



## 공 학 석 사 학 위 논 문

# 알루미늄 MIG 용접에서 ARMA모형을 이용한 용적이행 분류 및 용접성 평가

2017년 2월

부경대학교대학원

기계공학과

이 지 은

# 공학석사 학위논문

# 알루미늄 MIG 용접에서 ARMA모형을 이용한 용적이행 분류 및 용접성평가

지도교수 박 영 환

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2017년 2월 부경대학교대학원 기계공학과

이 지 은

# 이 논문을 이지은의 공학석사 학위논문으로 인준함.

2017년 02월 24일



List of tables

List of figures

Abstract

제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경 및 목적	1
1.2 GMAW 연구 현황	3
1.3 연구 내용	4

제 2 장 이론적 배경	5
2.1 가스 메탈 아크 용접	5
2.1.1 용융금속의 이행현상	7
2.1.2 가스 메탈 아크 용접의 주요 공정 변수	9
2.2 시계열 분석	12
2.2.1 자기 회귀 모델(AR Model)	13
2.2.2 이동 평균 모델(MA Model)	13

제 3 장 실험 방법 및 결과	15
3.1 실험장치 및 재료	15
3.2 실험 조건	19
3.3 실험 결과	22
3.3.1 용적이행 모드의 분류	22
3.3.2 용접부 비드형상 및 단면	31
3.3.3 용접부 인장강도	34

제 4 장 ARMA 모형을 이용한 용적이행 분류 및 용접성 평가	38
4.1 아크 광신호의 시계열 분석	38
4.2 ARMA 모형을 통한 용적이행 분류	43
4.3 용접성 평가 알고리즘	46
제 5 장 결론	49

Reference	 51
ICICI CHCC	01



# List of tables

Table 3-1	Chemical composition of Al 5083 (wt.%)	18
Table 3-2	Chemical composition of ER 5183 (wt.%)	18
Table 3-3	Electrical and optical characteristics	18
Table 3-4	Factors and levels of orthogonal experiment	21
Table 3-5	Metal transfer by welding condition	24
Table 3-6	Results of tensile test	37
Table 4-1	Results of metal transfer classification by ARMA	45
Table 4-2	Bead shape of metal transfer mode	47



# List of figures

Fig.	2-1	GMA welding process	6
Fig.	3-1	System of experiment(Fit-up device)	17
Fig.	3-2	Spectral response range of G1127	17
Fig.	3-3	Waveform of short circuiting transfer	25
Fig.	3-4	Step of short circuiting transfer	26
Fig.	3-5	Waveform of globular transfer	27
Fig.	3-6	Step of globular transfer	28
Fig.	3-7	Waveform of fast globular transfer	29
Fig.	3-8	Step of fast globular transfer	30
Fig.	3-9	Types of bead shape at different welding condition	32
Fig.	3-10	The cross section of welded zone	33
Fig.	3-11	The shape of tensile test piece	36
Fig.	3-12	Fracture at welded metal after tensile test	36
Fig.	3-13	Main effects plot for tensile strength	36
Fig.	4-1	AR 1st coefficient	41
Fig.	4-5	AR 2nd coefficient	41
Fig.	4-3	MA 1st coefficient ·····	42
Fig.	4-4	MA 2nd coefficient	42
Fig.	4-5	Graph of AR 2nd and MA 1st coefficient	43
Fig.	4-6	Quality estimation algorithm	47

#### Metal transfer classification by ARMA model and weldability evaluation in Aluminium MIG welding

Lee, Ji Eun

Department of Mechanical Engineering Graduate School of Pukyong National University

#### Abstract

With the concern on environmental pollutions like global warming, many studies are concentrated on the development of alternative source of energy, in order to reduce the consumption of coal which generates green-house gases. To replace the fossil fuel, liquified natural gas has noticed, and at the same time the demand of LNG carrier is increasing. Aluminium which is one of the materials of LNG storage tank has high thermal conductivity and thermal expansion, so it causes pore or crack in weld zone.

Thus in this paper, butt welding type I on Al5083-O 3t was carried out with MIG welding. The experimentations was designed by orthogonal array, and complete joint penetration fullfilled with one pass in 3mm plates. The influence of heat input on tensile strength of weld zone was also analyzed by analysis of variance. The algorithm of real time monitoring system based on ARMA was suggested to not only assure the quality of weld zone but predict the metal transfer.

### 제1장서론

## 1.1 연구 배경 및 복적

전세계적으로 환경오염문제에 대해 관심이 높아지면서 지구온난화를 유발하는 온실가스의 주범인 석탄의 소비를 줄이고자 대체에너지원의 개 발에 집중하고 있다. 현실적인 대체 에너지원으로써, 높은 연료 효율을 가 지고 낮은 탄소 배출하는 천연가스 LNG(liquefied natural gas)가 친환경 청 정연료로서 각광받고 있으며 점점 그 비중이 높아질 전망이다. 그에 따라 LNG 운반선의 수요가 증가하는 추세이다.<sup>(1-2)</sup>

LNG 선박에 천연가스를 저장하기 위해서는 극저온상태로 액화시켜야하 기 때문에 LNG 저장 탱크의 경우 높은 극저온 특성이 요구된다. 따라서 주로 사용되는 소재로는 알루미늄 합금, 니켈 합금강, 오스테나이트계 스 테인레스강 등이 있다. 그 중 선박에 주로 사용되는 알루미늄 합금은 Al-Mg계 비열처리 합금의 5000계열과 Al-Mg-Si계 6000계열이 있다. 특히 Al 5000계열 합금 중 Mg를 4-5wt%의 높은 비율을 포함하고 있는 Al 5083 소재는 다른 합금에 비해 높은 강도와 내식성, 인성, 용접성 등을 가지고 있어<sup>(34)</sup> LNG 선박의 저장고로 주로 사용되고 있다.

알루미늄 합금을 용접하기 위해 조선소에서는 주로 미그(MIG)용접과 티 그(TIG)용접을 사용하고 있어, 두 용접에 대한 의존도가 높다. 하지만 알루 미늄 합금 용접의 경우 높은 열전도도와 열팽창률 특성을 나타내어 용접 부 기공 및 균열과 같은 용접결함 나타나기 때문에 용접시 어려움이 있다.

본 논문에서는 실시간 용접 모니터링 시스템(real-time welding monitoring system)을 통하여 용접부위의 품질을 확보하고 판단 할 수 있는 알고리즘 을 고안하였다. 실시간 용접 모니터링 시스템이란, 일반적인 용접공정에서 고품질의 용접부를 확보하기위해 각 용접공정에 적합한 센서(sensor)를 이 용하여 측정한 변수 값을 실시간으로 계측 및 분석하여 용접부의 품질을 예측, 평가 관리하는 기술을 의미한다.<sup>(5)</sup>

용접부의 품질을 실시간으로 평가하기 위해서는 용접공정의 특성을 나 타내는 측정변수를 선정하는 것이 우선시 되는데, 기존에 연구된 결과를 보았을 때 주로 사용되는 측정변수들은 용접전류(welding current), 용접전 압(welding voltage), 아크 광(arc light) 등이 있다. 이를 바탕으로 용적 이행 형태(metal transfer mode), 용접 품질(weld quality) 등을 판단할 수 있는 알 고리즘에 대한 연구가 수행되고 있다.

본 논문에서는 Al 5083 합금에 대하여 MIG 용접을 이용하여 I형 맞대기 용접을 진행하였다. 실험은 일부실시법 중의 하나인 직교배열표를 통해 실 시되었으며, 두께 3mm 모재를 1pass로 완전 용입(complete joint penetration) 을 달성하였다. 그리고 MIG용접시 계측되는 용접 후 분산분석을 통해 입 열량이 인장강도에 미치는 영향력을 확인하였다. 아크 광 신호를 이용하여 용적이행현상을 분류하고 용접품질 판단여부를 확인하였다.

