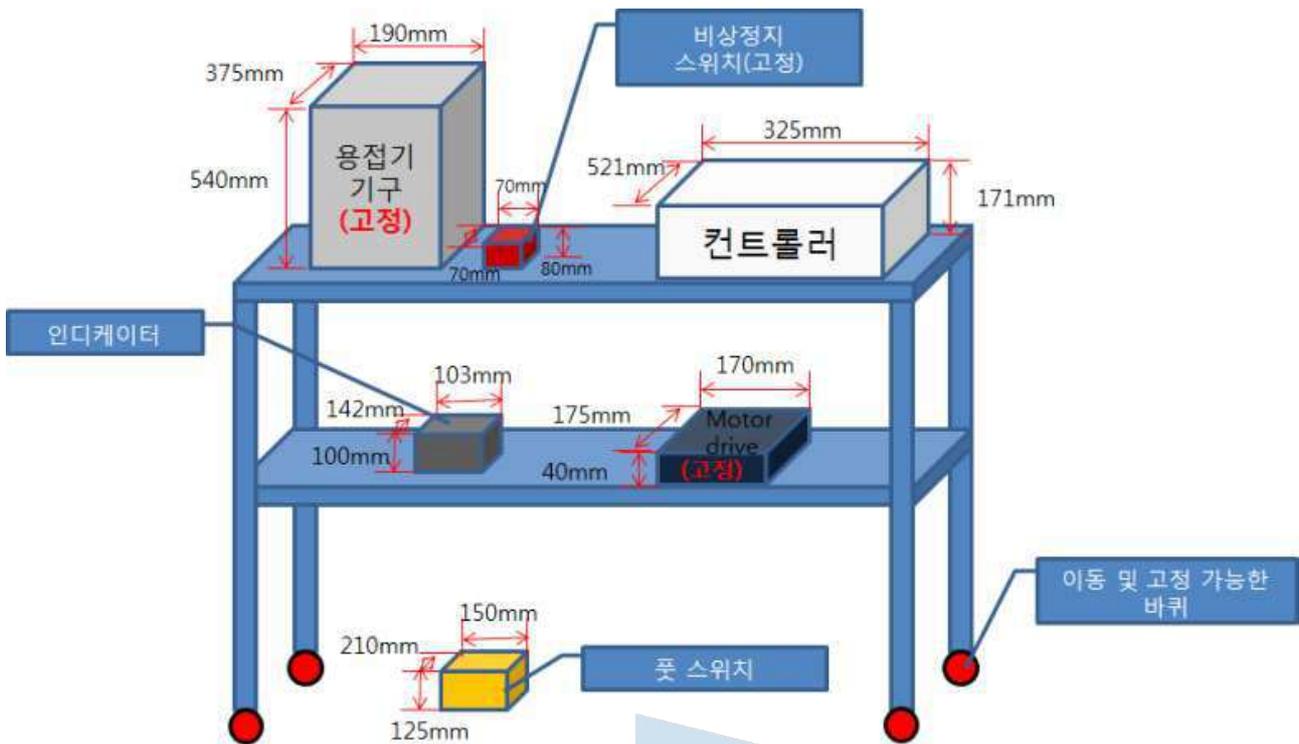
(1) 초음파 금속 용접기 기구부 설계

(가) 초음파 용접기 기구부는 시스템 컨트롤 부의 전력조절, 서보모터 구동, 압력제어와 연계되어 서보모터에 의해 정밀 제어되어 작동됨.



[그림 151] 초음파 용접기 기구부 시스템 연계 구조

(나) 용접기 선반 배치는 용접기 기구(고정)와 컨트롤러를 상단에 두고, 비상정지 스위치(고정), 인디케이터, 풋 스위치를 선반 하단에 두고 형태로 제작함.



[그림 152] 용접기 선반 배치도 그림 첨부

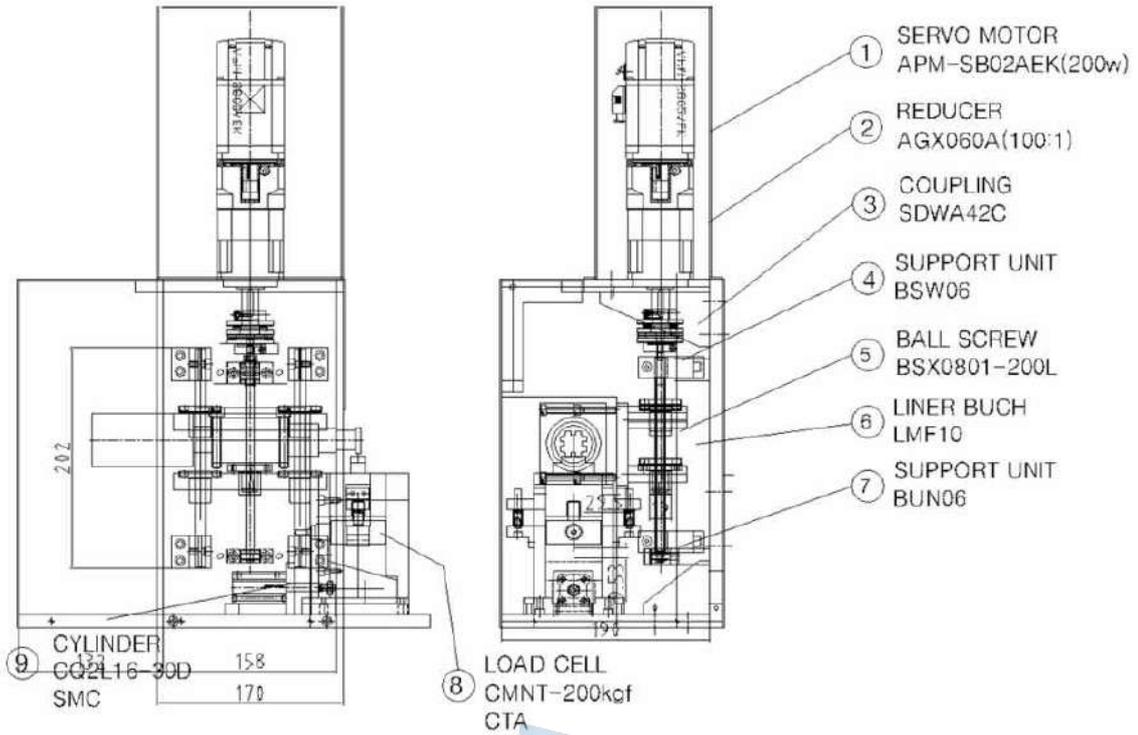
(다) 앤빌(Anvil)은 초음파 진동에 의해 혼과 상부시편이 진동을 하게하고, 하부 시편은 앤빌에 고정시켜 상부시편과 하부시편의 마찰에 의해 접합이 이루어지게 됨. 여기서 하부시편을 고정하는 것이 앤빌의 역할임.



[그림 153] 앤빌 체결부 사진

(2) 초음파 금속 용접기 기구부 설계·제작

(가) 초음파 금속 용접기 기구부 설계



[그림 154] 초음파 금속 용접기 기구부 전체 설계도

(나) 초음파 금속 용접기 기구부 제작



[그림 155] 금속 용접기 기구부 사진

사. 초음파 금속 용접기 제조공정의 최종설계

(1) 불량률의 최소화

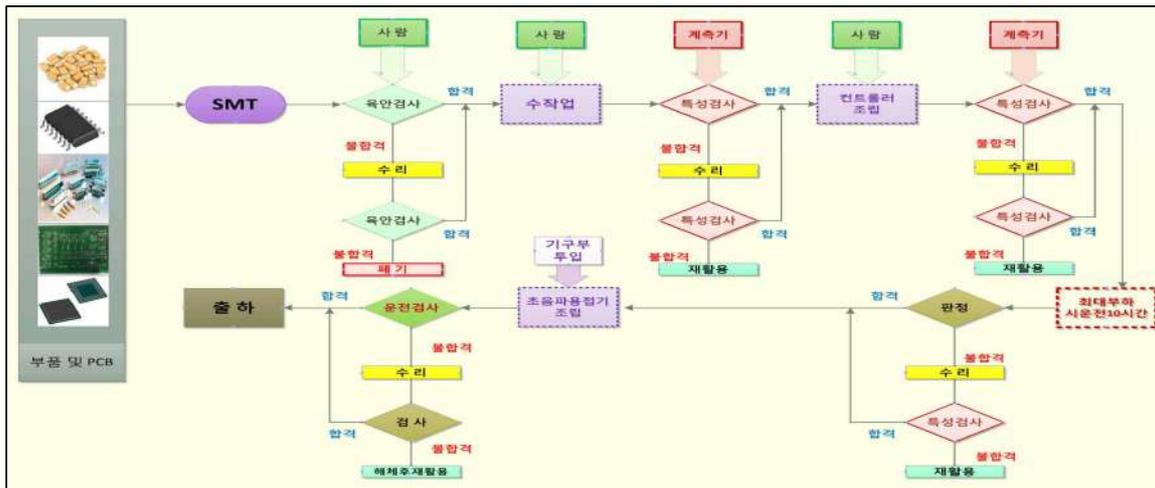
- (가) 원자재의 수입검사 공정을 자동화 하여 불량 부품의 제조공정 투입을 최소화함으로써 불량률을 줄임.
- (나) 단위 공정별 품질검사를 실시하고 자동화 하여 불량률을 줄임.
- (다) 출하하기 전 환경시험(온도 챔버)를 실시하여 최종 사용자환경(세계 여러 지역)에 맞는 조건의 시험을 실시하여 불량률을 줄임.

(2) 품질의 균일화

- (가) 부품관리 철저: Lot number, 제조일자 확인 후 부품 생산정보를 전산화 하여 관리함.
- (나) 외주업체를 일관성있게 유지하고 제조라인 환경을 관리 감독함.
- (다) 생산중지 된 부품은 대체품을 신중하게 확인하게 시험 후 양산에 적용함.

