



# 공학석사 학위논문

# 고속 대전류 Super\_TIG용접 공정개발에 관한 연구



# 2015년 2월

부경대학교대학원

신소재시스템 공학과

박 정 현



# 공학석사 학위논문

# 고속 대전류 Super\_TIG용접 공정개발에 관한 연구

지도교수 조 상 명





부경대학교대학원

신소재시스템 공학과

박 정 현



# 박정현의 공학석사 학위논문으로 인준함

2015년 2월



Collection @ pknu

목 차

Abstract ······ i 제 1 장 서 론 ·································	iii 1 1 4
제 2 장 이론적 배경 ····· 2.1 TIG(tungsten inert gas) 용접 ····· 2.1.1 GTAW의 원리 ····· 2.1.2 GTAW의 장단점 ····· 2.2 GTAW 용접기 및 재료 ····· 2.2.1 용접기 ······	5 5 6 7 8
2.2.2 용접토치 ····································	10 11 13 16 17 22
제 3 장 Super_TIG 고속용접에서 용접속도 변경 실험	23 23 23 23 25 28 33
제 4 장 Super_TIG 고속용접에서 실드가스 변경 실험	34 34 34 34 35

Collection @ pknu

- i -

4.1.4 실험결과 및 고찰 4.2 결언	37 45
제 5 장 결론	46
참고문헌	47





# A study on Process Development of high speed & high current Super\_TIG welding

#### Jung-Hyun, Park

Dept. of Materials System Engineering, The Graduate School, Pukyoung National University

#### Abstracts

TIG welding is today one of the most popular arc welding process because of its high quality welds and low equipment costs. This is necessary welding process in industry fields. But TIG welding has limited application because of low productivity.

Even if welding productivity increases with welding speed and current, this strategy is limited by the appearance of defects such as undercut and humping bead due to a very depressed molten metal by arc pressure at high current and high speed. Humping in one of the most common defects that limit welding productivity. Most industry fields needed high-current, high-speed welding do not trying to TIG welding. Therefore We need a study on application methodology of high current, high speed TIG welding.

The purpose of this study is to develop high-speed welding process by Super\_TIG welding that overcame TIG productivity. High-speed Super\_TIG welding Experiment of this study was proceed on thickness 16mm SS400. Deposited area was fixed  $20 \text{mm}^2$ . Welding speed was changed from 60cm/min to 130cm/min. Also Shield gas was changed Ar 100%, Ar-He 30%, Ar H<sub>2</sub> 3%.

Consequently, this study obtained good bead appearance and welds by Welding speed 130cm/min, Deposition rate 12.5kg/hr, deposited area 20mm<sup>2</sup>.

Key Words : GTAW, TIG, High speed welding, Super\_TIG, High current, Shield gas, Humping, Under cut, Deposition rate



## 제1장서론

## 1.1 연구배경 및 필요성

TIG 용접은 용접부의 기계적 성질이 우수하고, 내부식성이 우수하며 작업환 경이 청결하다는 장점이 있지만, 생산성이 낮다는 큰 문제점이 있다.<sup>1)</sup> Table 1.1은 실제 산업현장에서 TIG 용접 조건이다.

TIG 용접의 생산성을 높이기 위해서는 전류를 높이고 용접속도를 증가 시켜 야 하지만 대전류를 사용하게 되면 아크 압력에 의한 강한 아크력으로 용융지 표면에 심한 압입현상이 생기며, 언더컷, 험핑비드, 그리고 분리비드와 같은 용 접결함이 발생하게 된다.<sup>2-4)</sup> 또한, 용착속도를 높여 생산성을 향상시키기 위해 서는 와이어 송급속도를 높여야 하지만 1.0 또는 1.2mm의 일반적인 가는 와이 어를 사용할 경우 높은 와이어 송급속도로 인해 아크열을 흡수할 수 있는 시간 적 여유가 부족하므로 용가재가 용융되지 못하고 용융풀 밖으로 빠져나와 미용 융 와이어를 형성하게 되므로 연속적 용접공정이 방해되어 생산성이 감소한 다.<sup>6)</sup> Flg. 1.1은 실제 Cold TIG에서의 험핑 비드이다.



Fig.1.1 Humping bead on plate



기존의 Cold TIG 용접은 Fig.1.2에 나타난 바와 같이 용착속도가 최대 1Kg/hr로 생산성이 매우 낮기 때문에 고속용접 시 큰 용착단면적을 유지하면 서 용접을 할 수 없다.<sup>5)</sup> 이러한 TIG용접의 저생산성 문제를 해결하기 위한 방법으로 용가재 형상을 스트립으로 변경하여 아크의 열유속을 크게 받도록 변경시켜 생산성향상을 도모한 선행 연구가 이루어진 바 있다. 여기서 더 나아가 플라즈마 스트립 이론을 적용하여 스트립을 곡면으로 구부린 C-형 스트립이 고 안되었으며 동일 용접조건에서 Flat-형 스트립보다 용착속도가 증가하여 생산 정 증대가 이루어졌다. 위와 같은 C-형의 스트립을 쓰는 TIG용접을 Super\_TIG용접이라 하며 Super\_TIG용접을 통해 Cold TIG의 문제점이었던 대전류 영역에서의 아크압력과 아크력을 억제하면서 높은 용착속도로 용접을 진행 할 수 있었다.

따라서 대전류 Super\_TIG 용접을 적용하여 대전류 영역에서 큰 용착단면적 을 유지하면서 고속용접하여 생산성을 더욱 향상시키는 방향의 연구가 필수적 으로 진행되어야 한다.







Table.1.1 Welding condition of TIG field welding (arc length 3~5mm)

Wire	Ф 1.2mm / 330cpm
전류(A)	280
전압(V)	12
입열량(J/cm)	9,164
용착금속 용융효율(%)	15.27
용착금속1g당 입열량(J/g)	6,932



## 1.2 연구 목적 및 개요

대전류 TIG 고속용접의 획기적인 생산성 증대가 이루어진 Super\_TIG용접에 서 큰 용착단면적을 유지하면서 험핑비드와 언더컷 같은 결함이 없는 용접부를 유지하면서 고속용접이 가능한 공정이 필요하다.

본 연구의 목적은 대전류 TIG 고속용접의 획기적인 생산성 증대가 이루어진 Super\_TIG용접에서 큰 용착단면적을 유지하면서 용접속도를 증가하는 공정을 개발하는 것이다.