- 2 -

#### 1.2 연구 현황

GMA 용접은 1920년대부터 사용되던 용접법으로 아직까지 많이 사용되 고 있다. GMA 용접은 소모성 용접봉을 사용하여 접합하는 용접으로 사용 하는 보호가스의 종류에 따라 마그(metal active gas: MAG)용접과 미그 (metal inert gas: MIG)용접으로 나뉜다. 마그용접은 순수한 CO2 가스를 사 용하는 방법이고, 미그용접은 물리적, 화학적으로 안정된 불활성가스를 사 용하는 방법으로 주로 Ar가스를 많이 이용한다. GMA 용접은 오래전부터 사용되어진 만큼 많은 연구가 진행되어졌다. Y. S. Kim 은 GMA 용접에서 용적이행에 대한 메커니즘에 대한 연구와 와이어 용융 속도, 용적 크기에 대한 실험적인 연구를 하였다.<sup>(6-9)</sup> Adam 은 용접전류와 아크전압 신호를 측정하여 주파수 분석과 확률론적 파라미터 분석을 통하여 용접이행 모드 를 판별하였다.<sup>(10)</sup> 특히 Kiyohara 는 알루미늄 GMA 용접 시 공정변수에 대 한 관계를 밝히면서 Short Circuit, Mesospray, Spary 이행 영역으로 구분하 였다.<sup>(11)</sup> Needham 은 알루미늄 GMA 용접에 대한 용적이행 속도를 조사하 여 단락이행모드, 스프레이 이행모드가 나뉘는 천이전류의 존재를 확인하 였다.<sup>(12)</sup> Wang 은 알루미늄 GMA 용접에서 합금 내 첨가된 마그네슘이 아 크 열에 의해 기화하는 현상에 대한 실험적 연구를 하였다.<sup>(13)</sup>

알루미늄 용접시 발생하는 기공 및 균열에 대한 원인을 밝히고 용접 공 정에서 발생하는 용접 불량을 저감시키는 방법에 대한 연구들이 진행되고 있다.<sup>(14-15)</sup> 또한, 용접공정 모델이 공정변수가 용접 품질에 어떤 영향을 주 는지 규명하고, 우수한 용접 품질을 얻기 위하여 회귀분석을 이용한 비드 형상과 용접 공정 변수사이의 선형적인 모델을 유도한 연구 사례가 있 다<sup>(16-19)</sup>

- 3 -

#### 1.3 연구 내용

본 논문에서는 MIG 용접을 이용하여 두께 3mm의 Al 5083 합금을 I형 맞대기 용접으로 진행하였다. 실험은 일부실시법 중 한 기법인 직교 배열 표(table of orthogonal arrays)를 이용하여 총 16회로 실험을 진행하였다. 본 실험에 대한 연구 내용은 다음과 같다.

(1) 용접 전류, 전압, 아크 광신호 파형과 CCD 카메라의 계측된 이미지
 를 통하여 3가지 용적이행 형태(단락이행, 입상용적이행, 빠른입상용적이
 행)를 분류하였다.

(2) 실험을 통하여 용접한 비드의 형상을 확인하고 3가지 형태로 나누었다. 낮은 입열로 인해 부분 용입이 발생하여 상면비드는 형성되었지만, 이면비드는 없는 형태와 적정 입열로 상면비드와 이면비드 모두 미려하게 생성된 경우, 마지막으로 과입열로 인해 비드의 처짐이 발생하여 이면비드만 존재하는 경우를 확인하였다. 각 비드형상과 인장강도는 용적이행현상의 영향을 받는 것을 확인하였고, 용적이행현상에 따른 인장강도 및 비드형상을 확인하였다.

(3) 인장강도와 비드형상에 영향을 끼치는 용적이행현상을 분류하기 위 해 아크 광신호 데이터를 사용하였고, 데이터 분석을 위해 시계열 분석 모 형중의 하나인 ARMA(2,2) 모형을 이용하였다. AR 2차 계수와 MA 1차 계 수를 통하여 용적이행현상 분류하였으며 약 87%정도의 신뢰성을 확인하 였고, 그에 따라 ARMA 모델과 아크의 광신호 전압을 이용한 용접성 평가 알고리즘을 고안하였다.

- 4 -

## 제2장 이론직 배경

#### 2.1 가스 메탈 아크 용접

가스 메탈 아크 용접(gas metal arc welding: GMAW)은 소모성 전극 와이 어(electrode wire)를 용가재로 사용하며 일정한 속도로 용융지에 송급하면 서 용접봉과 모재(base metal) 사이에 전류를 통전시켜 아크가 발생되도록 하는 용접 공정이다. 연속적으로 송급되는 용접 와이어가 아크의 고열에 의해 용융되어 아크 기둥을 거쳐 용용풀로 이행하게 된다. 이 때, 용융부위 는 가스노즐을 통하여 공급되는 보호가스에 의해 주위의 대기로부터 보호 된다. 가스 메탈 아크 용접의 프로세스는 아래의 Fig. 2-1 와 같다.

사용되는 보호가스의 종류에 따라 가스 메탈 아크 용접은 분류할 수 있 다. 순수한 이산화탄소가스(CO<sub>2</sub>)를 사용하는 것을 마그(metal active gas: MAG)용접이라 하고, 아르곤 가스(Ar)와 같은 물리적, 화학적으로 안정한 불활성 가스를 사용하는 것을 미그(metal inert gas: MIG)용접이라 부르며, 용융금속의 산화 방지를 위해 알루미늄 합금 용접에 주로 사용된다.

- 5 -



- 6 -

2.1.1 용융금속의 이행현상

용적이행(metal transfer)이란 용접봉 끝의 용융 금속 또는 용적이 모재의 용융풀로 이행하는 현상을 말하며, 용접 전류, 와이어 돌출 길이(wire extension), 보호 가스, 극성, 용접봉의 재질 등의 조건들에 의해 영향을 받 는다. 용적이행 모드를 IIW(international institute of welding) 기준에 의해 단 락이행(short-circuit) 모드와 자유 비행 모드(free-flight mode)로 분류할 수 있다. 자유 비행 모드는 입상용적(globular)와 스프레이(spray) 모드로 구분 하며, 스프레이 모드는 프로젝티드(projected) 모드, 스트리밍(streaming) 모 드, 회전(rotating) 모드로 세분화 할 수 있다. 그 이외의 이행 모드로는 반 발이행 모드(repelled mode)와 폭발이행 모드(explosive mode) 등이 있다.

단락이행 모드는 와이어의 끝부분이 용융풀의 표면과 접촉하여 단락부 를 형성하고, 단락부의 용적이 모재의 용융풀로 이행하는 현상을 말한다. 와이어 끝단의 용적이 모재의 용융풀에 닿아 전기적으로 단락되면서 아크 가 소멸되고, 단락부의 직경이 작아지다 단락부가 파단되면서 아크가 발생 한다. 주로 저전류 저전압 영역에서 발생하며, 입열량이 작기 때문에 박판 용접에 적합하다. 하지만 단락이행 모드의 경우 스패터(spatter)가 다량 발 생한다. 스패터가 발생하는 경우 공작물의 표면에 부착되어 균열 발생의 원인이 되거나 용접 토치 내부에 부착되어 보호 가스의 흐름을 방해하기 때문에 스패터는 용접품질과 생산성을 저하시키는 역할을 한다.

입상용적이행 모드는 용접 와이어의 직경보다 큰 용적이 용접 와이어 끝 단에서 이탈하여 아크를 통해 모재로 이행하는 현상을 말한다. 주로 중전 류 중전압 영역에서 발생하며, 용접 공정 중 용접전압이 낮아져 아크길이 가 짧아지면 용적이 용융풀의 표면과 접촉하는 단락이행 모드가 입상용적 이행 모드와 함께 발생하기도 한다. 입상용적이행 모드는 직경이 큰 용적

- 7 -

이 이탈하므로 아크 길이의 변화가 크며, 용접전류 및 전압의 변화도 스프 레이 이행 모드와 비교하여 큰 편이다.