(3) 제조공정의 단순화

- (가) 개발 완료 후 제조공정 시스템 구축 준비를 위한 제조 공정도 설계 완성.



[그림 156] 초음파 용접기 제조공정도 Flow Chart

(4) 생산시스템의 확충 (5년간 계획)

- (가) 년 300대 규모의 생산을 할 수 있는 인력의 최소 규모는 20명 정도의 신규 투자가 필요함.

[신규인력]

(단위 : 백만원)

기업	구분	제품생산				연구개발/관리/마케팅				계
		2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018	
(주)누리기술		3	3	4	5	2	2	2	2	23
세흥정밀		1	1	1	2	1	0	0	1	7

(나) 현재 연구개발 인력 역시 초음파 용접기 전기전자부문의 연구 개발에 활용할 수 있으므로 개발, 생산기술, AS요원으로 활용 가능함.

(다) 기존사업이 전력제어계측부문이므로 기존의 연구개발의 연속성이 가능하므로 연구 기자재 및 S/W등 기존 인프라를 90%정도 활용할 수 있음.

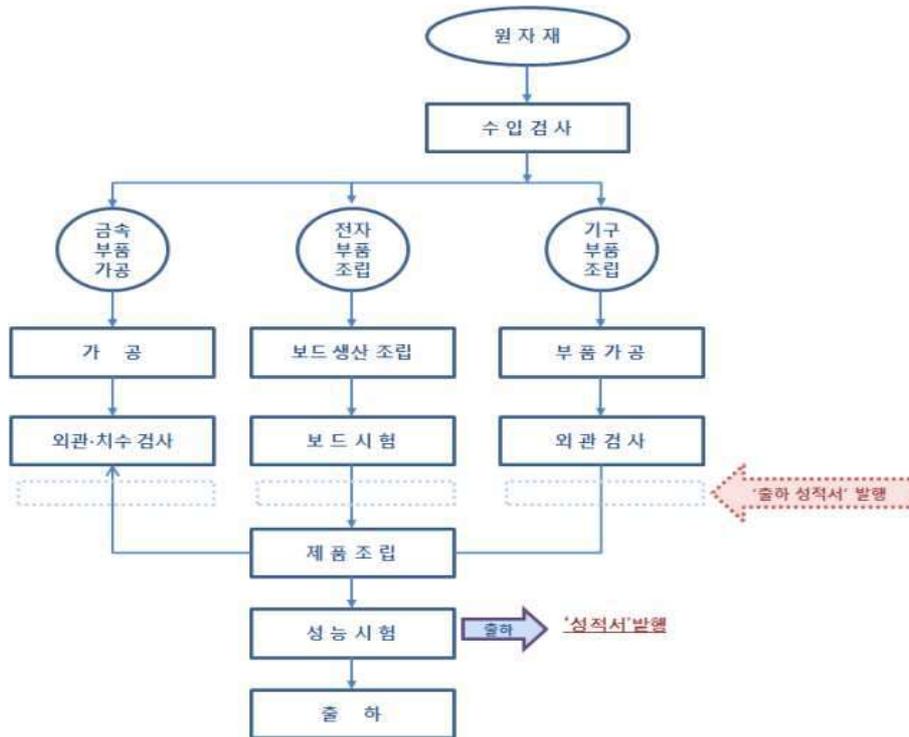
(5) 생산성향상을 위한 시스템 구축

(가) 핵심 원자재

자재명	구분	형태	가격	비중 (금액대비)
Transducer 외형	압전세라믹외형 case	정밀금속가공품	30만원	4.3%
horn	용접기와 용접대상체 사이의 금속부품	정밀금속가공품	50만원	7.2%
booster	초음파 증폭기	정밀금속가공품	80만원	11.6%
전자전기부품	파워 서플라이 구성부품	전자전기부품	250만	36.2%
압전세라믹	압전진동소자	전자전기부품	80만	11.6%
기구물	용접기를 구성하는 기구물	금속 가공품	150만원	21.7%
기타 부속품	나머지 부속품	기타부속품	50만원	7.2%
계			690	100%

① 전기전자 및 기구물은 일반적인 것으로 국내에서 쉽게 구매가능하며 정밀 금속재료부품은 참여기업인 세흥정밀에서 가공공급예정이고 압전 세라믹은 외국에서 구매가 가능하며 조달적 측면에서 특별한 문제는 발생하지 않을 것으로 예상됨.

(나) 생산 공정 및 생산시간



[그림 157] 생산성 향상을 위한 시스템 구축



아. 최종결과

(1) 초음파 용접용 Power Supply의 용접조건 설정

(가) 초음파 용접을 위해 초음파 용접용 Power Supply의 전원을 켜서 부팅을 시킨다.



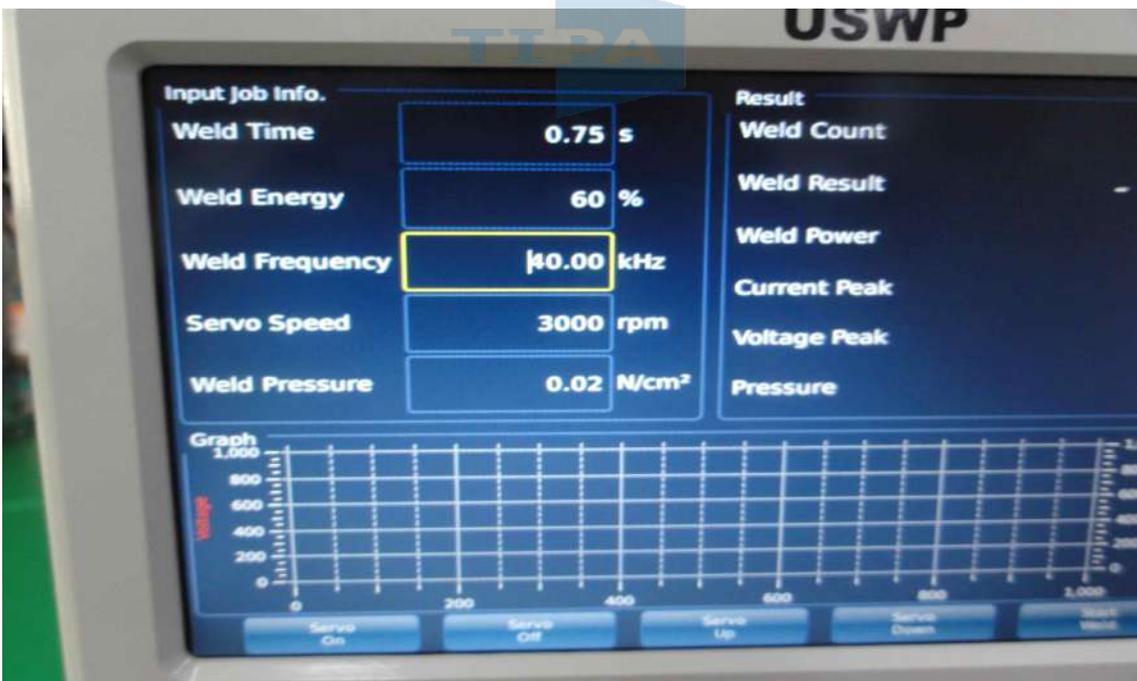
[그림 158] 초음파 용접용 Power Supply의 부팅된 모습

(나) 초음파 용접용 Power Supply의 용접시간 설정



[그림 159] 초음파 용접용 Power Supply의 용접시간 설정 모습

(다) 초음파 용접용 Power Supply의 용접조건 설정완료



[그림 160] 초음파 용접용 Power Supply의 용접조건 설정이 완료된 모습

(2) 용접순서

(가) 용접에 이용되는 알루미늄 호일을 재단함.

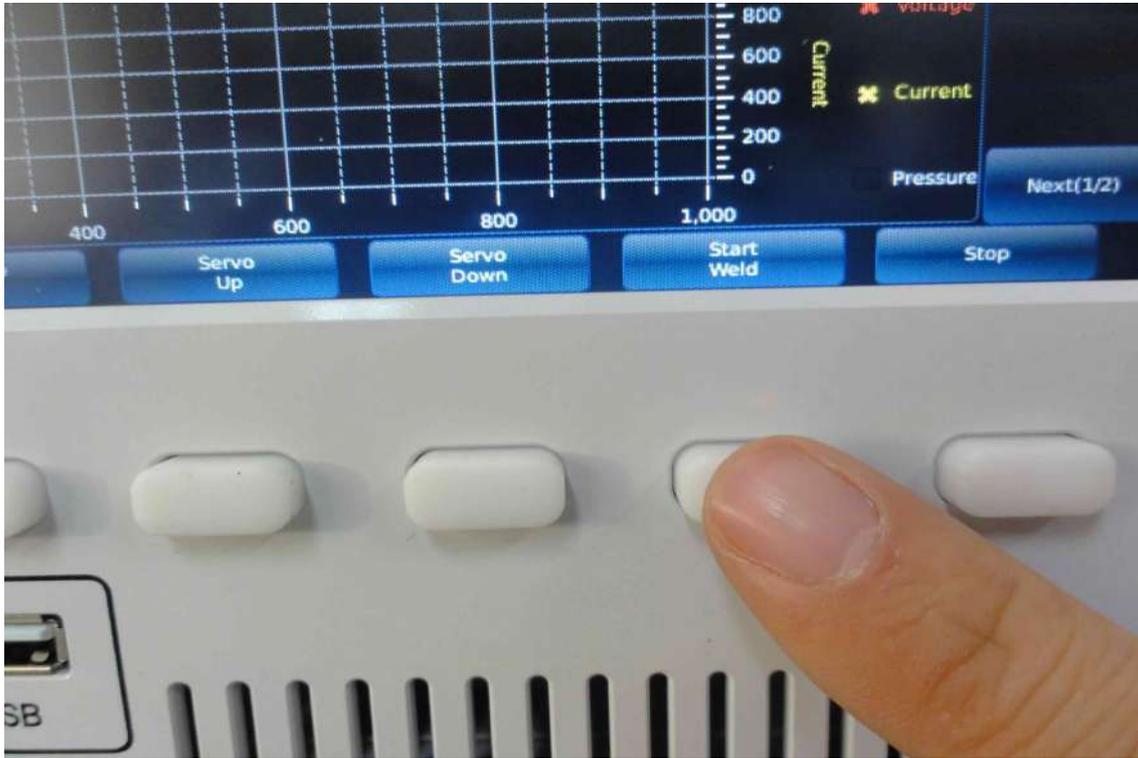


[그림 161] 알루미늄 호일의 재단

(나) 준비한 알루미늄 호일을 혼과 엔빌 사이에 위치시키고 start weld 버튼을 누름.