따라서 용접공정 조건 중 고속용접에 영향을 미치는 것으로 판단되는 용접속 도를 증가시키면서 전류, 송급속도를 용착단면적을 동일하게 유지하는 조건으로 변경하여 실드가스에 따른 변화를 확인하는 실험을 진행 하였다.





# 제 2 장 이론적 배경

#### 2.1 TIG(tungsten inert gas) 용접

가스 텅스텐 아크 용접(Gas Tungsten Arc Welding)은 Ar, He등과 같은 불 활성가스를 실드가스로 사용하면서 비소모성 전극인 텅스텐 전극과 모재사이에 서 발생시킨 아크열로 모재를 용융시켜 접합하는 용접법을 말한다. 실드가스로 는 모재와 텅스텐용접봉의 산화를 방지하기 위하여 불활성가스인 Ar이나 He 등을 사용하므로 (Tungsten Inert Gas) 용접으로도 부른다. 이 용접법은 모든 용접자세에 적용할 수 있으므로, 아크가 매우 안정되고 용접부 품질이 우수하 므로 산화나 질화 등에 민감한 재질의 용접 및 피복아크용접을 적용하기 곤란 한 경우에 사용된다. 그러나 가스메탈 아크용접에 비하여 용접속도가 느리므로 생산성은 낮다.

### 2.1.1 GTAW의 원리

GTAW는 비소모성 텅스텐 용접봉과 모재간의 아크열에 의해 모재를 용접하는 방법으로서 Fig. 2.1과 같이 용접부 주위에 불활성 가스(Ar, He)를 보호가 스로 사용하면서 용접하는 것이다.<sup>6)</sup>



Fig. 2.1 Schematic of GTAW

#### 2.1.2 GTAW의 장단점

1) 장점

GTAW는 용접 입열의 조정이 용이하기 때문에 박판 용접에 매우 좋다. 텅스 텐 전극봉이 비소모성이므로 용가재의 첨가 없이도 아크열에 의해 모재를 녹여 용접할 수 있고 거의 모든 금속의 용접에 이용할 수 있다. 그러나 용융점이 낮 은 금속 즉, 납, 주석 또는 주석의 합금 등의 용접에는 이용하지 않는다.

- ① 용접부의 기계적 성질이 우수하다.
- ② 내부식성이 우수하다.
- ③ 플럭스가 불필요하여 비철금속 용접이 용이하다.
- ④ 보호 가스가 투명하여 작업자가 용접상황을 잘 파악할 수 있다.
- ⑤ 용접 스패터를 최소한으로 하여 전 자세 용접이 가능하다.
- ⑥ 용접부 변형이 적다.

2)단점

TIG 용접은 일반적으로 SMAW, SAW, GMAW 등의 방법으로 쉽게 용접이 가능한 경우에 이들 용접방법과는 비용에 있어서 경쟁이 안 될 정도로 전체의 가격 상승을 가져오는 경우가 있는데 그것은 다음과 같다.

- ① 소모성 용접봉을 쓰는 용접 방법보다 용접 속도가 느리다.
- ② 용접 잘못으로 텅스텐 전극봉이 용접부에 녹아 들어가거나 오염될 경우 용접부가 취화되기 쉽다.
- ③ 부적당한 용접 기술로 용가재의 끝 부분이 공기에 노출되면 용접금속이 오염된다.
- ④ 불활성 가스와 텅스텐 전극봉은 다른 용접 방법과 비교해 볼 때 높은가격 이다.
- ⑤ SMAW와 같은 다른 용접 방법에 비해 용접기의 가격이 비싸다.



## 2.2 GTAW 용접기 및 재료

Fig. 2.2와 같이 전원(Power supply), 토치, 비소모성 텅스텐전극, 실드가스 공급을 조절하는 유량계로 이루어져 있으며 핫와이어의 경우 와이어 저항발열 장치가 추가된다.





2.2.1 용접기

현재 사용되고 있는 TIG 용접기 전원은 정전류 특성인 AC 또는 DC이다. 이 때 AC 또는 DC 전원의 선택은 요구되는 용접 특성 및 모재의 재질에 따라 좌 우된다. 예를 들어 Al함금과 같은 금속은 AC 전원으로 보다 쉽게 용접되는 반 면에, Al함금이외의 대부분의 금속은 DC 전원으로서 좋은 결과를 얻을 수 있 다. AC, DC 전원으로 용접할 때의 특성은 다음과 같다.

1) 직류 봉 마이너스(DCEN)

같은 크기의 용접봉으로도 높은 전류를 사용할 수 있기 때문에 용입이 깊고, 용접속도가 빠르고, 비드폭이 좁아진다. 직류 정극성(DC Straight Polarity)이 라고도 한다.

- 2) 직류 봉 플러스(DCEP)
  - 거의 사용하지 않고 특수한 경우 Al, Mg 등의 박판용접에 사용한다.
  - 용접봉의 발열량이 크기 때문에 용접봉 끝이 녹아내릴 염려가 있어서 같은 전류에서 DCEN의 용접봉보다 4배정도 직경이 큰 용접봉을 사용 한다.
  - ② 아르곤을 실드가스로 사용할 때 청정작용(Cleaning action)이 있다.
  - ③ Fig. 3.8과 같이 용입이 얕고, 비드폭이 넓다.

3) 교류(AC)

- ① 고주파 전원을 첨가하여 사용한다.
- ② 용입과 비드폭은 DCEN과 DCEP의 중간이다.



사 용 극 성	DCEN	DCEP	AC	
전자와 이온의 흐름 용입 현상	양 이온/이 이전자			
청 정 작 용	없다	있다	있다(DCEP의 50%)	
비- 새 여	70% 모재	30% 모재	50% 모재	
월 78 월	30% 용접봉	70% 용접봉	50% 용접봉	
용 입	깊고 좁다	얕고 넓다	중간	
용도	대부분 금속의용접	박판 용접	Al,Mg	
③ 청정작용은 DCEP일 때의 반 정도가 일어난다.				

C AN Z TH OL IN

Table 2.2 Comparison of bead shape according to the polarity



종류는 냉각 방법에 따라 공랭식과 수냉식의 두 가지가 있다. Fig. 2.3는 수 냉토치를 보여주고 있다.

가스컵(가스 노즐)의 크기는 사용하는 텅스텐 전극봉 직경의 4-6배 정도가 적당하며, 컵 사이즈가 작으면 과열되어 잘 깨지고, 너무 크면 실드가스 소모가 많다.