스프레이이행 모드는 불활성 가스인 아르곤(Ar) 가스나 아르곤 혼합가스 (Ar+20%CO, 또는 Ar+5%O)를 보호 가스로 사용하고, 천이전류 이상의 용접전류를 사용할 때 와이어의 직경보다 작은 용적이 이행하는 현상을 말한다. 스프레이 모드는 용접전류가 증가함에 따라 프로젝티드(proiected) 모드, 스트리밍(streaming) 모드, 회전(rotating) 모드로 변화한다. 이탈 용적 의 직경이 용접봉의 직경과 비슷한 경우 프로젝티드 모드라고 하며 주로 용접전류가 천이전류 근처에 도달하였을 때 발생한다. 용접전류가 천이전 류보다 높아지게 되면 프로젝티드 모드는 스트리밍 모드로 변화하는데, 스 트리밍 모드에서는 용접부의 길이가 상대적으로 증가하고 용접 와이어의 끝단에 테이퍼(taper)가 생기며 원추형과 유사한 현상으로 유지되며 용적이 이행된다. 프로젝티드 모드와 스트리밍 모드는 Ar 함량이 높은 가스를 사 용하기 때문에 안정적인 아크가 발생되고 용입이 깊으며 스패터 발생이 적다. 회전 모드는 스트리밍 모드보다 더 높은 전류 영역에서 발생하는 모 드로써, 용융된 용접 와이어가 전자기력의 영향을 받아 나선형의 궤적을 그리며 회전하면서 빠른 속도로 용융풀로 이행하는 현상이다. 회전 모도의 경우 아크가 불안정하고 다량의 스패터가 발생하며 제어가 힘들기 때문에 실제적으로 용접에서는 거의 사용되지 않고 있다.

- 8 -

2.1.2 GNAW의 주요 공정변수

GMA 용접의 공정변수로는 용접전류, 용접전압, 용접속도, 용접소재 등 과 같이 용접현상 및 용접성에 영향을 줄 수 있는 모든 변수를 일컫는다. 이처럼 공정 변수를 적절하게 선택하는 것이 중요하다. 처음으로 용접 와 이어와 보호가스가 결정되면 다음 과정으로는 기타 용접변수들을 결정해 야한다. 주어진 용접 작업에 있어서 적정 조건은 어떤 특정 조건으로 결정 되어 있는 것이 아니고 각 변수들의 조합에 따라 여러 가지 조건이 가능하 다.

1) 와이어 송급속도

GMA 용접에서 용접 전류는 송급속도에 비례하고, 컨택트 팁과 모재 간 거리(contact tip to work piece distance : CTWD)가 증가하면 용접 전류는 감 소하게 되는데 이는 CTWD가 증가함에 따라 와이어 돌출길이가 길어져서 저항열이 상승하기 때문이다.

2) 용접 전류

용접 전류는 금속이행 모드뿐만 아니라 용접 속도 및 용입 깊이를 결정 하는 가장 중요한 변수 이다. GMA 용접에 사용되는 정전압 특성의 전원 은 토치 선단에서 송출되는 와이어에 아크를 유지할 수 있는 필요 전류를 자동적으로 공급하는 특성을 가지고 있다. 따라서 용접 전류는 와이어 송 급속도를 조정함으로써 제어된다. 일반적인 용접에서 와이어 송급속도는 용착속도와 일치하므로 외견상으로는 용접 전류가 증가함에 따라 용착속 도가 증가하는 것처럼 보이게 된다. 그리고 전류를 높게 하면 모재에 유입 되는 열이 그만큼 증가하므로 용입 깊이는 증가하게 된다.

- 9 -

3) 용접 전압

용접 전압은 아크 전압뿐만 아니라 용접 케이블과 접속 단자에서 발생하 는 전압 강하도 포함되는데, 케이블 등에서의 전압 강하는 작기 때문에 용 접 전압은 아크전압과 큰 차이가 없다. 아크 전압은 와이어 끝과 모재간의 전압으로서 아크길이에 비례하며, 용접 비드의 형상 및 금속 이행 형태에 중요한 변수로 작용한다. 용접전압이 증가하게 되면 비드 높이는 낮아지고 비드 폭이 넓어져서 납작한 비드 형상을 가지게 된다. 또 용입 깊이는 어 느 정도까지 증가하다가 감소하게 된다. 따라서 양호한 비드 형상을 얻기 위해서는 적절한 용접전압과 전류를 사용해야한다.

4) 와이어 돌출 길이

와이어 돌출 길이는 컨택트 팁 선단으로부터 와이어 전극 선단부까지의 길이를 의미하는데 GMA 용접과 같이 소모 전극 와이어를 사용하는 용접 법에서는 매우 중요한 변수 중의 하나이다. 이 길이가 길어지면 전기저항 열이 증가하며 와이어 용융 속도도 증가하게 된다. 그러나 와이어 돌출길 이가 지나치게 길어지면 보호가스에 의한 보호효과가 저하되고, 아크가 불 안해지며 기공 등의 결함이 발생한다. 돌출길이가 지나치게 짧으면 가스 보호효과는 좋아지나, 노즐에 스패터가 부착되기 쉽고, 용접부 외관이 나 빠지며 작업성이 악화된다.

5) 용접 속도

용접속도는 용접 전류, 용접 전압과 함께 용입깊이, 비드 형상 및 아크 안정성 등에 영향을 준다. 다른 조건이 모두 동일하다면, 용입깊이는 적정 용접속도에서 최대가 된다. 용접속도가 너무 늦으면 아크가 모재부보다는

- 10 -

용융금속부에서 발생하기 때문에 용입이 작아지고, 용접속도가 너무 빠르 면 단위길이당 투입되는 에너지가 작아지기 때문에 용입이 감소하게 된다. 따라서 모재가 용융되는 양은 용접속도가 증가할 때 초기에는 증가하지만, 일정 속도 이상에서는 감소하게 된다.

6) 토치 방향

용접 진행방향에 대한 토치 방향에 따라 전진법 후진법으로 구분한다. 전진법에는 토치를 용접진행 방향 반대쪽으로 15~20°로 유지하는 방법이 고, 후진법은 용접 진행방향으로 기울이는 방법이다. 전진법은 용접선이 잘보이므로 운봉을 정확하게 할 수 있고, 비드 높이가 낮고 평탄한 비드가 형성된다. 하지만, 스패터가 비교적 많고 진행방향으로 흩어지며, 용착금 속이 아크보다 앞서기 쉬워 용입이 얕아진다. 반면에 후진법은 용접선이 노즐을 가려서 운봉을 정확히 하기가 어렵지만, 높이가 약간 높고 폭은 좁 은 비드를 얻을 수 있고, 아크가 안정적이며 스패터의 발생이 전진법보다 적다. 또한, 용융금속이 앞으로 나가지 않으므로 깊은 용입을 얻을 수 있 고, 비드 형상이 잘 보이기 때문에 비드의 폭과 높이 등을 제어하기 쉬워 대부분의 용접에 사용된다.

- 11 -

#### 2.2 시계열 분석

시계열자료(time series data)란 시간의 흐름에 따라 순차적으로 관찰하여 기록한 자료를 말한다. 시계열을 분석하는 목적은 어떤 자료가 과거 값들 의 변화패턴과 비슷하게 현재 시점 이후에도 변화될 것이라는 전제하에서 향후 시점의 값을 예측하는데 이용될 뿐만 아니라 계수 변화하는 값을 통 해 모니터링에서도 사용되고 있다.

시계열 자료를 분석하는 수학적 모형은 선형 모형과 비선형모형으로 나누어지며, 선형모형중 대표적으로 많이 쓰이는 모형은 자기회귀이동평 균모형(autoregressive moving average model: ARMA model)이고 비선형 모 형에는 혼돈 시계열 등을 만들어 낼 수 있는 모형으로 Fuzzy Logic, 신경망 을 이용한 Neural Network, 자생발생적 알고리즘을 사용하는 Genetic Algorithm과 같은 방법 등이 있다.