[그림 162] 혼과 엔빌 사이에 호일을 위치



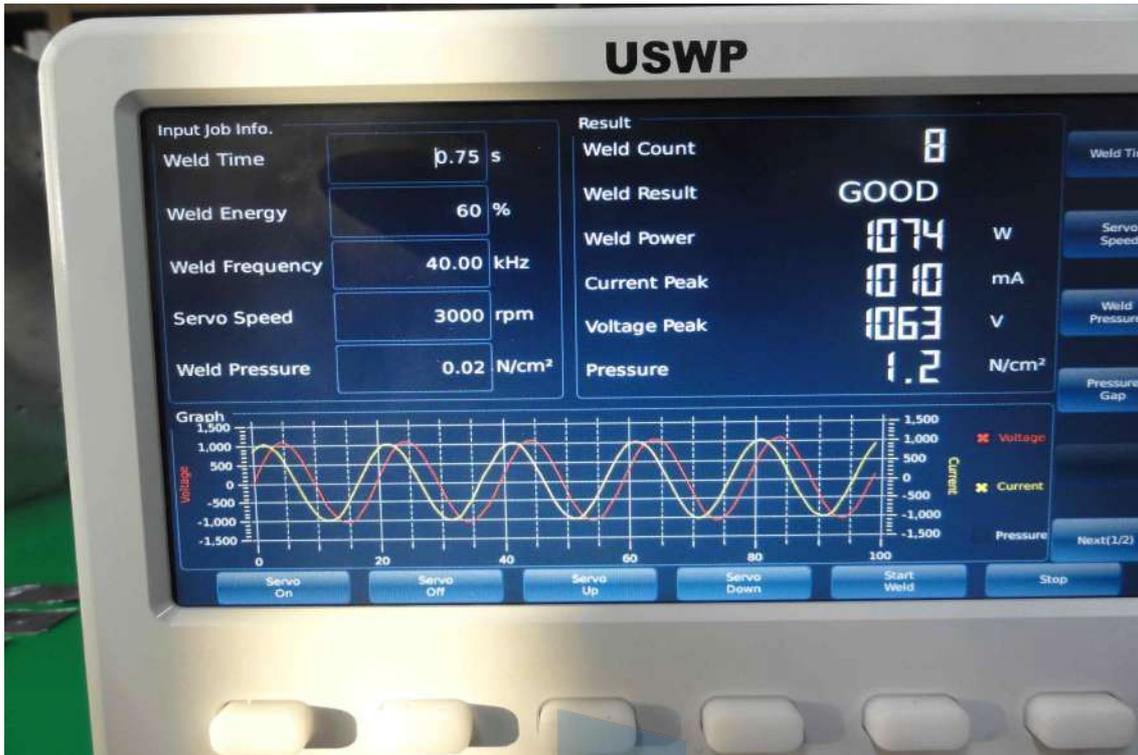
[그림 163] 용접시작

(다) 서보모터로 혼을 이동 후, 20kg/cm²으로 알루미늄 호일에 압력을 인가함.

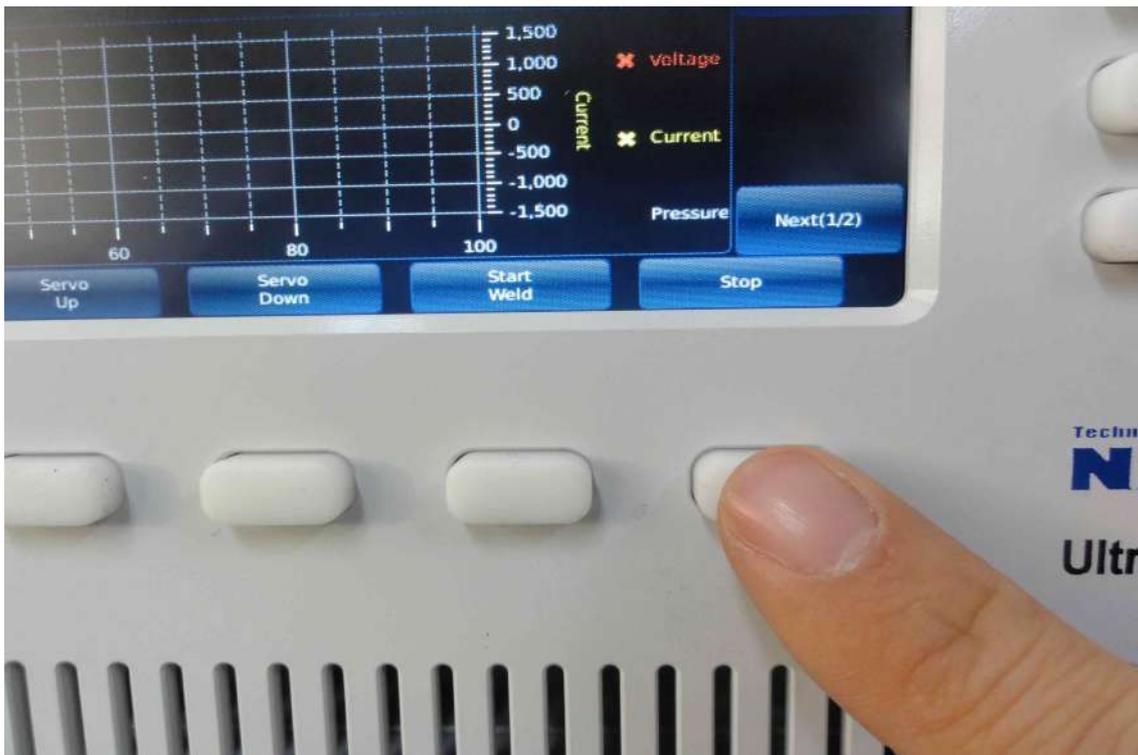


[그림 164] 용접시료에 압력을 인가

(라) 혼과 엔빌 사이에 있는 알루미늄 호일에 초음파를 인가하여 용접한 후, stop 버튼을 누른다.



[그림 165] 용접 후 power supply에 결과화면



[그림 166] 용접종료 버튼을 누름

(마) 서보모터로 혼을 다시 올리고 알루미늄의 용접상태를 확인한다.



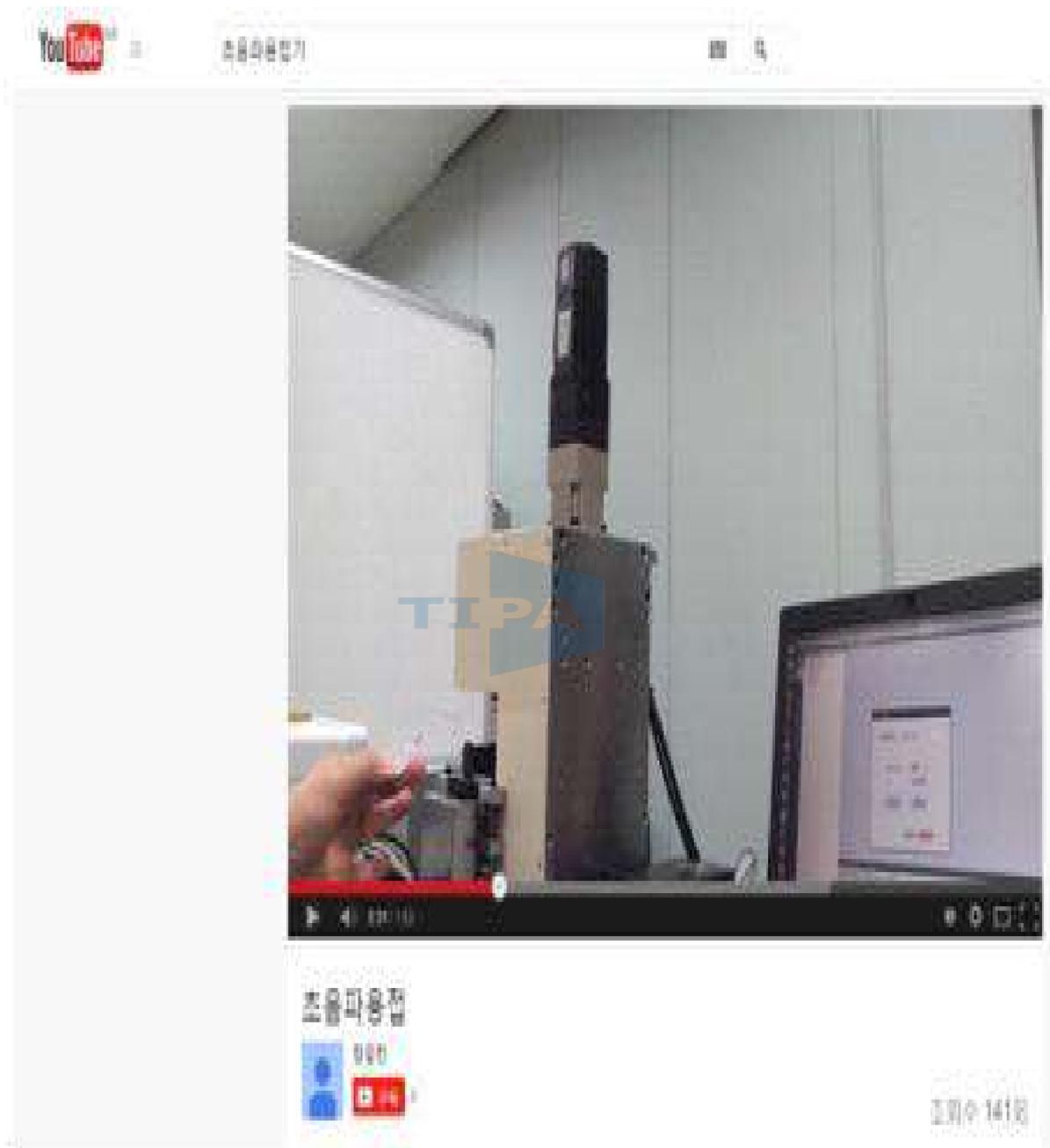
[그림 167] 용접 후 용접상태를 확인



[그림 168] 용접강도 확인

(4) 초음파 금속 용접기 데모 프로그램으로 용접을 하는 동영상을 유튜브에 업로드함. 아래는 동영상 화면을 캡처한 장면임.