Fig. 2.3 Sectional view for TIG welding torch

1) 전극봉

각 용접에서 정확한 종류와 사이즈의 전극봉을 사용하는 것은 중요하며, 적 당한 전극봉으로 용접해야 만족할만한 결과를 얻는다.

Table 2.3은 텅스텐 종류에 대한 특징과 사용전원을 나타내고 구분은 보통 텅스텐 전극의 끝단의 색으로 구분할 수 있다.

종 류	구분 색깔 (Color code)	사용전원	특 성
순 텅스텐	초록(green)	교류 고주파	가격이 싸고, 비교적 낮은 전류를 사용하는 용접에 이용한다.
1% 토리아 텅스텐 (thoria tungsten)	노랑(yellow)	DCEN 또는 DCEP	순 텅스텐보다 비싸지만 수명이 길고, 전류 전도성이 좋다.
2% 토리아 텅스텐	빨강(red)	DCEN 또는 DCEP	1%보다 수명이 길고, 주로 항공기 부품 같은 박판 정밀 용접에 사용한다.
지르코니아 텅스텐 (zirconia tungsten)	갈색(brown)	교류 고주파	텅스텐보다 수명이 길고, 주로 교류 용접에 이용한다.

Table 2.3 Classification of tungsten electrode



#### 2) 보호 가스(Shield gas)

주로 아르곤과 헬륨을 많이 사용하며, 각각의 특징은 Table 2.4와 같다.

특징	아르곤 <b>(Argon)</b>	혤륨(Helium)
열적 핀치력	낮다.	높다.
아크 전압	낮다.(열의 발생이 적다)	높다.(열의 발생이 많다)
아크 발생	헬륨보다 쉽다.	아르곤보다 어렵다.
열영향부(HAZ)	헬륨보다 넓다.	아르곤보다 좁다.
가스 소모량	적다.(분자량 40)	많다.(분자량 4)
아크 안정성	좋다.	아르곤보다 나쁘다.
모재 두께	박판에 좋다.(열의 발생이 적다)	후판에 좋다. (열의 발생이 많다)
청정작용	있다.(DCEP, AC)	없다.
용입(Penetration)	얕다.	깊다.
기타	수동용접에 좋다.	자동용접에 좋다.
	AUA	

Table 2.4 Characteristic of Ar and He

혼합가스 : 헬륨(25% 또는 50%)과 아르곤(75% 또는 50%)을 혼합한 가스는 순 아르곤일 때보다 용입이 깊고, 아크 안정성은 순 아르곤일 때와 거의 같다.



## 2.3 TIG 고속용접 (High speed TIG welding)

TIG용접에서 생산성을 높이는 방법은 대전류로 고속용접을 적용해야 한다. 그러나 일반적인 수동 TIG 용접공정은 수동으로 용접할 경우 10~15cm/min의 용접속도 밖에 얻을 수 없기 때문에 GMA(Gas Metal Arc) 용접에 비해 그 적 용에 많은 한계를 갖고 있다. 하지만 TIG용접 공정은 GMAW 공정에 비해 고품 질의 용접부를 얻을 수 있으며 용접효율이 높은 많은 이점을 가지고 있다. 고 속용접은 주로 박판 lab-joint, Fillt joint, butt joint에 주로 사용되며 약 4~8mm<sup>2</sup>의 작은 용착단면적이 필요한 용접부를 빠른 용접속도로 용접하는데 사용된다. 고속용접은 용접속도가 빠르기 때문에 용착속도를 증가시키지 않으면 큰 용착단면적을 가지기 어렵다. 하지만 용착속도를 증가시키기 위해서는 전류 률 높이고 송급속도를 증가시켜된다. 하지만 일반 TIG용접에서는 대전류를 적 용하면 강한 아크력에 의해 언덕컷과 험핑비드와 같은 결함이 발생하여 용착속 도에 한계가 있다. 그래서 TIG용접은 저속용접에서는 큰 용착단면적을 가질 수 있으나 고속용접에서는 큰 용착단면적을 유지할 수가 없다. 그래서 현재는 위 와 같이 작은 용착단면적을 요구하는 분야에서 주로 사용되고 있다.

Fig.2.4와 Fig.2.5는 Shimada W.와 Savage W. F.가 정의한 TIG용접에서 전류와 용접속도에 따른 결함발생을 프로세스 맵화 시킨 것이다. 1~10cm/min 의 저속용접에서는 전류의 증가에 따라 비드의 결함이 없으나 용접속도 40cm/min이상의 영역에서는 전류가 증가하면 400A이상의 영역에서부터 언더 것과 험핑비드와 같은 결함이 발생한다는 것을 나타내고 있다. Fig.2.6은 K.Shinozaki의 Hotwire TIG 시스템의 결과이다. 일반 Cold TIG용접에 비해 약 2배정도의 용착속도인 3.6kg/hr의 용착속도를 가지고 있으며 용접속도는 300cm/min, 3.2mm<sup>2</sup>의 단면적을 나타내고 있다.





Fig.2.5 Process map for GTAW at atmospheric pressure

Collection @ pknu



Fig. 2.6 Results with Hotwire TIG system





## 2.4 TIG 용접의 용가재 송급속도에 따른 용가재투입열량

육성용접에 일반적으로 사용되는 1.2mm 와이어는 생산성을 높이기 위해서 와이어 송급속도를 높여야하지만 송급속도를 높이면 아크열을 흡수할 수 있는 시간적 여유가 부족해진다. 때문에 용가재 형상에 따른 아크열 흡수정도를 판 단하기 위해 1.2mm 와이어, 2.6mm 와이어, 5.3x1.0mm 스트립의 송급속도를 변경시켜 용가재투입열량을 계산하여 비교하였다.



Fig. 2.7 Simulation of heat input with travel speed

Fig.2.7은 송급속도의 변화에 따른 용가재투입열량을 나타내었으며 동일한 용 착단면적(18mm<sup>2</sup>)을 가지는 비드 형성 시 송급속도를 표시하였다. 송급속도가 증가 할수록 입열량은 지수 함수적으로 감소하며 열유속이 작용하는 면적이 증 가 할수록 용가재가 받는 입열량은 증가한다.



## 2.5 플라즈마 스트림의 법선면 도출

TIG Arc Plasma Stream은 용가재의 표면에 법선 방향으로 충돌했을 때 용 가재에 투입되는 열량이 가장 높다.