시계열 자료는 주어진 시계열 자료의 변화 패턴에 따라 시간에 따라 변 하지 않는 정상적 자료와 변하는 비정상적 자료로 나누어진다. 시간에 따 라서 일정한 평균값을 중심으로 일정한 변동폭을 갖는 시계열일 때 그 자 료를 정상적(Stationary) 시계열 자료라고 하며, 그 외의 시계열 자료들은 비정상적(Non-stationary)이라고 부른다.

시계열 모형으로 주로 사용되는 Box-Jenkis 모형의 경우 시계열 자료가 정상인 경우자기회귀모형(autoregressive model), 이동평균모형(moving average model), 자기회귀이동평균(ARMA) 모형의 세가지로 나누어지고 비 정상적인 시계열 자료의 경우 차분법이나 로그치환법을 사용하여 시계열 을 정상화하여 사용한다.

- 12 -

2.1.1 자기 회귀 모델 (AR: Autoregressive Model)

자기회귀모델(AR model)이란 과거시점의 데이터가 이후의 값에 영향을 미치는 것으로 현재 시점의 시계열자료( $y_t$ )를 이전 시점의 값들로 설명할 수 있는 모형이다.

$$y_{t} = \alpha_{1}y_{t-1} + \alpha_{2}y_{t-2} + \dots + \alpha_{p}y_{t-p} + \varepsilon_{t}$$
(2.1)

여기서, α<sub>1</sub>,...., α<sub>p</sub>는 자기상관계수, ε<sub>t</sub>는 백색잡음 혹은 오차이다. 과거의 p 시점까지의 값들이 y<sub>t</sub>에 영향을 준다고 할 경우의 p차 자기회귀모형이라 고 부르며 AR(p)라고 표현하고, AR(p) 모형은 위의 식 (2.1)와 같다.

가장 간단한 모델로는 바로 이전 시점(t-1)의 값이 현재의 값에 중요하게 영향을 주는 경우, AR(1) 모형이 되며 다음의 식 (2.2)과 같이 표현된다.

 $AR(1) : y_t = \alpha_1 y_{t-1} + \varepsilon_t$ 

여기서, ε<sub>t</sub>는 오차를 나타내며 시점에 관계없이 독립적이고 정규분포 한 다는 가정으로서 평균이 0이고 분산이 σ<sup>2</sup>인 특징을 갖는다.

(2.2)

2.1.2 이동평균모델 (MA: Moving Average Model)

이동평균모델이란 시계열자료가 연속적인 오차항들의 영향을 받는 것으 로 현재 시점의 시계열 자료를 과거의 오차항들에 의해 표현되는 모델로 아래의 식 (2.3)으로 나타낸다.

- 13 -

$$y_t = \varepsilon_t - \beta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \beta_q \varepsilon_{t-q}$$
(2.3)

여기서, β<sub>1</sub>,...,β<sub>q</sub>는 이동평균계수이다. 위의 식을 q차 이동평균모형이라 고 부르며, MA(q)로 나타낸다. 가장 단순한 MA모형으로는 바로 이전 시점 (t-1)의 오차항만이 포함되는 경우로, 이를 1차 이동평균모형이라 하며 다 음의 식 (2.4)로 표현된다.

 $M\!A(1) : y_t = \varepsilon_t - \beta_1 \varepsilon_{t-1}$ 



(2.4)

- 14 -

## 제 3장 실험 방법 및 실험 결과

#### 3.1 실험 장치 및 재료

가스 메탈 아크 용접(GMAW)은 소모성 전극을 사용하는 용접 방법 중의 하나로 용접 와이어를 연속적으로 공급하면서 아크를 유지시키기 때문에 용접 공정 중 아크가 소멸하는 경우가 적어 안정적인 아크발생에 용이하 고, 팁과 모재사이의 거리가 변화하는 경우에도 아크를 안정적으로 유지 할 수 있다. 또한 전극 봉이 용가재(filler wire)로 사용되기 때문에 외부에 서 따로 용가재를 공급시켜야 하는 다른 용접공정보다 편리하며, 용접 속 도가 빨라 생산성이 뛰어난 장점이 있다.

실험에 사용된 용접전원은 최대 350A까지 출력 가능한 일본 DAIHEN사 의 DP-350이며, 용접 토치는 일본 DAIHEN사의 스테인레스 MIG 용접 토 치인 WTCSW-5002를 사용하였다. 그리고 용접은 Fig. 3-1와 같이 시편을 고정 장치(fit-up device)에 고정시키고, 용접 진행 방향의 반대방향으로 지 그의 베드(bed)를 이송시키면서 용접을 진행하는 3축 캐리지 로봇 시스템 을 사용하여 진행하였다.

실험에 사용된 모재는 치수가 250mm x 150mm x 3mm 인 Al 5083 알루 미늄 합금이며, 모재와 화학적 조성이 비슷한 직경 1.2인 ER 5183 용접 와 이어를 사용하였다. 알루미늄 판재와 용접 와이어의 화학적 조성은 각각 Table 3-1, Table 3-2 과 같다. 용접은 2장의 모재를 갭이 없는 I형 맞대기 용접으로 진행하였고, 전체 용접 길이는 130mm 이다.

용접부의 품질을 판단할 있는 데이터를 정량적으로 획득하기 위하여 용 접 모니터링 시스템을 이용하였고, MIG 용접전류, 전압, 광신호 전압을 측 정인자로 두어 계측하였다. 용접전류를 계측하기 위하여 측정범위가 최대

- 15 -

650A 까지 가능한 일본 U-RD사의 HCS-24-250APCLS 클램프 타입 모델을 사용하였다. 용접전압은 최대 전압 100V 를 5V 로 강압하는 강압 회로를 제작하여 이용하여 계측하였고, 포토다이오드 G1127 모델을 사용하여 아 크의 광신호를 측정하였다. 포토다이오드 스펙트럼의 파장 범위는 Fig. 3-2 에 나타내었으며, 세부스펙은 Table 3-3 에 표기하였다. 용접전류와 전압 신호를 수집하는 장치로써, 미국 National Instrument 사의 DAQ 보드(data acquisition board) NI USB-6221 BNC를 사용하였다. 장치의 샘플링 속도는 10kS/s 로 설정하였고, 분해능(resolution)은 16bit 이다. 또한, 보다 정확하게 용접시작 시간을 측정하기 위해 릴레이(relay)를 전류, 전압 측정 모듈에 사용하고, 이를 DAQ보드의 Digital I/O와 연계하여, 용접시작 시간을 보다 정확하게 측정하는 시작트리거를 구성하였다.

추가적으로 용적이행현상을 확인하기 위하여 초당 60프레임의 이미지를 획득 할 수 있는 독일 IMAGINGSOURCE사의 DBK 21BU CCD 카메라를 이용하였고 사용한 렌즈는 35mm이다. 그리고 보다 선명한 이미지를 획득 하기 위하여 BLUE BAND FASS FILTER(470nm)와 NEUTRAL DENSITY FILTER(120, 60, 4, 4)를 이용하였다.



Fig. 3-1 System of experiment(Fit-up device)



Fig. 3-2 Spectral response range of G1127

- 17 -

Table 3-1 Chemical composition of Al 5083 (wt.%)

Elements	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
(%)	0.11	0.32	0.02	0.53	4.47	0.07	0.01	0.03	Bal.

Table 3-2 Chemical composition of ER 5183 (wt.%)

Elements	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
(%)	0.40	0.40	0.10	0.70	4.5	0.25	0.15	0.15	Bal.