(가) URL: <http://www.youtube.com/watch?v=Dm4LW8-JFqs>



[그림 169] 초음파 금속용접기 동영상 캡처 사진

(5) 초음파용 금속 용접기용 Power Supply 판매를 위한 카달로그 제작



USWP-401K
Ultrasonic Welding Power Supply



* The specifications are subject to change without any prior notice for quality improvement.

Features

- Available to change frequency easily.(10kHz~40kHz)
- Available to change voltage easily.(100V~300V)
- Realized FeedBack algorithm that could maintain consistent pressure with the load cell input.
- Available to operate direct-type Servo Motor and control location.
- 简便变频(10kHz~40kHz)
- 简便转变电压(100V~300V)
- 以测压元件输入构建维持一定压力的反馈算法
- 可实现直接式伺服马达驱动和定位控制

Function

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Automatic frequency adjustment function • Welding start time adjustment function • Setting Parameter saving function • Available to Input external welding start signal (I/O Interface) • 自动调频功能(Automatic Frequency Tuning) • 开始焊接时间调整功能(Weld Time Delay Setting) • 保存设定参数的功能 • 外部可输入开始焊接信号(I/O Interface) | <ul style="list-style-type: none"> • PLC Interface Connection • Support Remote Monitoring(SNMP, WEB) • Support Remote Database • PLC接口/连接 • 支持远程监测(SNMP, WEB) • 支持远程数据库 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

NURI TECHNOLOGY 242, Banyawol-ro, Dong-gu, Daegu, Korea
Tel. +82-53-961-9001 Fax. + 82-53-961-9005
E-mail.

[그림 170] 카달로그 사진

제 3 절 기술개발 추진방법 및 체계

1. 기술개발 추진방법

가. 초음파 금속 용접기 기술의 융합 정도

No	세부적용기술	대분류		중분류		소분류		기술 기여도
		Code	분류명	Code	분류명	Code	분류명	
1	정밀가공기술	H	기계	H04	정밀생산기계	H0401	절삭가공기계	20%
2	금속재료가공기술	I	재료	I01	금속재료	I0104	금속재료 공정기술	10%
3	금속용접기술	I	재료	I04	주조/용접/접합	I0408	특수용접 /접합기술	10%
4	고주파발생기술	K	전기/전자	K05	전기전자부품	K0507	초고주파 발생소자	20%
5	고주파전력제어기술	K	전기/전자	K99	디지털설계	k9999	제어로직설계	20%
6	소프트웨어기술	L	정보/통신	L02	소프트웨어	L0201	임베디드 S/W	10%
7	제품디자인							10%
기여도의 총합								100%

나. 수행기관별 주요 업무분장

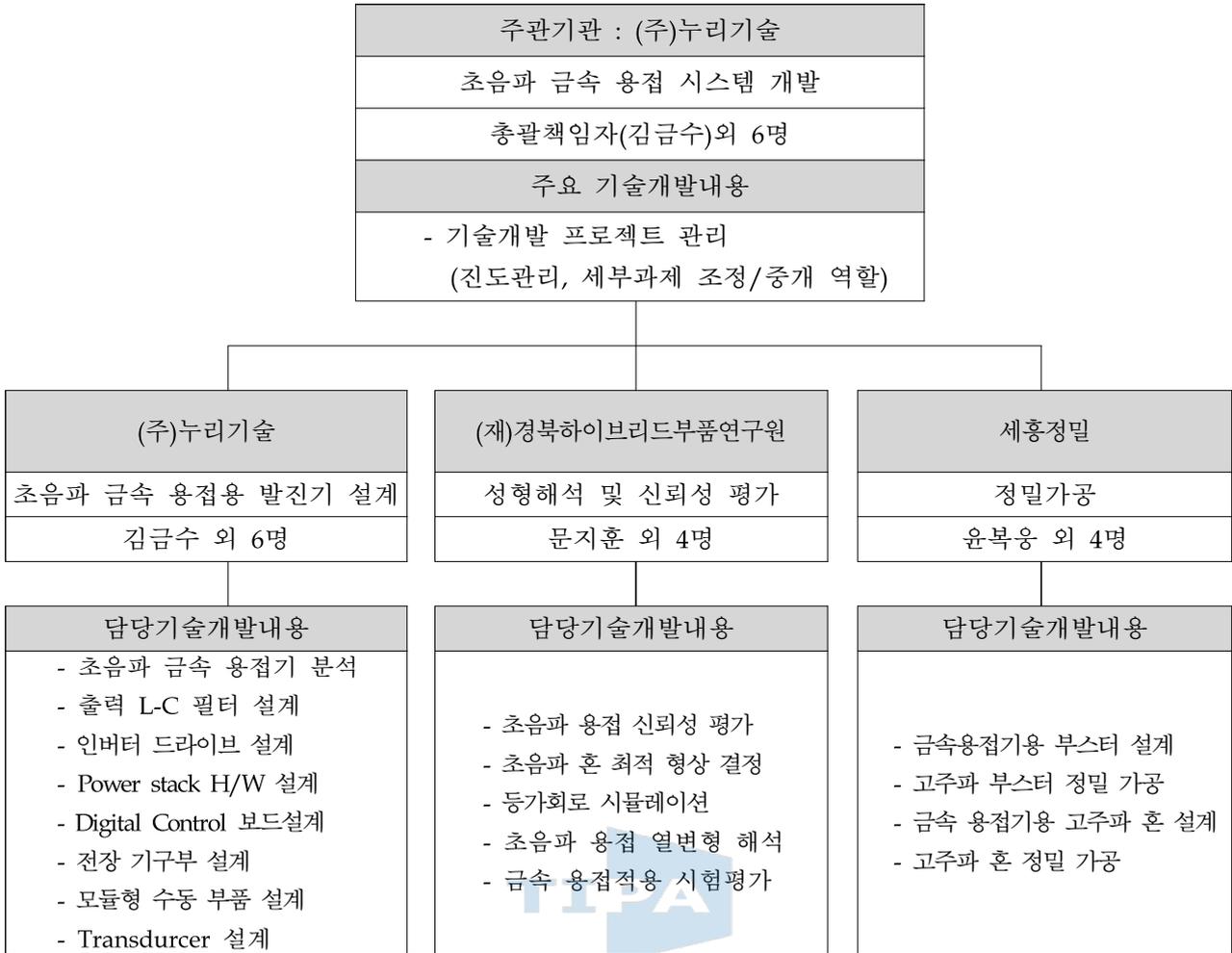
수행기관	주요 담당 업무	기술개발 비중(%)
추진주체	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 초음파 금속 용접기 기본구조 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 초음파 금속 용접기 분석 및 구조 설계 ◦ 초음파 금속 용접기용 발진장치 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 출력 L-C 필터 설계 및 인버터 드라이브 설계 - Power stack H/W, Digital Control 보드 설계 - 전장 기구부 및 모듈형 수동 부품 설계 ◦ 초음파 금속 용접기 제조공정 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 공급/제작/검사 자동화 공정 개발 - 절삭가공 조건에 따른 자동화 측정설비 수립 - 제품 치수 및 형상 정밀도 측정 관리 시스템 구축 ◦ 초음파 금속 용접기 구동용 소프트웨어(S/W) 개발 ◦ 용접 제품의 추적 관리 시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 제품 신뢰성 검사 모니터링 및 데이터베이스 구축 	50%

	<ul style="list-style-type: none"> - 검사 기록 메커니즘 제작 ○ 초음파 금속 용접기용 진동자(Transducer) 개발 - 설계 및 시험 	
참여기관	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초음파 금속 용접기용 진동자(Transducer) 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 진동자(Transducer) 정밀 가공 - 금속용접기용 부스터 정밀 가공 - 고주파 부스터 정밀 가공 ○ 초음파 금속 용접기용 혼(Horn) 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 금속 용접기용 고주파 혼 설계 및 정밀가공 - 고주파 혼 정밀 가공 	30%
위탁연구기관	<ul style="list-style-type: none"> ○ 신뢰성 평가기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 초음파 용접용 원재료 검증 - 제품 신뢰성 시험평가 및 검증 - 금속 용접적용 시험평가 - 제조 공정 최적화 및 공정 단축 ○ 초음파 용접기 설계 최적화 및 성형해석 <ul style="list-style-type: none"> - 초음파 혼 최적 형상 결정 - 초음파 용접 열변형 해석 	20%
총 계	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초음파 금속 용접 시스템 개발을 위해 전류를 전기 에너지로 변환시키는 컨트롤러(Power Supply)와 전기 에너지를 기계적 진동에너지로 변환시키는 진동자(Converter), 진동자의 진폭(amplitude)을 증폭시키는 부스터(Booster)와 금속 용접 대상물에 진동에너지를 전달하여 용착시키는 혼(Horn)의 개발 및 양산 적용 	100%