따라서 Fig.2.8과 같이 Strip 형상을 곡면으로 하면 용가재의 투입열량이 증 가할 것으로 판단된다. 여기서 Strip이 가지는 곡률은 아크 플라즈마 스트림 라 인의 법선면된다.



Fig. 2.8 TIG arc model by theory of plasma stream



다음은 아크 플라즈마의 형상을 함수로 표현하였다. 아크는 아래의 Fig.2.9와 같은 그래프와 같은 가우시안 분포형태를 가진다고 가정하면



아래 (2.1)와 같은 식이 나오게 되고 이때 f(r)값은 아크 표면의 높이가 된다.





다음은 아크 플라즈마 스트림의 함수에 Fig. 2.10의 스트림 라인 모식도의 라인의 최댓값에 맞추어 f(0)값을 조절하고 y=0일 때 r 값이 각각의 스트림 라 인의 값에 맞도록 σ 값을 변경하였고 그 값은 Table 2.5과 같으며 그 함수를 Fig. 2.11에 그래프로 표시해보았다.

11 7



Stream line	f(0) Value	σ Value	Equation
1	5.5	1.43	$f(r) = 5.5e^{-\left(\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)}$
2	5.5	1.27	$f(r) = 5.5e^{-\left(\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)}$
3	5.5	1.07	$f(r) = 5.5e^{-\left(\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)}$
4	5.5	0.83	$f(r) = 5.5e^{-\left(\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)}$
5	5.5	0.48	$f(r) = 5.5e^{-\left(\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)}$

Table 2.5 F(0) value and  $\sigma$  value of stream line



Fig. 2.11 Functional schematic of stream line in arc plasma

Collection @ pknu

다음은 플라즈마 스트림라인의 각 좌표에서 법선 방정식을 계산하고 y축과 ⑤번 스트림라인의 법선 방정식의 교점을 계산한다. 그리고 y축과 ⑤번 스트림 라인 사이의 같은 거리를 만족하는 좌표를 계산하고 위의 과정을 ⑤ → ④→ ③ → ② → ① 순서로 각 스트림라인 사이의 같은 거리를 만족하는 좌표를 획 득한다. 이후 각 스트림 라인의 법선 방정식의 좌표와 스트림라인 사이의 점을 연결하면 Fig. 2.12과 같은 아크 플라즈마 스트림라인의 법선면이 나오게 된다. Table 2.6은 각 스트림라인에서 계산된 법선 방적식이다.

Stream line	법선 기울기	법선 기울기 법선 절편	
1	1.55	1.88	y=1.55x+1.88
2	1.26	1.81	y=1.26x+1.81
3	1.52	1.47	y=1.52x+1.52
(4)	2.25	0.82	y=2.25x+0.82
(5)	6.25	0.18	y=6.25x+0.18

Table 2.6 Equation of normal in stream line



Fig. 2.12 Normal face to stream line



#### 2.5.1 플라즈마 스트림 이론 관점에서 본 Super\_TIG

Fig.2.13는 Plasma stream 이론의 관점에서 본 wire와 C-type strip의 차이를 나타내고 있으며 wire는 표면이 볼록하기 때문에 plasma stream 입사가 곤란하 고 입사면적이 작으나 C-type strip은 Plasma stream이 표면전체에 직각으로 입 사되어 C-type strip의 용융효율을 극대화 할 수 있는 것을 나타내고 있다.



CH OL M



# 제 3 장 Super\_TIG Ar 100% 고속용접 실험

## 3.1 서언

본 실험은 3.5mm<sup>2</sup>단면적을 가지는 5.0x0.7mm C-형 스트립을 용착단면적을 20mm<sup>2</sup>으로 유지하면서 용접속도를 한계까지 증가시켜 최대용접속도를 실험하였다.

## 3.2 실험 재료 및 방법

#### 3.2.1 실험 재료

본 연구에서 모재는 두께 16mm SS400 탄소강 평판을 사용하였으며 용가재 는 5.0X0.7mm STS316L C-형 스트립을 사용하였다. C-형 스트립 단면 형상 은 Fig.3.1에 나타나 있으며 모재의 조성은 각각 Table 3.1에 나타내었다.

Table 3.1 Chemical composition of base metal

wt.%

	C	Si	Mn	Р	S	Cr	Ni	Мо
Mild steel	0.155	0.163	0.455	0.0071	0.009	0.019	0.0101	0.0006









#### 3.2.2 실험 방법

본 실험에서 사용된 기판은 SS400 소재의 평판을 사용하였으며 STS316L 재 질의 C-형 스트립을 용가재로 사용하였다. 평판은 테이블에 고정되고 용접 토 치는 HP6 로봇으로 고정되어 위치한다. 용접이 시작되면 로봇이 용접방향으로 토치를 이동시킨다. 용접속도는 로봇 팬던트에서 입력하며 60~130cm/min으로 변경하였다. 텅스텐 전극 팁은 150A이하의 전류영역에서는 뾰족 전극을 쓰는 것이 고속용접에 유리하지만 200A이상의 대전류 영역에서는 선단절단전극을 쓰는 것이 유리하므로<sup>1)</sup> 선단절단전극을 사용하였다. Table 3.2는 Super\_TIG 고속용접 조건을 나타내었고 전류 및 전압의 측정은 Fig.3.3의 모니터링 시스템 을 통해 계측하였다. 실험에서 용접 전원은 Fig.3.2의 Powwel DC TIG 600EP를 사용하였고 Fig.3.3의 Super\_TIG system을 사용하였다.







Fig.3.2 Powwel DC 600EP



Fig.3.3 Super\_TIG system



Fig.3.4 Welteq TIG monitoring system

	Filler metal	C-strip (5.0mm X 0.7) STS 316L				
	Base metal	SS400				
	Welding type			TIG C	W	
Fixed	Shield gas({/min)		Ar	<b>100%</b> 3	35l/min	
-	Arc length(mm)			5		
	Deposition area(mm2)			20		
	progressive angle(0)	5				
	Welding speed(cm/min)	60	70	80	90	100
	Feeding rate(cm/min)	343	400	457	514	571
	Deposition rate(kg/hr)	5.8	6.7	7.7	8.6	9.6
Varied	Current(A)	385	425	460	490	526
-	Voltage(V)	21.3	22.3	23.6	24.5	25.8
	Heat input(kJ/mm)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
			S			
	13		3			

A AN ST CH OL IN

Table 3.2 Welding condition for Super\_TIG welding with Ar 100%

## 3.3 실험 결과 및 고찰

Table 3.3은 Super\_TIG 고속용접에서 실드가스 Ar 100%일 때 용착단면적 20mm<sup>2</sup>으로 유지하면서 용접속도변화에 따른 비드외관과 횡단면을 나타내었고 비드형성 유무를 판단하였다.