	Spectral	Peak	Pl	noto sensi	itivity(A/V	W)
	response range (nm)	sensitivity wave-length (nm)	$\lambda_p$	Hg line 254nm	Gap LED 560nm	He-Ne laser 633nm
G1127	190 to 680	610	0.18	0.035	0.17	0.17

- 18 -

#### 3.2 실험 조건

본 연구에서는 실험 계획법(design of experiment)에 따라 실험을 진행하 였다. 실험계획법은 실험에 대한 계획방법을 의미하며, 해결하고자 하는 문제에 대해 통계적 기법으로 최소의 실험으로 최대의 정보를 얻을 수 있 는가를 계획하는 것이라고 정의할 수 있다.<sup>(20)</sup> 전체 실험 영역에서 전부 실 험을 하는 완전요인배치법(full factorial design)이 일반적으로 사용되나, 이 는 모든 조합에 대해 실험을 진행하기 때문에 다양한 인자를 고려해야하 는 경우 많은 실험을 진행해야 되므로, 실험의 시간과 비용이 많이 소요된 다. 따라서 본 논문에서는 일부실시법(fractional design) 중 하나인 직교 배 열법(orthogonal design)을 이용하여 실험을 실시하였다.

본 실험에서 사용된 설계변수와 수준은 Table 3-4 와 같으며, 설계변수로 는 용접 전류(welding current : WC), 용접 전압 수준(level of welding voltage : LWV), 용접 속도(welding Speed : WS)를 사용하였다. 본 실험에서 사용된 DAIHEN 용접기의 경우 적정용접조건에서 용접이 진행되도록 설 정이 되어있어, 적정전압에서 일정 전압의 수준을 % 로만 조정가능하기 때문에 설계변수로 용접 전압 수준을 이용하였다. 각 설계변수의 수준은 BOP(bead on plate) 기초 실험을 바탕으로 저입열, 적정입열, 과입열이 조 건이 나오도록 선정하였다.

각 변수의 수준은 용접 전류를 80, 95, 110, 125A 로, 용접 전압 수준은 0, 10, 20, 30% 로 하였고, 용접 속도는 6, 7, 8, 9mm/sec 의 4수준으로 정하 였다. 그리고 직교 배열표(table of orthogonal arrays)의 4수준계  $L_{64}(4^7)$ 을 사용하여 실험을 총 16회 수행하였다.

용접은 CTWD 15mm 로 토치가 모재와 수직으로 용접을 수행하도록 진 행하였고 사용된 분위기가스는 99.9% 아르곤가스로 201/min 으로 공급하였

- 19 -

다. 그리고 용접은 연속모드(continuous wave mode : CW mode)로 진행 되었다.

또한, 용접 전처리 과정으로 알루미늄 산화막(oxidation film) 제거 및 모 재의 청결을 위하여 용접직전에 아세톤으로 시험에 사용될 모재를 닦고, 스테인리스 브러쉬(stainless brush)를 이용하여 모재를 연마하였다. 용접은 두 모재간의 갭(gap)이 없는 I형 맞대기 용접으로 진행하였다. 그리고 정량 적인 용접성 평가를 위하여 16개의 시편 전체에 대해 인장시험을 수행하 였다.



- 20 -

No.	Factor	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
А	Welding current(A)	80	95	110	125
В	Levels of welding voltage(%)	0	10	20	30
С	Welding speed (mm/sec)	6	7 10N	8	9

Table 3-4 Factors and levels of orthogonal experiment



- 21 -

#### 3.3 실험 결과

3.3.1 용적이행 모드의 분류

MIG 용접의 특성을 파악하기 위해서 입력변수(용접전류, 용접전압, 용접 속도)들의 출력값을 측정하였고, 측정한 결과들을 통해 3가지 용적이행 현 상을 확인할 수 있었다. 아크 광신호와 용접전류, 전압신호를 통해 단락이 행 모드, 입상용적이행 모드, 입상용적이행 모드에서 스프레이 모드로 진 행 중인 빠른입상용적이행 모드의 세가지로 용적이행 현상을 분류하였다. Table 3-5 은 각 실험 조건에 따른 용적이행 분류를 나타낸다.

또한, 측정한 결과의 평균값을 구할 때 보다 정확한 값을 위해 안정적인 영역에서의 평균을 계산하기위해 무부하 전압이 상승하고 하강하는 것을 기준으로 앞뒤로 1.5초씩 제거하여 용접 시작부와 종료부의 불안정한 영역 을 제외시켰다.

Fig. 3-3 은 단락 이행 모드(short circuiting transfer)의 과형을, Fig. 3-4는 CCD 카메라로 계측된 이미지를 통해 단락이행 현상을 확인하였다. 단락 이행 모드는 분위기 가스의 성분과 관계없이 저전류 저전압 영역에서 발 생한다.<sup>(21)</sup> 단락이행의 경우, 단락이 발생하였을 때 용접전압과 광신호 전 압은 0V로 떨어지고, 용접전류는 상승하는 것을 확인 할 수 있는데 이는 Fig. 3-4의 (3)번에서처럼 와이어가 모재에 단락되었을 때 아크가 소멸되기 때문에 저항이 0이 되기때문에 전압은 0V 까지 떨어지고 전류는 상승하게 된다. 또한 단락되는 순간 아크가 소멸되기 때문에 광신호 전압 또한 0V 로 떨어지게 된다. 본 실험에서 단락이행은 저전류 영역이면서 전압수준이 0~10% 인 저전압인 경우 발생하였다. 단락이행이 발생할 때의 광신호의 평균값은 1V 이하 또는 1.4~2.0V 사이의 값이 나오는 것을 확인되며 단

- 22 -

락 후 와이어가 모재로부터 떨어지면서 스파크가 발생하고 그로 인해 광 신호 전압이 일시적으로 상승하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 단락이 빈 번하게 발생하는 경우는 상대적으로 높은 광신호 전압인 1.4 ~ 2.0V가 나 오는 것을 확인하였다.

Fig. 3-5 는 입상용적 이행 모드(globular transfer)의 파형을 나타낸다. 입 상용적 이행 모드는 와이어가 용융풀과 접촉하지 않아 단락이 발생하지 않지만 단락이행 파형과 유사한 아크 광신호를 확인할 수 있다. 또한 아크 광신호 전압은 1 ~ 1.7V 로, 이는 Fig. 3-8의 (3)번 이미지에서도 확인 할 수 있듯이, 와이어 직경보다 더 큰 용적이 와이어 선단부에서 모재로 이행 하면서 아크의 빛을 가리기 때문에 광신호 전압 값이 0V 가까이 떨어졌다 가 다시 증가하는 것을 확인하였다. 또한 용적이 와이어로부터 이탈하는 경우 순간적으로 전압이 증가하는데 이는 용적으로 인해 짧아졌던 아크 길이가 용적이 모재로 이행하면서 다시 길이가 증가하였고 저항이 증가함 에 따라 용접 전압이 증가하고 용접 전류는 감소하는 것으로 보인다.

Fig. 3-7 은 빠른 입상용적 이행 모드(fast globular transfer)의 파형을 나 타내고, Fig. 3-8 은 CCD 카메라로 계측한 빠른 입상용적이행 이미지이다. 빠른 입상용적 이행 모드란 입상용적이행 모드에서 스프레이 이행 모드로 전환되는 과정 중으로 Fig. 3-8에서 보이는 것처럼 입상용적이행에 비해 상대적으로 작은 용적이 이행하는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 입상용적이 행에 비해 전류, 전압, 광신호 파형 모두 안정적으로 이행되는 것을 확인 할 수 있다. 파형의 표준편차는 입상용적이행보다 현저히 작은 값을 가지 며, 광신호 전압 또한 단락이행과 입상용적이행에 비해 높은 값인 2V 이상 을 보이는 것을 확인하였다.