2. 기술개발 추진체계

가. 초음파 금속 용접기 개발 추진체계

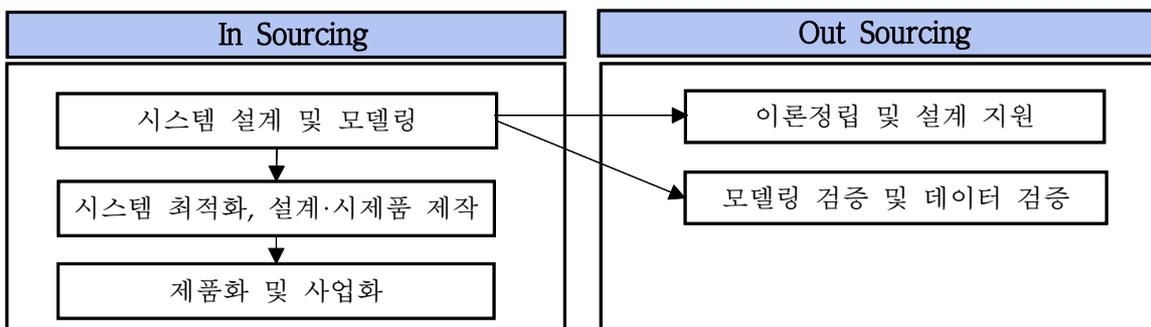
- (1) ㈜누리기술은 본 사업의 주관기관으로서 TFT 운영 및 과제 전체를 총괄하며, 세부과제를 공동개발기관(세홍정밀) 및 위탁연구기관(경북하이브리드부품연구원)과 아래와 같이 공동추진 할 계획임.



(2) 핵심 분야별 컨소시엄 구성을 통해 기술개발 과정에서 발생할 수 있는 리스크를 최소화하는 전략을 수립하였으며, 이론정립 및 설계지원, 시뮬레이션 검증 및 데이터 분석은 경북하이브리드부품연구원에서 역할 함으로써 신뢰성을 확보.

(3) 고속 고 정밀 전력제어계측기술을 활용한 제품개발경험이 있는 (주)누리기술은 개발과제의 프로젝트를 주관하고 시스템 설계 및 최적화, 시제품제작, 사업화 등을 수행.

나. 인소싱 및 아웃소싱 전략



다. 세부 추진일정 및 역할분담

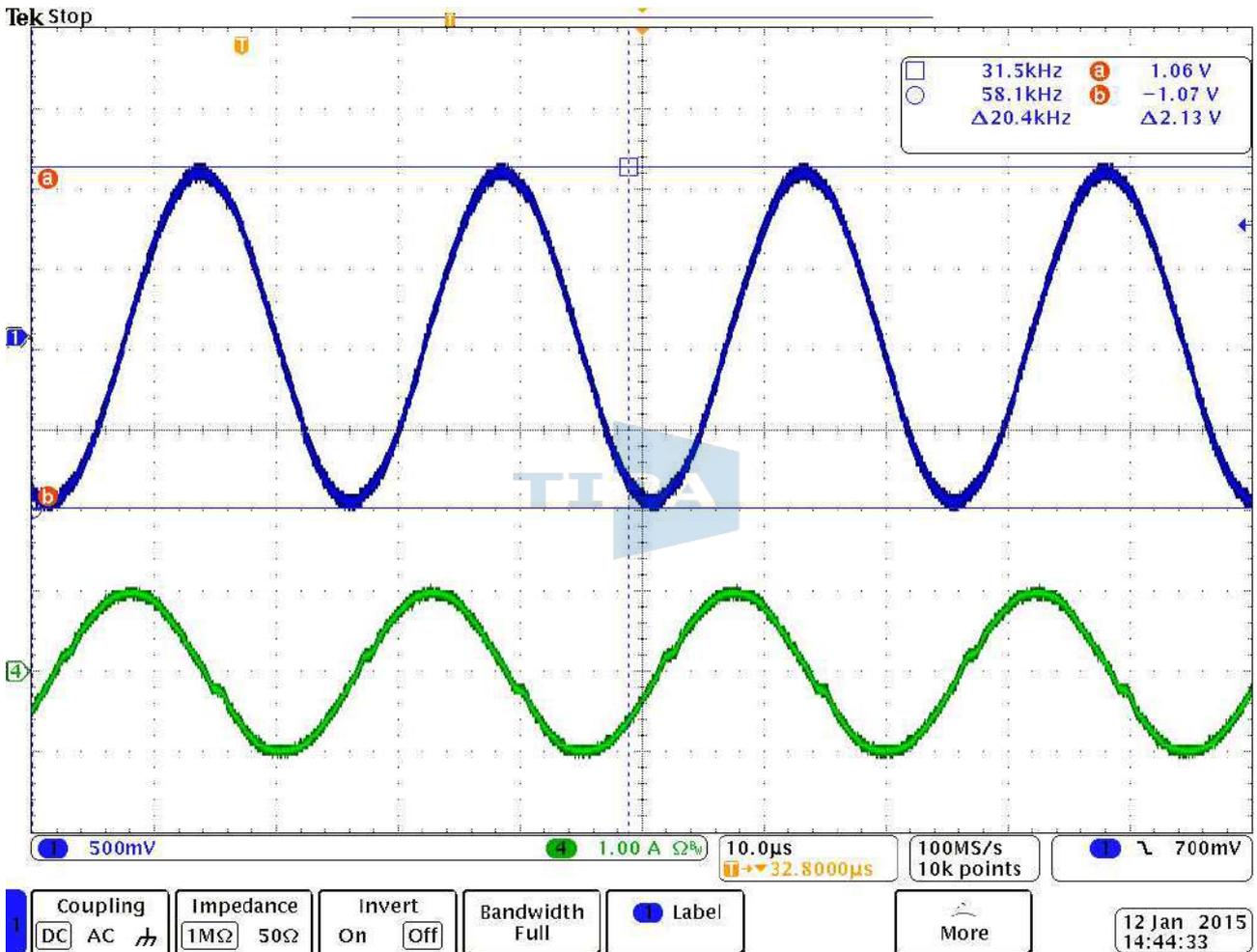
차수	세부 추진내용	수행 (주관/공동/ 위탁)	사업수행기간(월)												비고	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1 차 년 도	1. 적용사례 및 기술정보 수집	주관/공동														
	2. 신뢰성 원재료 분석	위탁														
	3. 초음파 용접기 기본구조 설계	주관														
	4. 초음파 용접기 제조공정 설계	주관/공동														
	5. 초음파 용접기 발진장치 구조설계	공동														
	6. 용접공정 제어관리 시스템 설계	주관														
	7. 진동자 및 혼 기본설계 및 가공	공동/위탁														
	8. 진동자 및 혼 최적화 및 성형해석	위탁														
	9. 검사 모니터링 시스템 설계	주관														
	10. 시제품(진동자, 혼) 신뢰성 평가	공동/위탁														
2 차 년 도	1. 초음파 용접기 개발 사양 확정	주관/공동	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
	2. 초음파 용접기 제조공정 최종 설계	주관/위탁														
	3. 초음파 용접기 제어부 제작	주관														
	4. 진동자 및 혼 최적설계 및 가공	공동/위탁														
	5. 초음파 용접기 발진장치 제작	주관														
	6. 초음파 용접기 구동모듈 제작	주관														
	7. 제조공정 구축 및 최적화	주관/위탁														
	8. 모니터링 시스템 설비 구축	주관														
	9. 시제품 신뢰성 평가 및 개선안 도출	주관/공동/위탁														
	10. 양산성 및 사업성 검토	주관/공동														