Welding speed (cm/min)	Deposition rate (kg/hr)	Bead appearance	Corss section	비드 형성
60	5.8	MONA	00	о
70	6.70			0
80	7.7			Δ
90	8.6			х
100	9.6		III.	х

Table 3.3 Bead appearance and cross section by Ar 100% Super\_TIG





Symbol	Meaning	
а	Bead width	비드의 fusion line – fusion line 연결선의 길이
b	Max. Bead height	모재에서 부터 비드까지 최대 높이
с	Penetration area	모재용입 면적
c/a	Avg. penetration	모재용입 면적 / 비드폭
		UNA/ N

# Fig.3.4 Bead height by welding speed



Fig.3.5 Bead height by welding speed



Fig.3.7 Bead penetration by welding speed







Table 3.3의 용접조건으로 동일한 모재 위에 실드가스 Ar 100%로 고속용접 을 한 결과, 용접속도 80cpm까지 비드를 형성 시켰으나 80cpm에서는 불안정 한 비드외관을 가지고 있으며 90cpm이상의 용접속도에서는 분리비드와 같은 결함이 발생하였다. 빠른 용접속도로 인해 용융풀이 아크력에 의해 밀려났다가 빠르게 응고하여 분리비드와 같은 결함이 발생하였다. 실드가스 Ar 100% 일 때 안정적인 비드를 형성하는 최대 용접속도 70cpm, 용착속도 6.7kg/hr 으로 나타났다. Fig.3.4은 Table 3.3의 비드 횡단면의 측정방식을 나타낸 것이다. Fig 3.5는 용접속도에 따른 비드높이를 나타낸 그래프이다. 비드를 형성한 용접 속도 60~80cpm의 비드의 횡단면을 측정한 것이며 모재에서 비드까지 가장 높 은 부분의 높이를 측정한 것이다. 그 결과 용접속도가 증가할수록 비드높이가 증가하는 경향이 나타났다. T. Kannan, N. Murugan의 논문에서 나타난 FCAW 클래딩의 전류변경에 따른 비드폭 영향 그래프<sup>70</sup>와 Mohamed Abu Aesh의 GTAW 비드치수 최적화 논문에서 나타난 전류증가에 따라 비드폭이 증가 결과<sup>8)</sup>와는 다른 경향이고 위 실험은 용접속도 증가로 인해 용융풀이 응고 하는 속도가 빠르기 때문에 비드가 퍼지는 시간이 짧은 것 때문이다.. Fig. 3.6 는 용접속도에 따른 비드폭을 나타낸 것으로 용접속도 60~80cpm의 비드횡단 면을 측정하였다. 용접속도가 증가할수록 비드폭은 감소하며 Fig.3.5과 같이 응 고속도가 빠르기 때문에 비드가 퍼지는 시간이 짧은 것 때문이다. Fig.3.7은 용 접속도에 따른 평균 용입을 나타낸 것으로 용접속도 60~80cpm의 비드횡단면 을 측정하였다. 용접속도가 빨라질수록 평균 용입은 낮아지는 경향이 있으며 모재에 전달되는 입열량은 Fig.3.8에서 나타내는바와 같다.

CH OL Y



## 3.4 결언

Super\_TIG Ar 100% 고속용접 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Super\_TIG Ar 100% 고속용접을 용착단면적 20mm<sup>2</sup>을 유지하면서 할 때 용착속도 6.7kg/hr, 용접속도 70cpm까지 안정적인 비드를 얻을 수 있으며 80cpm 이상의 속도에서는 분리 비드와 같은 결함이 발생하였다. 이것은 일반 TIG 용접의 6.7배 Hot TIG 용접의 2배에 해당하는 용착속도로 예상되므로 TIG 고속용접의 획기적인 생산성 증대가 이루어진 것을 확인하였다. 이는 C-형 의 용가재가 기존의 와이어 타입의 용가재보다 용가재 투입열량이 높은 형상이 기 때문이다.

2) 용접속도가 증가함에 따라 비드높이는 증가하고 비드폭과 용입은 감소하는 경향을 나타내었다. 용접속도가 증가하면 용융풀이 응고하는 속도가 빨라지게 되어 비드가 넓게 퍼지기 전에 응고하여 비드폭은 감소하고 비드높이가 높아지 게된다.





# 제 4 장 실드 가스에 따른 Super\_TIG 고속용접 비교실험

#### 4.1 서론

#### 4.1.1 연구배경 및 필요성

기존의 일반 TIG 용접에서는 실드가스로 Ar 100%를 주로 이용한다. Dong-Soo Oh 등의 논문에서와 같이 He와 Ar의 열유속을 비교해봤을 때 아 크중심에 열유속이 집중되는 Ar과 달리 He은 열유속이 아크 가장자리로 퍼지 는 형상을 취하고 있는 것과<sup>9)</sup>, R. W. Niles 등의 논문에서 나타난 바와 같이 Ar보다 He의 아크 전압이 높아 입열량이 커지게 되어 비드가 더 넓고 안정적 으로 형성된 것<sup>10)</sup>에 따르면 실드가스 조성에 따라 고속용접의 특성이 다르며 Ar-He 믹스가스를 사용했을 때 Ar 100%보다 높은 속도로 용접할 수 있다고 알려져 있다. 따라서 Super\_TIG 용접에서 He믹스 가스와 H<sub>2</sub>믹스 가스를 이용 해 Ar 100% 가스보다 높은 용접속도를 연구할 필요가 있다.

#### 4.1.2 연구목적 및 개요

본 연구의 목적은 Super\_TIG 고속용접에서 He믹스와 H<sub>2</sub>믹스 실드가스에 따 른 고속용접 특성에 대해 비교하는 것이다.

따라서 용접공정 조건 중 고속용접에 영향을 미치는 것으로 판단되는 용접속 도를 증가시키면서 전류, 송급속도를 용착단면적을 동일하게 유지하는 조건으로 변경하여 실드가스에 따른 변화를 확인하는 실험을 진행 하였다.