- 23 -

No	Current	Voltage	WS	Metal
INO.	(A)	(V)	(mm/sec)	transfer
1	80	16.2	6	S
5	95	16.8	7	S
9	110	18.6	8	S
10	110	20.6	9	S
2	80	18.1	7	S+G
3	80	20	8	G
4	80	21.9	9	G
6	95	18.7	6	G
7	95	20.7	9	G
8	95	22.7	8	FG+G
11	110	22.6	6	FG
12	110	24.7	7	FG
13	125	21	9	FG
14	125	23.1	8	FG
15	125	25.2	7	FG
16	125	27.3	6	FG
	S: short-	-circuit, G: glo	obular, FG: fa	st globular

Table 3-5 Metal transfer by welding condition

- 24 -





Fig. 3-3 Waveform of short circuiting transfer

- 25 -



Fig. 3-4 Step of short circuiting transfer

- 26 -



(b) Data during 6 to 7 sec

Fig. 3-5 Waveform of globular transfer

- 27 -



Fig. 3-6 Step of globular transfer

- 28 -



- (b) Data during 6 to 7 sec
- Fig. 3-7 Waveform of fast globular transfer

- 29 -



Fig. 3-8 Step of fast globular transfer



3.3.2 용접부 비드형상 및 단면

MIG 용접으로 두께 3t Al 5083 알루미늄 합금을 용접한 비드의 형상을 관찰하였다. 용접부의 외관은 3가지 형태로 나누어 볼 수 있다.

Type 1은 용접조건에 의한 낮은 입열로 인해 부분 용입이 발생하여 상면 비드(upper bead)는 형성되었지만, 이면비드(back bead)가 형성 되지 않은 경우이고, Type 2는 충분한 입열에 의해 상면비드와 이면비드가 미려하게 생성된 완전용입 형상이고, Type 3의 경우 용접조건에 의한 과입열로 비드 의 처짐이 발생하여 이면비드는 존재하지만 상면비드는 존재하지 않는 경 우이다. Type 3의 경우 용접전류 110A 이상, 용접전압레벨 또한 20 ~ 30% 에서 주로 관찰되었다. 완전용입의 경우 110A, 용접전압레벨 0 ~ 10% 인 경우 발생하였고, 불완전 용입의 경우 저전류, 저전압에서 주로 형성되었 다. 각 Type의 비드형상과 매크로(macro) 사진을 Fig. 3-9 에 나타내었고, 실험영역내의 모든 매크로 사진은 Fig. 3-10 에 나타내었다. 매크로 사진의 번호는 직교배열표에 의한 실험번호이다.





Fig. 3-9 Types of bead shape at different welding condition

- 32 -

No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
1 	2 4mm	3 4mm	4 
No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
S I I I I I I I I I I I I I I I I I I I	6	7	8
No. 9	No. 10	No. 11	No. 12
9 	10	11	12
No. 13	No. 14	No. 15	No. 16
13		15	

Fig. 3-10 The cross section of welded zone

- 33 -

3.3.3 용접부 인장강도

인장시험은 ISO 4136<sup>(22)</sup>의 판재 시험 경우를 참조하여 가공 및 인장시험 을 진행하였다. Fig. 3-11 은 시험편의 형상 및 치수를 나타내었다. 일반적 으로 인장 시편 가공시 용접부의 덧살은 시험편의 두께와 동일하게 가공 하나, 일부 시험편에서 비드 처짐이 발생하여 이면비드 부의 덧살을 제거 할 시 가공파단이 발생하기 때문에 이와 같이 경우에 한해서는 덧살 가공 없이 시험을 진행하였다.

Al 5083 판재의 인장강도는 296N/mm<sup>2</sup> 으로 AWS(american welding society)에서 규정하는 최소 인장강도 270N/mm<sup>2</sup> 를 넘는 값이다.<sup>(23)</sup> Fig. 3-12 와 같이 용접한 시험편의 경우 용접부에서 파단이 발생하였다. 실험 조건 중 가장 높은 인장강도를 갖는 시험편의 경우 302.29N/mm<sup>2</sup> 이며, 가 장 낮은 인장강도 값을 갖는 경우는 38.98N/mm<sup>2</sup> 이다. 비열처리 합금의 경 우 덧살을 제거할 시 인장강도가 약간 저하하는데<sup>(24)</sup> 본 실험에서는 과입 열로 인해 덧살을 제거하지 않고 인장시험을 진행한 시험편에 있어서 모 재보다 높은 인장강도를 갖는 것으로 사료된다. 일부 시험편에 있어 인장 시편 가공 중 파단이 발생하였는데 이는 충분하지 못한 입열로 인해 용접 부가 판재 두께의 2/3이상을 만족하지 못하여 가공파단이 발생한 것으로 판단된다. AWS에서 규정한 최소 인장강도 값보다 높은 시험편은 7개로 이 중 5개는 처짐비드가 발생하여 덧살을 제거하지 않은 경우이다. 그 외 의 나머지 시험편은 이면비드(back bead)가 발생하지 않았거나 이면비드는 발생하였지만 상면비드가 발생하지 않은 경우로 낮은 용접성을 갖는 것으 로 판단된다. 따라서 결론적으로 용접성이 좋은 시편은 총 2개이다. 인장 시험의 결과는 Table 3-6 와 같다. 인장시험 결과 주로 전류가 110A 이상일 때 최소인장강도보다 높은 결과가 나왔으며, 전류가 낮고, 전압의 수준이

- 34 -

낮은 조건에서는 최소 인장강도를 만족하지 않는 결과가 나왔다.

Fig. 3-13 은 용접변수에 따른 인장강도의 주효과 그래프를 나타낸다. 인 장강도에 가장 큰 영향을 주는 인자로 용접 전류로 나왔으며 용접속도와 용접전압수준의 경우 상대적 미비한 영향을 끼치는 것으로 보인다. 용접전 류와 전압의 경우 전류 및 전압 수준이 낮으면 저입열로 낮은 인장강도 값 을 가지고, 전류 및 전압수준이 높으면 과입열로 비드의 처짐이 발생하기 때문에 용접전류가 110A, 용접 전압 수준이 10% 일 때 가장 높은 인장강 도 값을 가진다. 또한 용접속도의 경우 속도가 작으면 작을수록 높은 입열 량을 줄 수 있기 때문에 가장 낮은 속도인 6mm/sec일 때 가장 용접성이 좋 은 것으로 사료된다.

이로써 인장강도가 가장 높기 위해서는 용접전류가 110A, 용접 전압 수 준이 10%, 용접 속도가 6mm/sec 일 때 최적의 인장강도가 나오는 것으로 판단된다.







Fig. 3-11 The shape of tensile test piece



Fig. 3-12 Fracture at welded metal after tensile test



Fig. 3-13 Main effects plot for tensile strength

- 36 -

No.	Current (A)	LVP (%)	Voltage (V)	WS (mm/sec)	TS (N/mm²)
1	80	0	16.2	6	55.05
2	80	10	18.1	7	39.60
3	80	20	20	8	-
4	80	30	21.9	9	-
5	95	0	16.8	7	81.21
6	95	10	18.7	6	198.23
7	95	20	20.7	9	38.98
8	95	30	22.7	8	113.40
9	110	0	18.6	8	272.79
10	110	10	20.6	9	285.08
11	110	20	22.6	6	286.39
12	110	30	24.7	7	283.06
13	125	0	21	9	302.29
14	125	10	23.1	8	282.13
15	125	20	25.2	7	272.95
16	125	30	27.3	6	212.36
	1	SK X		at it	

Table 3-6 Results of tensile test

- 37 -

### 제 4장 ARMA 모형을 통한 용적이행 분류

용접성 평가를 위한 방법 중의 하나인 인장강도가 용적이행현상과 밀접 한 관계가 있음을 확인하였다. 따라서 본 장에서는 시계열 분석 모형 중의 하나인 ARMA 모형을 이용하여 광신호 시계열 분석을 통하여 용적이행현 상을 분류하였다. 또한 용적이행현상과 광신호 전압을 통하여 용접성 평가 가능한 알고리즘을 제시하였다.