제 4 절 정량적 목표달성

1. 기술개발 결과

가. Power Supply 출력전력

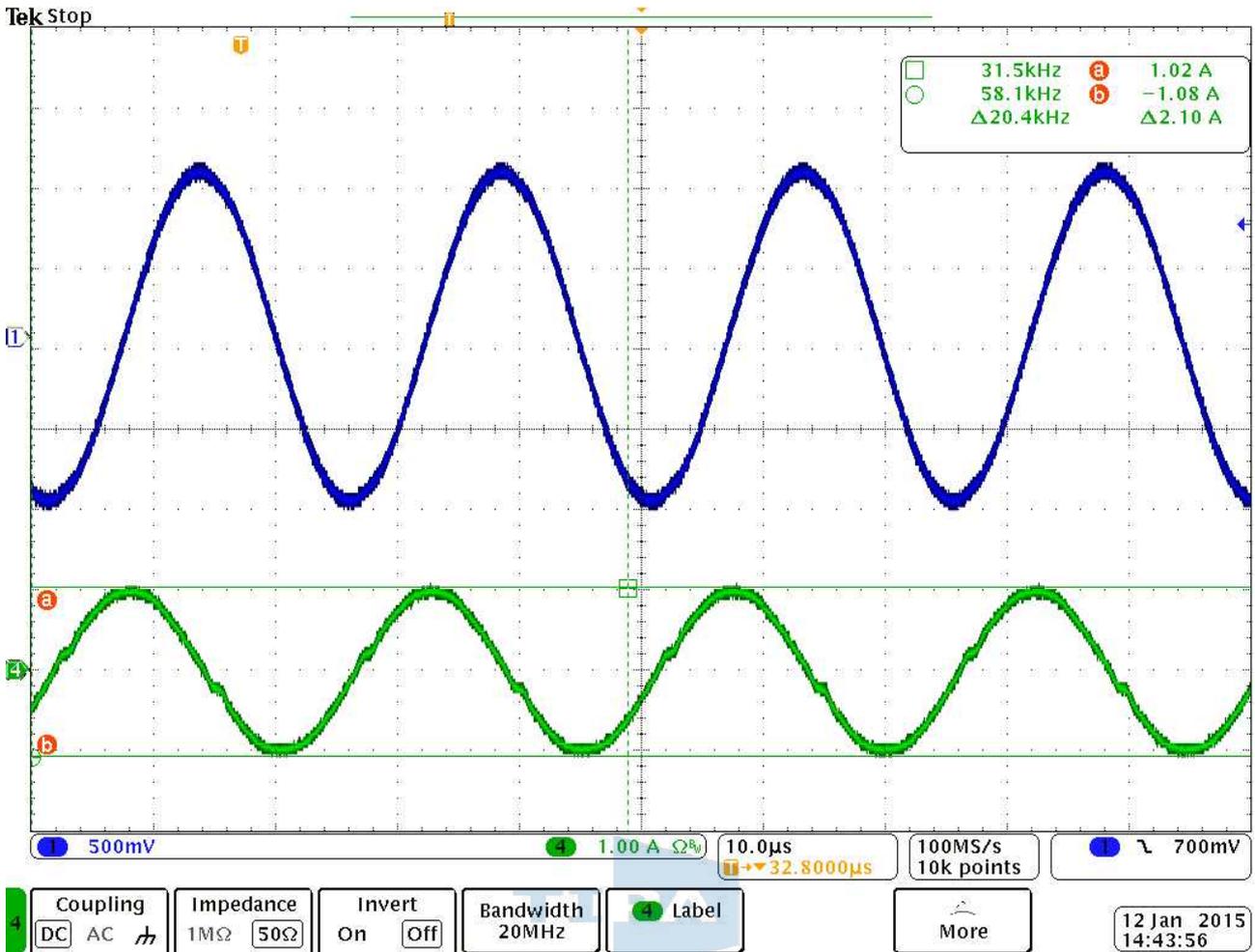
(1) 초음파 금속 용접기용 Power Supply의 출력은 진동자의 동작(용접 중)에 측정하여야 함으로 오실로스코프의 전압, 전류 probe를 통하여 측정할 수 있었음.



[그림 172] 오실로스코프 전압파형 그림

(가) 그림에서 출력전압은 $\frac{1}{500}$ probe로 사용하여 출력전압이 $2.13 \times 500 = 1065[V]$ 이

다. 이것의 실효 전압은 $\frac{V_p}{\sqrt{2}}$ 이므로 $V_s = \frac{1065}{\sqrt{2}} = 752.96[V]$ 이다.



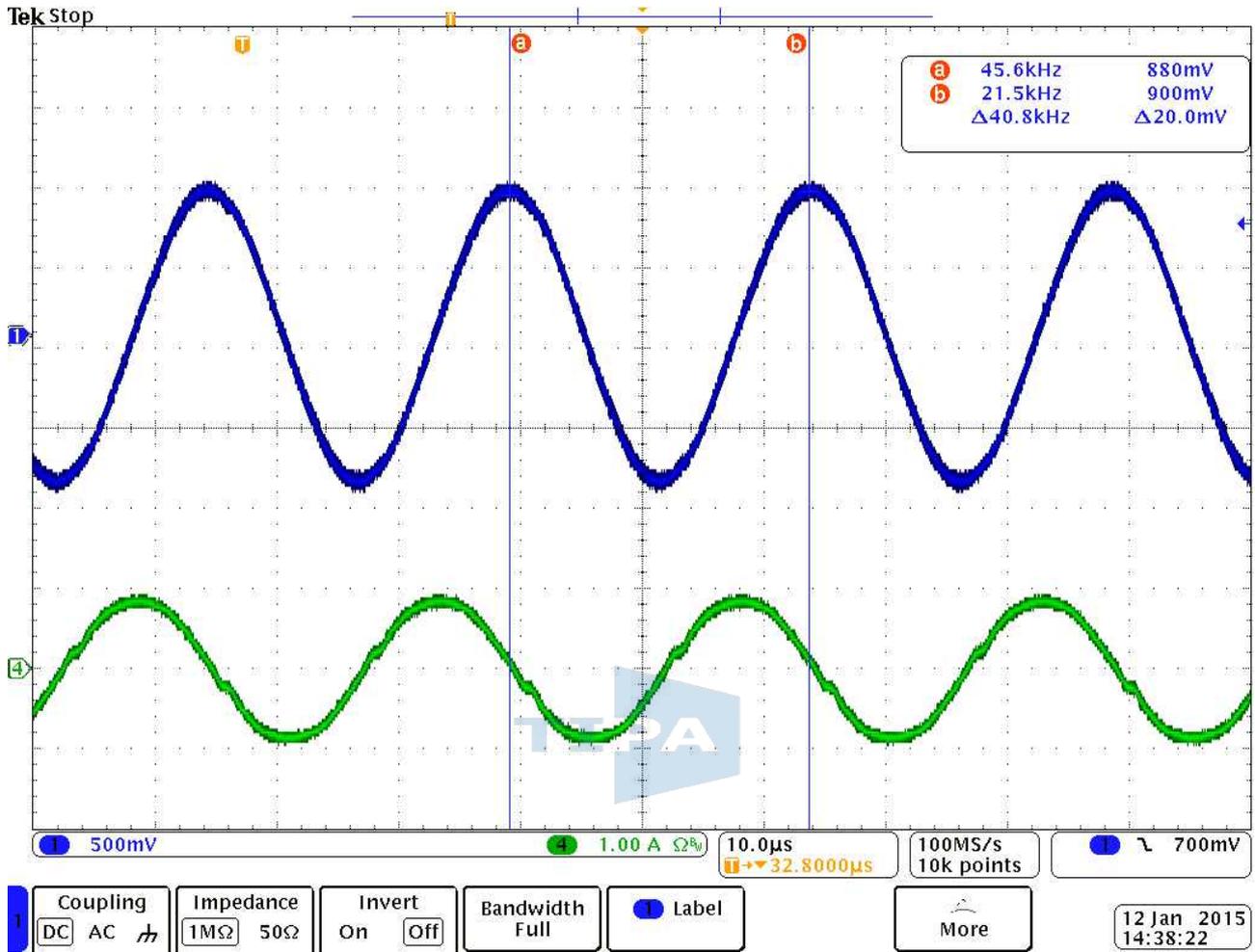
[그림 173] 오실로스코프 전류파형 그림

(나) 그림에서 전류PP가 2.10[A]이며, 실효전류는 $I_s = \frac{2.10}{\sqrt{2}} = 1.485[A]$

전력 $W=VI$ 이므로 실효전력은 $P_{rms} = 752.96 * 1.485 = 1117.9[W]$ 이다.

나. 공진주파수

(1) 공진주파수는 주파수계와 동작 중 오실로스코프로 측정하였음.



[그림 174] 오실로스코프 주파수파형

(가) 그림에서 Scope파형의 주파수는 40.8kHz임을 확인할 수 있다.

전문분야 심의위원 평가표

과제명	40kHz급 양산형 고상접합용 초음파 금속 용접 시스템 개발
평가분야	초음파용접기 파워 서플라이

평가 분야	평 가 항 목	최종개발목표	측정값	평가
Power Supply	1. Power supply 출력전력	1KW	1117.9KW	확인
	2. 공진주파수	40KHz	40.8KHz	확인
	3. 공진주파수 변위	40KHz±2KHz	40KHz±5KHz	확인

※ 평가기준은 자체평가항목별 기준표 따름

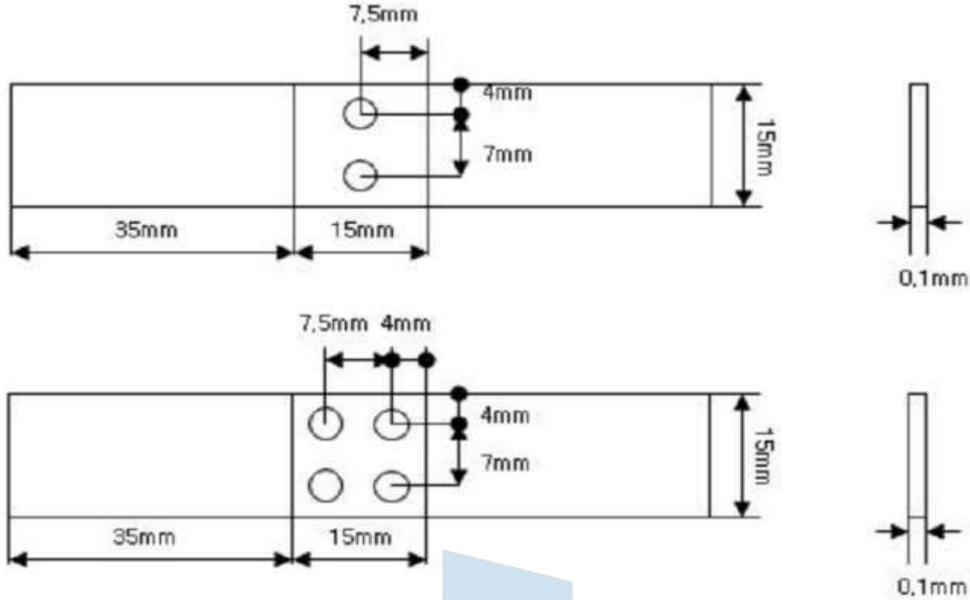
2015년 1월 27일

심의위원 :영남대학교 전기공학과 교수 김동희 (서명)

마. 최종 용접 시제품 접합성능 평가

(1) 다점 초음파 금속 용접 시편 제작

(가) 시편의 재료는 초음파 금속 용접에 일반적으로 사용되는 Al 소재의 sheet를 사용하였고, 시편두께는 약 0.1mm로 아래와 같은 형태로 설계하였음.