#### 4.1.3 실험 재료 및 실험 방법

본 실험에서 사용된 기판은 SS400 소재의 평판을 사용하였으며 STS316L 재 질의 C-형 스트립을 용가재로 사용하였다. 평판은 테이블에 고정되고 용접 토 치는 HP6 로봇으로 고정되어 위치한다. 용접이 시작되면 로봇이 용접방향으로 토치를 이동시킨다. 용접속도는 로봇 팬던트에서 입력하며 60~130cm/min으로 변경하였다. 텅스텐 전극 팁은 150A이하의 전류영역에서는 뾰족 전극을 쓰는 것이 고속용접에 유리하지만 200A이상의 대전류 영역에서는 선단절단전극을 쓰는 것이 유리하므로<sup>10)</sup> 선단절단전극을 사용하였다. Table 4.1는 Super\_TIG 고속용접에서 Ar-He 30% 실드가스의 조건 나타내었다. Table 4.2는 Super\_TIG 고속용접에서 Ar-H<sub>2</sub> 3% 실드가스의 조건 나타내었다. 실험에서 용접 전원은 Fig.3.2 Powwel DC TIG 600EP을 사용하였고 Fig.3.3의 Super\_TIG system을 사용하였다.

Fixed	Filler metal		C-strip (5.0mm X 0.7) STS 316L						
	Base metal		55400						
	Welding type		П CW						
	Shield gas({/min)		Ar-30% He 35ℓ/min						
	Arc length(mm)		5						
	Deposition area(mm2)		20						
	progressive angle(0)		5						
Varied	Welding speed(cm/min)		70	80	90	100	110	120	
	Feeding rate(cm/min)		400	457	514	571	629	686	
	Deposition rate(kg/hr)		6.7	7.7	8.6	9.6	10.6	11.5	
	Current(A)		425	460	490	526	550	579	
	Voltage (V)		23.5	24.6	25.8	26.6	27.7	29.1	
	Heat input(kJ/mm)		0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8	

Table 4.1 Welding condition for Super\_TIG welding with Ar-He 30%

Fixed	Filler metal		C-strip (5.0mm X 0.7) STS 316L							
	Base metal	SS400								
	Welding type		пд сw							
	Shield gas(l/min)	Ar-H2 3% 35{/min								
	Arc length(mm)		5							
	Deposition area(mm2)		20							
	progressive angle(0)		5							
Varied	Welding speed(cm/min)		70	80	90	100	110	120	130	
	Feeding rate(cm/min)		400	457	514	571	629	686	743	
	Deposition rate(kg/hr)		6.7	7.7	8.6	9.6	10.6	11.5	12.5	
	Current(A)		425	460	490	526	550	579	600	
	Voltage (V)	29.0	30.1	30.8	31.2	31.5	31.8	31.9	32.5	
	Heat input (kJ/mm)	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	
	A B H S	4	II	/						

Table 4.2 Welding condition for Super\_TIG welding with Ar-H $_2$  3%



#### 4.1.4 실험 결과 및 고찰

Table 4.3은 Super\_TIG 고속용접에서 실드가스 Ar-He 30%일 때 용착단면 적 20mm<sup>2</sup>으로 유지하면서 용접속도변화에 따른 비드외관과 횡단면을 나타내 었고 비드형성 유무를 판단하였다. Table 4.34 Super\_TIG 고속용접에서 실드 가스 Ar-H<sub>2</sub> 3%일 때 용착단면적 20mm<sup>2</sup>으로 유지하면서 용접속도변화에 따른 비드외관과 횡단면을 나타내었고 비드형성 유무를 판단하였다.

Welding speed (cm/min)	Deposition rate (kg/hr)	Bead appearance	Corss section	비드 형성
60	5.8	HONE		0
70	6.7	Contractor		0
80	01.1	Care and		О
90	8.6			0
100	9.6			0
110	10.6	देव मा श्रे		Δ
120	11.5	and the second		х

Table 4.3 Bead appearance and cross section by Ar-He 30% Super\_TIG



Welding speed (cm/min)	Deposition rate (kg/hr)	Bead appearance	Corss section	비드 형성		
60	5.8			0		
70	6.7			0		
80	7.7			0		
90	8.6			0		
100	9.6			0		
110	10.6	- deale learner of		0		
120	11.5			0		
130	212.5			0		
A CH OL IN						

Table 4.4 Bead appearance and cross section by Ar-H<sub>2</sub> 3% Super\_TIG





Fig.4.2 Bead width by welding speed



Fig.4.4 Heat input by welding speed

# Deposition rate(kg/hr)



Fig.4.6 Deposition rate by Each TIG welding







Table 4.3과 Table 4.4의 용접조건으로 동일한 모재 위에 실드가스 Ar-He 30%와 Ar-H<sub>2</sub> 3%로 고속용접을 한 결과, Ar-He 30% 실드가스는 용접속도 110cpm까지 비드를 형성 시켰으나 110cpm에서는 불안정한 비드외관을 가지 고 있으며 120cpm이상의 용접속도에서는 험핑비드와 같은 결함이 발생하였고 Ar-H<sub>2</sub> 3% 실드가스는 용접속도 130cpm까지 비드를 형성 시켰으며 130cpm 에서도 안정한 비드외관을 가지고 있다. Ar-He 30% 실드가스는 빠른 용접속 도로 인해 용융풀이 아크력에 의해 밀려났다가 빠르게 응고하여 분리비드와 같 은 결함이 발생한 것과 용접속도 100cpm에서부터 아크가 날린 것에 의한 것 이다. Ar-He 30% 실드가스는 안정적인 비드를 형성하는 최대 용접속도 100cpm, 용착속도 9.6kg/hr 였고 Ar-H<sub>2</sub> 3% 실드가스는 현재 용접기의 용량 으로는 최대 용접속도 130cpm, 용착속도 12.5kg/hr 로 확인하였다. Fig.3.0은 Table 4.3과 Table 4.4의 비드 횡단면의 측정방식을 나타낸 것이다. R. W. Niles 등의 논문에서 나타난 바와 같이 Ar보다 He과H2의 아크 전압이 높아 입 열량이 커지게 되어 비드가 더 넓고 안정적으로 형성되었다.<sup>10)</sup> Fig 4.1은 용접 속도에 따른 비드높이를 가스별로 나타낸 그래프이다. 비드를 형성한 조건에서 의 비드의 횡단면을 측정한 것이며 모재에서 비드까지 가장 높은 부분의 높이 를 측정한 것이다. 그 결과 용접속도가 증가할수록 비드높이가 증가하는 경향 이 나타났다. 이는 용접속도 증가로 인해 용융풀이 응고하는 속도가 빠르기 때 문에 비드가 퍼지는 시간이 짧은 것으로 인해 나타나는 것이다. Fig. 4.2는 용 접속도에 따른 비드폭을 나타낸 것으로 비드를 형성한 조건에서의 비드 횡단면 을 측정하였다. 용접속도가 증가할수록 비드폭은 감소하며 Fig.4.1과 같이 응고 속도가 빠르기 때문에 비드가 퍼지는 시간이 짧은 것 때문이다. Fig.4.3은 용접 속도에 따른 평균 용입을 나타낸 것으로 비드를 형성하는 조건에서의 비드횡단 면을 측정하였다. 용접속도가 빨라질수록 평균 용입은 낮아지는 경향이 있으며 모재에 전달되는 입열량은 유사하나 용접속도가 증가 영향 때문이고 실드가스 Ar-He 30%의 경우 용접속도 100cpm과 110cpm에서는 아크날림에 의해서 용 입이 깊게 형성된 것이다. 그리고 Ar-H<sub>2</sub> 3% 실드가스는 용접기 용량의 최대치 까지 용접이 가능했고 그 이상의 영역도 가능할 것이다.