#### 4.1 아크 광신호의 시계열 분석

시계열 분석에서 시계열이란 시간 흐름에 따라 변하는 현상을 관찰함으 로써 얻어지는 자료를 말하며 대표적인 시계열 모형으로는 자기회귀모형 (auto Regressive model: AR model), 이동평균모형(moving average model: MA model), 혼합모델(mixed autoregressive-moving average model: ARMA model) 등이 있다. 시계열 분석의 목적은 확률적인 특성을 고려한 시계열 모형을 바탕으로 미래의 값을 예측하거나 실시간 모니터링을 하기위해 사 용되고 있다. 본 논문에서는 자기회귀특성과 이동평균 특성을 모두 가지고 있는 ARMA 모형을 사용하여 아크의 광신호를 분석하였다.

일정한 측정 주기(sampling frequency)로 신호를 받아 들였을 때 앞선 시 간의 신호들은 각각 그 선행된 정도만큼의 영향을 현재 신호에 미치게 된 다. 즉, k 번째의 신호 y(k)는

$$y(k) = \sum a_l y(k-l) + \sum b_m x(k-m)$$
(4-1)

으로 위의 식에서 y(k)는 k번째 출력신호, x(k)는 k번째 입력신호, ais는

- 38 -

자기회귀 계수, *b<sub>m</sub>s*는 이동평균 계수이다. 이 때의 계수 값들은 최소제곱 법(method of least squares)에 의하여 추정할 수 있다. 위와 같은 모델을 ARMA 모형이라 하며, 모든 *a<sub>l</sub>*이 0 이 되면 모델은 MA 모형, 모든 *b<sub>m</sub>*이 0 이 되면 AR 모형이 된다. 자기회귀의 차수를 M, 이동평균의 차수를 N이 라고 하면 이는 ARMA(M,N) 모형이 된다. 본 논문에서는 AR 1차, 2차 계 수와 MA 1차, 2차 계수를 획득 할 수 있는 ARMA(2,2)모형을 사용하여 광 신호를 분석하였다.

본 실험에서는 10kH의 속도로 수집된 아크 광신호 전압 데이터를 통하 여 신호의 피크점을 기준으로 두 구간에 해당하는 값을 이용하여 ARMA 모델의 계수값을 계산하였다. 두 구간은 약 시간상에서 1 ~ 2초에 해당한 다. 예외적으로 빠른입상용적이행의 파형과 같이 피크점이 나타나지 않는 구간에 대해서는 시간상 1초에 해당하는 10000개의 데이터를 이용하였다.

ARMA모형을 통하여 광신호를 분석한 결과는 아래의 Fig. 4-1, Fig. 4-2, Fig. 4-3, Fig. 4-4 과 같다. 용적이행 현상에 따른 ARMA 계수 값을 확인해 보았을 때 AR 1차 계수와 MA 2차 계수는 용적이행현상에 따라 값이 크게 변화하지 않기 때문에 용적이행현상과는 밀접한 관계가 있지 않다고 판단 하였다.

MIG용접기는 아크를 일정하게 유지하려는 특성이 있다. 즉, 아크의 길 이가 상대적으로 증가하면 아크의 길이를 일정하게 유지하기위해 다시 아 크의 길이를 감소시킨다. 이와 같이 ARMA모형을 통하여 계수 값을 확인 한 결과 두시점이 한주기가 되어 비슷한 광신호 파형을 가지는 것으로 사 료된다. 따라서 AR 1차 계수보다는 AR 2차 계수가 더 경향성을 보이는 것 으로 판단된다. AR 2차 계수를 보면 단락이행인 경우 -1 ~ -0.5 사이 입상 용적이행에서는 -0.3 ~ 0, 빠른 입상용적이행은 약 -0.5 ~ -0.3 의 값을 보이

- 39 -

는 것을 확인하였다. MA 1차 계수는 단락이행인 경우 0~0.5, 입상용적이 행은 약 -1, 그리고 빠른 입상용적이행에서는 약 -0.5 값을 가지는 것을 확 인하였다.







Fig. 4-2 AR 2nd coefficient

- 41 -



Fig. 4-4 MA 2nd coefficient

- 42 -

#### 4.2 ARMA 모형 통한 용적이행분류

MIG 용접에서 아크의 광신호를 이용하여 시계열 모형인 ARMA(2,2)를 선정하였고 계수 값을 확인하였다. 보다 뚜렷한 경향성 파악을 위하여 AR 2차 계수 대비 MA 1차 계수 값을 이용하였다. 그래프는 Fig. 4-4와 같다. 위 그래프에서 보면 단락이행은 AR 2차 계수가 0.3 ~ 1, MA 1차 계수가 -1 ~ -0.5의 값, 입상용적이행은 AR 2차 계수가 -0.5 ~ 0.5, MA 1차 계수가 -1.5 ~ -0.5의 값을 가지고 빠른입상용적 이행의 경우 AR 2차 계수가 -0.5 ~ 0, MA 1차 계수가 -0.5 ~ 0.5 임을 확인 할 수 있다. 이에 따라 다음의 계수 값들을 일정한 영역을 나누어 용적이행현상을 분류하도록 하였다. 영 역은 아래의 그림 Fig. 4-5와 같다.

먼저 X축과 Y축을 0.5 간격으로 영역을 나누고 각 영역에 대표되는 용 적이행을 나타내었다. 예로 들어 AR 2차 계수 값이 -0.5 ~ 0 이고, MA 1차 계수 값이 0 ~ 0.5 사이 값이 나오는 경우의 용적이행은 단락이행이다. 또 한 같은 영역에서 두 가지 이행모드 동시에 나타나는 경우는 영역을 세분 화하여 구분하였다. 영역에 ARMA 데이터가 하나 있는 경우는 용접구간 전체의 용적이행현상에 큰 영향을 주지 않는 것으로 간주해 이행현상을 판단함에 있어 제외하였다. 따라서 각 데이터의 영역을 분류한 후 각 용적 이행이 어느 정도 차지하는지를 확인하고 최대값을 그 전체구간에 해당하 는 용적이행이라 판단하였다. 같은 결과 값이 나오는 경우에는 두 용적이 행현상이 공존한다고 판단하였다. 그에 따라 동일조건으로 반복 실험 한 결과 Table 4-1 와 같이 전체 32개 중 부분일치 하는 경우 3개, 불일치하는 경우 2개를 제외한 27개에서 일치하여 약 87% 정도의 정확도를 보이는 것 을 확인 할 수 있었다. 특이치가 경계값 주변에 위치하는 경우 불일치하는 것을 확인할 수 있었다.

- 43 -





## Fig. 4-5 Graph of AR 2nd and MA 1st coefficient



No.	Metal transfer by waveform and image	al transfer by waveform Metal transfer classification of ARMA		
1	S	G		
2	S+G	G		
3	G	G		
4	G	G		
5	S	S		
6	G	G		
7	G	G		
8	G+FG	S+G+FG		
9	S	S		
10	S	S		
11	FG	FG		
12	FG	FG		
13	FG	FG		
14	FG	FG		
15	FG	FG		
16	FG	FG		
1_2	S	S		
2_2	S+G	S+G		
3_2	G	S		
4_2	G	G		
5_2	S	S		
6_2	S	S		
7_2	G	S+FG		
8_2	G+FG	G+FG		
9_2	S	S		
10_2	S	S		
11_2	FG	FG		
12_2	FG	FG		
13_2	FG	FG		
14_2	FG	FG		
15_2	FG	FG		
*S: short circuit, G: globular FG: fast globular				
*Red: mismatch, blue: partially match				

Table 4-1 Results of metal transfer classification by ARMA

#### 4.3 용접성 평가 알고리즘

Table 4-2 는 각 용적이행모드별 용접조건에 따라 3가지 Type 으로 분류 하였다. 빠른입상용적이행에서는 상대적으로 높은 전류와 높은 전압의 과 입열로 인한 Type Ⅲ의 비드형상만 나왔으며, 입상용적이행모드에서는 저 입열로 이면비드는 존재하지 않고 상면비드만 있는 Type I의 비드를 확 인하였다. 단락이행모드의 경우 상면비드만 존재하는 Type I 과 상면비드 와 이면비드 모두 미려하게 나온 Type Ⅱ 의 두 가지 비드형태가 모두 확 인되었다.