[그림 176] 다점 초음파 용접시편 제작도

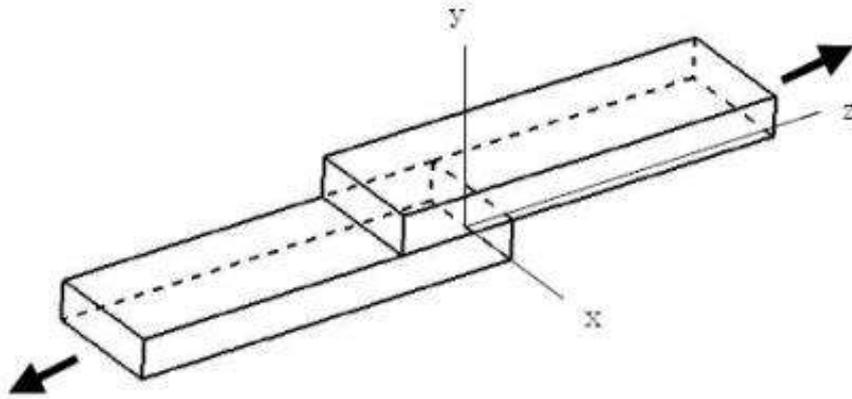
(나) 초음파 금속 용접 시편은 인장방향의 횡방향으로 2점, 4점 형태로 각각 용접하여 제작하였음.



[그림 177] 다점 초음파 용접시편 제작

(2) 다점 초음파 금속 용접 성능 평가

(가) 초음파 금속용접 접합성능 시험은 인장전단에 대한 피로시험 결과 이외에도 여러 가지 방향에 대한 인장이 복합된 형태로써 아래와 같은 기본 형태로 시험을 실시하였음.



[그림 178] 초음파 금속 용접성능 측정 모드

(나) 인장-전단시험을 수행 할 때 시험 속도는 중요한 요소로써 가능한 천천히 진행되도록 하였으며, 일정 범위 이내의 시험 속도의 차이에서는 동일한 결과를 얻을 수 있어야 함.



[그림 179] 초음파 금속 용접 성능시험 준비

(다) 초음파 금속 용접 접합성능을 확인하기 위한 4점 시험의 인장시험에서 최대 인장력 기준으로 약 6.9kgf(67.62N)에서 파단이 되었음을 확인할 수 있었으

며, 파단부위도 초음파 용접이 된 부분이 아닌 측면 부위로서 실제 용접부위에 대한 접합력은 더욱 우수한 것으로 판단됨.



[그림 180] 초음파 금속 용접 성능시험 결과

2. 정량적 목표달성 결과



가. 기술개발 평가방법 및 평가항목

주요 성능지표	단 위	최종 개발목표	최종 시제품 평가결과
1. power supply 출력 전력	W	1kW	1117.9W
2. 공진주파수	kHz	40kHz	40.8kHz
3. 공진주파수변위	kHz	40kHz ± 2kHz	40kHz ± 5kHz
4. Transducer	W	1kW	1117.9W까지 확인
5. Horn 공진점	kHz	40kHz	40.8kHz 용접확인

제 3 장 성과요약 및 기대효과

제 1 절 사업성과

1. 기술적 성과

가. 기존 기술개발에 대한 차별화

- (1) 당사는 본 과제를 수행 전에 배터리 관리 시스템(BMS)을 개발한 경험을 바탕으로 고객 요구 조건을 충족하는 고기능성 초음파 금속 용접기의 성공적 개발함.
- (2) 진동자(Converter) 및 혼(Horn)에 대한 개발 특성상 기계적 성능을 만족하는 소재를 우선적으로 선택하여 물리적·기계적 특성을 고객의 요구 사양에 맞게 개발함.
- (3) 참여기업(세흥정밀)이 보유하고 있는 CNC 가공 및 클램핑 기술을 활용하여 한 번의 로딩에서 제품의 이동 없이 3차원 복합 가공공정을 함으로서 제품 이동 및 2차 클램핑에 의한 누적 공차 손실을 방지 할 수 있으므로 안정적인 품질 확보.
- (4) 단순한 작동 메커니즘과 짧은 시간 이내의 실시간 모니터링 검사 시간으로 기존 초음파 용접기 작동을 위한 소요시간을 줄임으로써 대량 양산 체제 구축이 가능함.

나. 최종 제품의 경쟁력 수준

- (1) 본 제품은 밸브, 포트, 필터, 임플란트 부품 등 소형의 의료기기 분야에서 시장의 다양한 요구를 만족시킬 수 있는 초음파 용접기임.
- (2) 본 제품은 Melt Match(용융수지 최적화)기술을 사용하여 기존의 표준형 공압식 용접기에 비해 제품 품질의 반복재현성을 높이고 용접부의 강도를 향상시키며, 검증교정을 용이하게 하고, 제조원가를 낮출 수 있음.
- (3) 용접하는 도중 붕괴속도(collapse speed)가 너무 느리면 재료가 열화 되고, 반대로 너무 빠르면 성형 불량 발생하게 됨. Melt Match 기술은 재료가 녹아있는 동안 붕괴속도를 재료 상태에 정확하게 맞추어 줄 수 있으므로 초음파가 접합부 깊숙이 침투하여 열영향부를 확대시켜서 최고의 용접강도를 얻을 수 있도록 함.
- (4) 서보모터로 용접속도를 제어하여 높은 반복재현성 덕분에 불량품의 발생을 대폭 감소시킬 수 있으며, 실제로 시험 결과에 의하면 본 제품의 용접한 부품의

접합강도는 그 평균 표준편차가 1.8%에 불과하였으며 이는 공압식 용접기의 6.6%에 비하면 크게 낮은 것임.

2. 경제적 성과

가. 기대 효과

- (1) 확대되고 있는 이동통신의 배터리 전극과 태양광 발전시스템의 전극 용접에 이용, 부가가치 극대화
- (2) 기존의 고가의 용접 방식을 대체, 저렴하게 공급할 수 있는 기반 마련
- (3) 용재를 사용하지 않으므로 오염 발생 물질 없음, 국제적인 환경규제로부터 부담이 없는 청정 접합 기술

3. 기타 성과

가. 논문, 특허, 기술임치 실적

(1) 학술논문 실적

(가) 학술대회 논문 발표 : 학술대회 논문 1건

- ① 학술대회 : 대한기계학회 생산 및 설계부문 2014년도 춘계학술대회
- ② 논문제목 : 40kHz급 초음파 금속 용착용 공구흔의 설계 및 해석
- ③ 발표자 : 이승욱, 문지훈, 홍상휘, 김정호(경북하이브리드부품연구원)

(2) 지식재산권 실적

(가) 특허출원 : 출원 완료 1건, 출원 진행 1건(2015. 2월 중 출원완료 예정)

- ① 특허 제목 : 초음파 용접기 및 관리 시스템

(3) 기술임치 실적

(가) 기술임치 : 기술임치 1건 완료(대·중소기업협력재단)

- ① 기술내용 : 본 기술개발은 1kW, 40kHz급의 초음파 금속 용접 시스템을 개발하여, 양산화 체제로 가져갈 수 있도록 하나의 시스템을 구축하여 시스템 종합, 기동, 운전 제어 및 시험 장비의 제작 운용 기술을 확립하는 것입니다.

제 2 절 기대효과 및 향후 계획

1. 기대효과

가. 초음파용접기 시장분석

(1) 초음파 용접기(용착기)의 시장은 비교적 다른 용접기(용작기)에 비해 빠른 속도로 성장하고 있다. 특히 전기 저항용접기에 비해 용접품질이 월등하기 때문에 신재생에너지 분야와 전기자동차 및 전기 전도성 접합에 급속히 확산되고 있는 추세이다.

(2) 초음파 용접기 시장 (단위 : 백만원)

기업 \ 년도	2015	2016	2017	2018	2019	계
세계시장	314,000	322,000	330,000	338,000	346,000	1,650,000
국내시장	7,850	8,050	8,250	8,450	8,650	41,450



※추정근거 : PRWeb, BizHospital, BCC Research

나. 판매계획

(단위 : 백만원)

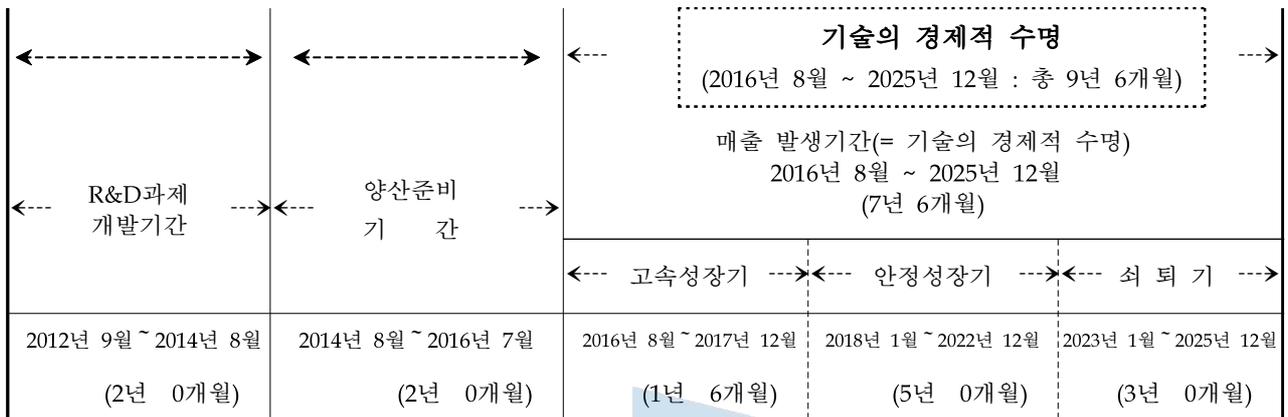
구 분			사업화 후 판매계획				4년 평균
			(2015)년 (사업화년도)	(2016)년 (사업화후 1년)	(2017)년 (사업화후 2년)	(2018)년 (사업화후 3년)	
제품1 (초음파 금속 용접기)	투자 계획	시설(시설명)	생산설비:800 기타:120	생산설비:200 기타:100			
		운전자금	9500				
	판매 계획	국 내	600	1200	1800	2400	1725
		해 외		3000	6000	12000	5250
		계	600	4200	7800	14400	6750
제품2 (제품명)	투자 계획	시설(시설명)					
		운전자금					
	판매 계획	국 내					
		해 외					
수입대체효과(백만원)			1200	2400	3600	4800	
고용 창출(명)			7	6	7	10	