Fig. 4.5는 Hot TIG 및 Super\_TIG의 고속용접 시 최대 용착속도를 비교한 것이고 Fig. 4.6과 Fig. 4.6은 Fig.4.5의 최대용접속도에서 최대용착속도를 바 탕으로 실제 용접선길이 520m, 용착단면적 20mm<sup>2</sup>의 V-Groove 맞대기용접에 적용했을 때의 비드 모식도이다. Fig.4.6d의 Super\_TIG 고속용접으로 V-Groove 적용하였을 때 1Pass로 5시간만에 용접이 가능하고, Fig.4.7의 Hot TIG 고속용접을 적용하였을 때는 6pass로 17시간이 걸린다. 따라서 Super\_TIG 고속용접을 적용 했을 때가 약 3.4배 빠른 생산성을 가지고 고속용 접을 할수 있는 것을 알 수 있다.





## 4.2 결언

실드가스에 따른 Super\_TIG 고속용접 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었 다.

1) 실드가스에 따라 Super\_TIG 고속용접을 용착단면적 20mm<sup>2</sup>을 유지하면서 할 때 실드가스 Ar-He 30%는 용착속도 9.6kg/hr, 용접속도 100cpm까지 안 정적인 비드를 얻을 수 있고 실드가스 Ar-H<sub>2</sub> 3%는 용착속도 12.5kg/hr, 용접 속도 130cpm까지 안정적인 비드를 얻을 수 있었다.

 용접속도가 증가함에 따라 비드높이는 증가하고 비드폭과 용입은 감소하는 경향을 나타내었다. 용접속도가 증가하면 용융풀이 응고하는 속도가 빨라지게 되어 비드가 넓게 퍼지기 전에 응고하여 비드폭은 감소하고 비드높이가 높아지 며 모재가 받는 열량의 폭이 작아지기 때문인 것이다.

3) 실드가스 Ar-He 30%는 Hot TIG 용접의 약 2.6배, Ar-H<sub>2</sub> 3%는 Hot TIG 용접의 3.5배의 용착속도로 고속용접이 가능하고 실드가스Ar-H<sub>2</sub>와 HOt TIG용 접의 최대용접속도로 용접선 길이 520m, 용착단면적 20mm<sup>2</sup>의 V-Groove 맞 대기용접에 적용했을 때 Super\_TIG 고속용접은 1Pass로 5시간만에 용접이 가 능하고, Hot TIG 고속용접은 6pass로 17시간이 걸린다. 따라서 Super\_TIG 고 속용접을 적용 했을 때가 약 3.4배 빠른 생산성을 가지고 고속용접을 할수 있 는 것을 알 수 있다TIG 고속용접의 획기적인 생산성 증대가 이루어진 것을 확 인하였다. 이는 C-형의 용가재가 기존의 와이어 타입의 용가재보다 용가재 투 입열량이 높은 형상이기 때문이다.



## 제 5장 결론

본 연구는 TIG용접의 낮은 생산성을 극복하는 오목한 형태의 C-형 스트립을 사용한 대전류 600A의 Super\_TIG 용접에서 큰 용착단면적을 유지하면서 고속용 접하여 생산성을 더욱 향상시키는 공정에 대한 실험을 진행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1)실드가스에 따라 Super\_TIG 고속용접을 용착단면적 20mm<sup>2</sup>을 유지하면서 할 때 실드가스 Ar 100%는용착속도 6.7kg/hr, 용접속도 70cpm까지 안정적인 비드를 얻을 수 있고 실드가스 Ar-He 30%는 용착속도 9.6kg/hr, 용접속도 100cpm까지 안정적인 비드를 얻을 수 있고 실드가스 Ar-H<sub>2</sub> 3%는 용착속도 12.5kg/hr, 용접속도 130cpm까지 안정적인 비드를 얻을 수 있었다.

2)Super\_TIG용접을 쓰면, 실드가스 Ar 100%는 Hot TIG 용접의 2배, 실드가 스 Ar-He 30%는 Hot TIG 용접의 약 2.6배, Ar-H<sub>2</sub> 3%는 Hot TIG용접의 3.5 배의 용착속도로 고속용접에 가능한 것을 확인하였고 TIG 고속용접의 획기적인 생산성 증대가 이루어진 것을 확인하였다. 이는 C-형의 용가재가 기존의 와이 어 타입의 용가재보다 용가재 투입열량이 높은 형상이기 때문이다.

3)Super\_TIG용접에서도 일반 TIG와 마찬가지로 용접속도가 증가함에 따라 비 드높이는 증가하고 비드폭과 용입은 감소하는 경향을 나타내었다. 용접속도가 증가하면 용융풀이 응고하는 속도가 빨라지게 되어 비드가 넓게 퍼지기 전에 응고하여 비드폭은 감소하고 비드높이가 높아지며 모재가 받는 열량의 폭이 작 아지기 때문이다.