이를 통하여 ARMA를 통해 분류된 용적이행모드를 분류한 뒤 각 이행 모드별 품질판단을 입상용적이행인 경우 높은 전류, 높은 전압으로 인한 과입열로 품질판단에서 Bad로, 입상용적이행의 경우 저입열로 인한 가공 파단 또는 낮은 인장강도를 가지기 때문에 품질판단에서 Bad로 판단하였 다. 단락이행이 같이 나타나는 경우는 광신호 전압이 1.4 ~ 2.0V 사이인 경 우 적정입열이며 최저인장강도를 만족하는 형태로 품질판단을 Good으로, 그 외의 경우 광신호 전압이 1.4V 이하인 경우는 저입열로 낮은 인장강도 를 가져 품질판단을 Bad로 판단하였다.

따라서 ARMA를 통한 용적이행 분류와 광신호 전압의 평균값을 이용하 여 용접성 평가를 할 수 있는 알고리즘을 만들어보았다. 알고리즘은 다음 의 Fig. 4-6 와 같다.

MIG 용접시 측정되는 아크의 광신호 데이터를 이용한 AR 2차 계수와 MA 1차 계수를 통해 용적이행모드를 분류하였고 광신호 전압을 통해 용 접성 평가를 판단 할 수 있게 하였다.

- 46 -

Metal Transfer	Bead	Front	Back
Short circuit	I	מפרותומי	
		Low heat input, L	ow tensile strength
	П		
		Proper heat input, High tensile strength	
Globular	MOLVO	00000	
		Low heat input, Fracture during machining	
Fast Globular	E		angerennen van e
		High heat input,	Bead deflection

Table 4-2 Bead shape of metal transfer mode

- 47 -



Fig. 4-6 Quality estimation algorithm

- 48 -

### 제 5장 결론

본 논문에서는 Al 5083 합금에 대하여 용접시 발생하는 아크 광신호의 시계열 분석을 통해 용적이행현상을 분류하고 더 나아가 용접성을 평가할 수 있는 알고리즘을 고안하였다.

출력된 용접공정변수(용접 전류, 용접 전압, 아크 광신호 전압)의 파형을 통하여 3가지 용적이행(단락이행, 입상용적이행, 빠른 입상용적이행)을 확 인하였다. 단락이행의 경우 소모성 전극봉과 모재가 접촉하여 아크가 소멸 되기 때문에 포토다이오드 전압이 0V 까지 떨어지는 것을 확인하였고 입 상용적이행의 경우 와이어의 직경보다 큰 용적이 모재로 이행하며 아크의 빛을 가리기 때문에 용적이 모재로 이행할 때 순간적으로 광신호 전압이 0V 까지 떨어지는 것을 관찰 할 수 있었다. 또한 빠른 입상용적이행의 경 우 입상용적이행에서 스프레이이행으로 가는 과도기적인 이행으로 용적의 크기가 입상용적이행의 용적보다 작기 때문에 상대적으로 안정된 전류, 전 압, 광신호 파형을 가지는 것을 확인하였다.

이와 같이 용적이행현상에 따라 비드형상과 인장강도 또한 달라지는 것 을 확인 할 수 있었다. 단락이행의 경우 저입열(Type I)과 적정입열(Type II) 모두 나타났다. 입상용적이행의 경우 저입열(Type I)인 비드 형태가 나타났고 입상용적의 특성상 1초 간격으로 용적이 떨어지기 때문에 용융 부가 모재 두께의 2/3를 넘지 않아 가공 파단이 발생하였다. 빠른입상용적 이행의 경우 과입열(Type III)의 비드 형태로, 앞의 두 이행모드보다 큰 아 크 압력으로 인해 비드처짐이 발생하여 이면비드만 존재하는 형태임을 확 인하였다.

용적이행현상과 인장강도가 밀접한 관계를 가짐에 따라 광신호 데이터 를 이용하여 시계열 모형 중의 하나인 ARMA(2,2) 모형으로 용적이행현상

- 49 -

을 분류하였고, 약 87%정도의 신뢰성으로 용적이행분류하는 것을 확인하 였고 그에 따라 ARMA 모델과 아크의 광신호 전압을 이용한 용접성 평가 알고리즘을 고안하였다.





#### Reference

1. John Conti(2013), International Energy Outlook 2013, U.S. Energy Information Administration

2. ExxonMobil(2014), Outlook for Energy A View to 2040, Exonmobile

3. J.L. Searles, P.I. Gouma and R.G. Buchheit(2001), Stress Corrosion Cracking of Sensitized AA5083, Metallurgical and Materials Transaction A, Vol. 32, Issue 11

4. S.H. Hong(1995), Present status and prospect of LNG stroage tank, Journal of KWS, Vol. 29

5. D.S. Hwang and M.H. Gho(2012), Developmentand Application of Realtime weld Quality Monitoring System, Journal of KWJS, Vol. 30, Issue 1

6. Y.S. Kim(1989), Metal transfer in gas metal arc welding. Ph.D Thesis, MIT

7. S. Kou(2003), Welding metallurgy, Wiley-Interscience

8. AWS(1987), Weling handbook, American Welding Society

- 51 -

9. S. Liu and T.A. Siewert(1989), Metal transfer in gas metal arc welding : droplet rate, Welding Journal, Vol. 68, Issue 2

10. G. Adam and T. Siewert(1990), Sensing of GMAW droplet transfer modes using ER100S-1 electrode, Welding Journal, Vol. 69, Issue 3

11. M. Kiyohara, T. Okada, Y. Wakino and H. Yamamoto(1977), On the Stabilization of GMA Welding of Aluminum, Welding Joural, Vol. 32, Issue 1

12. J. Needham, C. Cooksey and D. Milner(1966), The transfer of metal in inert-gas-shielded arc welding, British Welding Journal, Vol 7, Issue 1

13. J.B Wang, H. Nishimura, S. Katayama and M. Mizutani(2011), Evaporation phenomena of magnesium from droplet at welding wire tip in pulsed MIG arc welding of aluminum alloys, STWJ, Vol. 16

14. C. H. Lee and R. W. Jang(1992), Weldability of Al alloys, Part I : Cracking and Porosity, KWJS, Vol. 10, No. 3

15. J. H, Hwang and J. G. Yoon(1996), A study on the cracking at the Al alloy weld deposited by a high current MIG process, KWJS, Vol. 1

16. P.J. Konkol and G.F. Koons(1978), Optimization of parameters for two-wire AC-AC submerged arc welding, Welding Journal, Vol. 57

- 52 -

17. L. J. Yang and R. S. Chandel(1993), An analysis of curvilinear regression equations for modeling the submerged-arc welding process, Journal of Material Processing Technology, Vol. 37, No.1

18. L. J. Yang, R. S. Chandel and M.J. bibby(1993), The effects of process variables on the weld deposit area of submerged-arc welding process, Welding Journal, Vol. 72

19. L. J. Yang, M. J. Bibby and R.S. Chandel(1993), Linear regression equations for modeling the submeraged arc welds, Journal of Material Processing Technology, Vol .39

20. 박성현(2009), 현대실험계획법, 민영사

21. 대한용접·접합학회(2008), 대한 용접·접합 편람 Ⅲ, KWJS

22. ISO(2008), ISO 4136 - Destructive tests on welds in metallic materials Transverse tensile test

23. ANSI(1997), Structural Welding Code-Aluminum 3th Edition, AWS

24. 대한 용접·접합 편람 I (2008), 대한용접·접합학회

- 53 -