2. 향후 계획

가. 사업화계획

- (1) 본 사업은 R&D 수행기간을 24개월로 잡았으며, 이 기간 동안 초음파 용접 시스템에 대한 요소기술을 확보하고, 초기 시제품을 제작하여 실증테스트를 통해 제품화 가능성을 확보함.
- (2) 2015년 이후 본격 사업화단계로써 정부의 연료전지 보급사에 참여하는 방안을 모색하고, 자체 고객확보를 위해 전시회 참가 및 홍보활동을 지속적으로 전개해 나갈 예정임

나. 기술개발 단계별 소요기간



다. 양산준비기간의 투자금액

(단위 : 백만원)

구 분	양산준비 기간(기간 : 5년)				
	1차년(2015년)	2차년(2016년)	3차년(2017년)	4차년(2018년)	5차년(2019년)
시설자금					
건물, 구축물					
기계장치	800	200	400	200	200
기타 자본적 지출	120	100	80	50	50
운전자금	1,500	2,800	3,880	5,850	7,500
계	2,420	3,100	4,360	6,100	7,750

※ 미상각자산(토지 등)은 기재 생략

상세근기							
(가) 시설자금							
		인건비비용(인원수)					
		2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	계
(주)누리기술	생산라인	500	100	200	100	100	1,000
	품질검사	200	50	100	50	20	420
	기타	100	50	100	50	80	380
세홍정밀	장비구입	200		200	100	100	600
	품질검사	100	50	50		100	300

기업	구분	인건비비용(인원수)					계
		2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	
	기타	50			100	50	200

(나) 운전자금

1. 인건비 (단위 : 백만원)

기업	구분	인건비비용(인원수)					계
		2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	
(주)누리기술		1,125(25)	1,350(30)	1,620(36)	1,935(43)	2,160(48)	8,190
세홍정밀		270(6)	315(7)	360(8)	450(10)	540(12)	1,935

2. 원자제구입비 (단위 : 백만원)

기업	구분	원자제 구입비(생산수량)					계
		2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	
(주)누리기술		138(20)	966(140)	1,794(260)	3,312(480)	4,830(700)	11,040
세홍정밀		22(20)	154(140)	286(260)	528(480)	770(700)	1,760

3. 마케팅비 (단위 : 백만원)

구분	년도	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	계
		online	120	100	80	80	
offline		80	80	80	80	80	400

- online :
 - 제품 키워드 등록비 : google 등 2개
 - 동영상제작비 : U-TUBE 등
 - 홈페이지 제작비
- offline :
 - 출장비
 - 카타로그 제작비 등

4. R&D 투자자금 (단위 : 백만원)

구분	년도	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	계
(주)누리기술		220	250	200	200	250	1120
세홍정밀		80	50	80	80	100	390

라. 초음파 용접기의 마케팅 특징 분석

- (1) 초음파 용접기의 시장은 선박, 자동차조립에서 스마트폰 조립까지 다양하게 존재하며 금속의 접합부터 비철금속 플라스틱 등 다양한 형태의 접합에 사용될 수 있다. 그러나 40kHz/1kW의 제품은 초음파 용접기 중 가장 상위의 제품군에 위치하며 금속 또는 비철금속을 접합에 사용되어진다.
- (2) 전기 전도성(전기선접합, 전기전자부품접합 등)이 있는 부분은 항상 접촉저항

이 문제가 되지만 초음파 용접기는 접합면이 균일하고, 세밀하여 접촉저항을 최소화 할 수 있는 특징이 있어 전기전도성 부품의 접합에 적합하다.

(3) 초음파 용접기는 주변 환경에 민감하다는 단점이 있다. 이것은 온도, 습도의 접촉면에 따라서 공진점이 틀어지게 되어 접합 품질이 떨어지는 현상이 있다는 것이다. 이것을 보완하기 위해서 기존의 제품은 자동튜닝기능이 있어 용접 전에 이것을 수행하고 용접을 하지만 용접 중에는 공진점이 틀어져 튜닝을 할 수 없다는 단점이 있다. 이에 반해 우리는 용접 중 자동으로 고속 튜닝을 할 수 있는 강점이 있어 차별화할 수 있다.

(4) 기구적으로 용접 대상체를 잡아주는 horn과 Anvil의 제작이 용접 대상체가 바뀔 때 따라 다시 설계가 되어져야 하고 단점이라면, 비교적 까다로운 구조라는 것이다.

특징	고객	기존제품	개발 POINT	홍보
금속용접가능 (이종접합)	전장, 배터리, 가전, 컴퓨터, 신재생에너지,소 형부품접합	horn과 Anvil 제작의 한계로 인해 cu-al,cu-fe,등 제약이 많아 상대적 폭이 좁음	용접대상체가 다양형상이어도, horn 과 anvil이구조가 바뀌어도 쉽게 튜닝 될수 있도록 제작가능	다양한 접합체에도 빠른시간에 대응할수있는 구조(horn과 anvil에 맞추어지는 자동튜닝 기술
접합부의 내부저항의 최소화	전기전자부품접 합,케이블접속	주로 케이블-컨넥터,케이 블 단자대에 한함	고주파(40kHz~50kHz)과 고정밀 서보제어의 통합제어로 최적응착알고리즘구 현	내부저항을 최소화 할수있는 통합제어 메카니즘
자동 튜닝 기능	가능고객 전체	작업 시작하기 전 에 수행	사용 중 환경이 바뀌어 질 수 있으므로 실시간으로 튜닝과 최적 알고리즘 수행	작업중 실시간으로 실시간으로 튜닝과 최적 알고리즘 수행함으로 항상 일정한 품질 유지가능
용접대상체 변경 용의	가능고객전체	용접대상체 변경이 자유롭못함	horn과 anvil이 바뀌어도 실시간 자동튜닝기능과 통합제어 메가니즘, 자동펌웨어 업데이트기능 추가	실시간 자동튜닝기능과 통합제어 메가니즘, 자동펌웨어 업데이트기능
제품 가격	가능고객전체	금속용접용 고주파(4kHz이상)초 음파 용접기는 대부분 외국산이어서	모듈화, 집적화, 양산화를 통한 저가격 실현	동급 외산에 비해 60%의 가격

		상당히 고가임		
고객지원 강화	가능고객전체	주로 외국제품및 부품으로 인한 대응의 한계 있음	horn, anvil의 web상의 설계지원 프로그램제작, 다양한 application 동영상지원	horn, anvil의 인터넷 설계툴지원, 다양한 application 동영상을 인터넷에서 지원

마. 사업화 계획 및 전략

구분 단계	제 1 단계 (고객을 위한 시스템도입)	제 2 단계 (고객 대응 시스템 확립)	제 3 단계 (전력 수출)
기 간	2015년도	2016 ~ 2017	2018 ~ 계속
목 표	- A/S 제로 제품 개발 - 양산화 시스템 구축 - 고객 대응 체제 구축	- 고객 구축 완료 - 해외 Agent 확보 - 온라인 서비스 체제 구축	- 양산 안정화 품질확보 - 해외 홍보 강화 - 제품 다변화

(1) 목표



- (가) 세계시장
- (나) 철저한 고객대응 서비스
- (다) A/S 제로
- (라) 손쉬운 SETUP

(2) 단계별 전략

(가) 제1단계 계획(고객을 위한 시스템 도입 단계)

- ① 시작 첫 해인 2015년에 국내 업체를 대상으로 샘플 제품판매를 수행하여 현장에서 발생하는 상황들을 Monitoring하여 지속적인 제품개발과 제품의 신뢰성을 확보할 것임. (특히 '제로 A/S')
- ② 양산화가 가능한 형태의 생산시스템 구축할 것임.
- ③ 해외시장 확보를 위해 현지 Agent가 필요하나 짧은 시간에 확보하기 쉽지 않고 비용도 많이 필요한 관계로 인터넷을 통한 판매망을 구축할 것임.
- ④ 수출전략을 위해 개발을 지속적으로 수행할 것임.

(나) 2단계 계획 (고객 대응 시스템 확립 단계)

- ① 2016부터 시작하며 본격적인 해외 시장 개척을 하는 단계로 해외 거점

Agent를 확보할 것임.(일단 지리적으로 가까운 중국, 일본, 대만 등)

- ② 해외 고객에 대응할 수 있는 ‘해외고객지원팀 ‘을 구성하고 1단계에서 개발된 고객 대응 서비스 시스템을 교육 훈련할 것임.
- ③ 제품에서 발생된 기술적 문제들을 분석하고 해결하는 전담부서를 운영하여 자료를 수집하고 DB화 고객 대응 매뉴얼을 upgrade 시키는 시스템을 확립할 것임.

(다) 3단계 계획(전력 수출 단계)

- ① 제품생산의 안정화와 생산성을 향상시키기 위한 노력을 한다.
- ② 해외 전시회에 적극적으로 참가 하여 홍보한다.
- ③ 구글 등 대형 온라인업체에 키워드등록을 지속적으로 하고 관리한다.
- ④ 플라스틱, 필름제품 등 다양한 제품개발



주 의



1. 이 보고서는 중소기업청에서 시행한 중소기업 기술개발사업의 기술개발 보고서이다.
2. 이 기술개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 중소기업청에서 시행한 중소기업 기술개발지원사업의 기술개발결과임을 밝혀야 한다.