# 참 고 문 헌

1. Sang-Myung Cho : A Study on the Bead Stability in High Speed TIG Welding. KOSME, 18-3(1994)

2. David W. Gandy, Richard Smith, Shane J. Findlan, Wylie J. Childs : A better way to control GTA weld Dilution, Welding Design & Fabrication, August (1992) 41~43

3. P. W. Fuerschbach, G. A. Knorovsky : A study of melting efficiency in plasma arc and gas tungsten arc welding, Welding journal, October, 1991, 287~297

4. M.L. Lin and T.W. Eagar : Influence of Arc Pressure on Weld Pool Geometry. Welding Journal, 64-6(1985), 163s-169s

5. K. Hori, H. Watanabe, T. Myoga, K. Kusano : Development of hot wire TIG welding methods using pulsed current to heat filler wire research on pulse heated hot wire TIG welding processes, Welding International 2004 18 (6) p.456-468

6. Sang myung. Cho : Introducing Welding process, 2002, PP.16

10. Sang-Myung Cho : A Study on the Bead Stability in High Speed TIG Welding. KOSME, 18-3(1994)

7. T. Kannan, N. Murugan : Effect of flux cored arc welding process parameters on duplex stainless steel clad quality ; Journal of Materials Processing Technology 176 (2006) 230-239

8. Mohamed Abu Aesh : Optimization of Weld Bead Dimensions in GTAW of Aluminum-Magnesium Alloy ; Department of Mechanical Engineering, University of Bahrain 2007

9.Dong-Soo Oh : The Characteristics of Arc Pressure Distribution and Application to High Speed Welding by He mixing in TIG Welding, Department of Mechanical Engineering, The Graduate School, Pukyong National University 2005

10. R. W. Niles, C. E. Jackson : Weld Thermal Efficiency of the GTAW Process ; AWS Welding journal, 1975



# 학위과정 중 주요 학술지 게재 및 발표논문과 특허

1. 학술발표대회 발표논문

1) Strip TIG 클래딩 용접에서 비드겹침부 형상을 고려한 위빙과 펄스파형, 대한용접접합학회, 춘계학술발표대회 21013.5

2) TIG Cladding에서 플라즈마 Streamline을 고려한 곡면 Strip 형상에 관한 연구, 대한용접접합학회, 춘계학술발표대회 21013.5

 하중 전달형 십자 필릿 용접부에서 원가절감과 피로수명 확보를 위한 공정 개발, 대한용접 접합학회 추계학술발표대회, 2013.11.21.

4) TIG클래딩 공정에 대한 품질 모니터링기법의 개발, 대한용접 접합학회, 대 한용접 접합학회지,2013.12

5) 대전류 CS-TIG에 의한 후판 맞대기 용접의 생산성 향상, 대한용접접합학 회, 춘계학술대회, 2014.5

6) Application on the Circular Seam Butt Welding in Thinck Pipe of the CS-TIG Welding, International Conference of the International Institute of Welding, Journal of Welding and Joining, 2014.6

7) 대전류 Super\_TIG 용접에서 고속용접을 위한 연구, 대한용접.접합학회 추 계학술발표대회, 2014.11.19.



### 2. 특허

- 1) 티그 용접용 용가재 (10-2013-0098314)
- 2) TIG 용접용 용가재 성형송급장치 (10-2013-0098331)
- 3) 용접용 용가재 (10-2014-0052845)
- 4) 용접용 용가재 송급장치 (10-2014-0052785)
- 5) 용접용 용가재 예열장치 (10-2014-0052811)
- 6) 용접용 용가재 (10-2014-0052845)
- 7) 맞대기 용접용 시종단부 받침장치 (10-2014-0152145)





# 감사의 글

Collection @ pknu

2012년 7월 처음 Welding process Lab. 연구실에 들어와 석사과정을 졸업하는 2015년 지금 까지 어떻게 시간이 이렇게 빨리 지나갔는지 새삼 놀라움을 느끼고 있 습니다. 연구실에 들어와 석사과정을 졸업하는 약 2년 반이라는 시간동안 힘들고 즐 거운 순간이 이제는 추억이 되었습니다. 이제는 연구실에서도 어느 덧 선배가 되어 후배들에게 가르쳐 줄 것이 있다는 것과 석사과정 동안에 알게 된 많은 인사분들을 보며 뿌듯함을 느끼고 있습니다.

먼저 부족함이 많았던 저에게 당근과 채찍을 주시며 용접분야의 전문가로 훈련시 켜주신 지도교수님이신 조상명교수님에게 가장 큰 감사를 드립니다. 앞으로 박사과정 동안에도 많은 가르침 부탁드리겠습니다.

그리고 논문이 완성되기 까지 지도와 격려를 아끼지 않으신 주심이셨던 박흥일 교 수님, 부심이셨던 김성규 교수님께 깊은 감사를 드리며, 석사과정 수업중 분말에 세 계에 대해 알게 해주셨던 이길근 교수님, 용접재료 및 야금학적으로 부족한 부분을 채워주신 방국수 교수님, 부식 및 비파괴에 대한 지식을 채워주신 이병우 교수님, 항 상 웃는 모습으로 칭찬과 격려를 아끼시지 않으시는 권한상 교수님께도 깊은 감사의 마음을 올립니다.

처음 연구실에 들어온 발판이 되었으며 지금은 삼성중공업에서 멋진 활약으로 좋 은 소식을 전해주시는 함효식 교수님, 함효식선배님, 효식행님에게 고마움을 전하고 싶고 연구실에서 저와 가장 많은 시간을 보내며 멘토가 되어주었던 전재호, 변재규 선배 및 뒷자리에서 절 감시했던 오선호 선배 또한 고마움을 전합니다. 그리고 나와 함께 석사과정을 마치는 김영섭, 김희재, 손민수, 그리고 비파괴실험실에 우상현에게 "수고했다"라고 짧게 말하고 싶고 다음학기에 석사 졸업예정인 권혁용행님에게도 무 사히 석사과정 졸업하기를 기원하겠습니다. 앞으로 석사과정 졸업까지 시간이 많이 남은 신입생 때부터 봐왔던 듬직한 김민 우, 아직 고생의 시작은 서막인 김성률, "못" 아니 여자이지만 열정이 넘치고 서포터 를 잘해주는 박송이군, 박사과정선배이자 박사과정동안 오래함께할 한무 서기정행님, 그리고 이제 석사과정에 진학하여 열심히 일해야 될 이상준, 배민구, 조문경, 김영훈 RATA를 하는 동안 많은 도움을 주었던 하숙정비서님, 김보경비서에게도 감사의 마 음을 전하고 싶습니다.

마지막으로 제가 무사히 석사과정 졸업까지 묵묵히 저를 믿고 지원해주신 부모님 과 쇼니박사에게 감사를 드리며 앞으로도 더욱 열심히 하여 좋은 성과로 멋진 모습 보여드리겠습니다.



