

# 실시간 검사 및 제어를 목적으로 한 용접성 평가

이정익<sup>1\*</sup>

## The Weldability Estimation for the Purpose of Real-Time Inspection and Control

Jeong-Ick Lee<sup>1\*</sup>

**요 약** 용접구조물의 시공시 발견되는 외관상, 성능상 사용자에게 불만족을 발생시키는 결함들을 일반적으로 총칭하여 용접부의 결함이라 한다. 이들 결함들을 시간의 손실 없이 효과적으로 검출해내어 용접부 전체의 품질을 효과적으로 판정하기 위한 용접성 평가 시스템 구축이 어느 때보다 절실하다. 본 연구에서는 레이저 비전 카메라를 이용하여, 용접부의 형상에 대한 원 데이터를 채취하고 이를 화상처리하고, 여기서 얻은 정보로 1차적으로 정량적 결함을 판별하고, 동시에 분류된 결함을 정성적으로 판단하기 위해 퍼지 패턴인식의 한 단계인 다중 패턴 인식을 이용하여 용접물 전체의 결함을 판정하였으며, 사용자의 편의를 위해 용접성의 결과가 화상별, 최종집계와 함께 이를 그래픽의 형태로 표시하여, 손쉽게 용접성 양부를 결정할 수 있게 하였으며, 이는 또한 생산라인에 적용하여 실시간 용접성 판별을 할 수 있는 기반 연구 성과를 제시하였다.

**Abstract** Through welding fabrication, user can feel unsatisfaction of surface quality because of welded defects. Generally speaking, these are called weld defects. For checking these defects effectively without time loss effectively, weldability estimation system setup is an urgent thing for detecting whole specimen quality. In this study, by laser vision camera, catching a rawdata on welded specimen profiles, treating vision processing with these data, qualitative defects are estimated from getting these information at first. At the same time, for detecting quantitative defects, whole specimen weldability estimation is pursued by multifeature pattern recognition, which is a kind of fuzzy pattern recognition. For user friendly, by weldability estimation results are shown each profiles, final reports and visual graphics method, user can easily determined weldability. By applying these system to welding fabrication, these technologies are contribution to on-line weldability estimation.

**Key Words** : Weldability Estimation(용접성 평가), Laser Vision System(레이저 비전 시스템), Weld Defects(용접 결함), Rawdata(원 데이터), Multifeature Pattern Recognition(다중 패턴 인식)

### 1. 서론

용접부의 결함은 치수상 결함, 구조상 결함, 성질상 결함으로 나눌 수 있으며, 이들 결함들은 용접물에 개별, 또는 복합적으로 포함되어 용접 전체 품질에 치명적인 효과를 가져다 줄 수도 있다.<sup>1)</sup> 시공중 이들 용접성을 평가하려는 노력들은 용접의 역사만큼 오래도록 이루어져 왔으나, 지금까지는 주로 용접전문가의 경험에 의해 수행되어 왔으며, 반복성과 일관성이 낮은 수동용접의 경우는

이상과 같은 평가시험법이 가능하였으나, 최근 생산성 및 비용의 개선과 고품질의 용접을 보장하기 위하여 용접의 자동화가 필수적으로 되었다.<sup>2)</sup>

자동화에는 실시간 판단이 선행되어야 한다.<sup>2)</sup> 이를 위한 노력의 일환으로 각종 기계적, 전기적 도구를 사용한 용접성 판별 기술들이 제안되어 왔으나, 최근 연구는 주로 센서를 이용한 모니터링과 비전을 통한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 현재 생산라인에 적용중이다.<sup>2)</sup> 이중, 비전 시스템의 사용은 비전 카메라를 이용하여 다른 모니터링 센서에 비해 비교적 간편하게 화상에 대한 정보를 추출해낼 수 있다.<sup>3)</sup> 그러나, 이들 비전시스템을 실시간 용접성 평가에 이용하려면, 추출되는 원 데이터만으

<sup>1)</sup>인하공업전문대학 기계공학부 기계설계과(교수)

\*교신저자: 이정익(jilee@inhatc.ac.kr)

로는 판단이 곤란하므로, 비전처리를 거친 후 데이터를 정성적, 또는 정량적으로 판단하여야 한다. 따라서, 본 연구에서는 레이저 테일러 블랭크로 맞대기 용접한 수개의 시편을 레이저 비전 카메라로 계측하고 여기서 얻은 원 데이터를 필터링하고, 비전처리 과정을 거친 후, 얻은 데이터로 부터 용접부의 결함을 정량적으로 판단한다. 그와 동시에 비드상의 용융 부의 불완전 용입과 같이 정성적으로 판단해야 할 결함들을 패턴 인식시켜 다중 패턴 인식을 이용하여 정확한 결함 판정이 이루어지도록 했으며, 이 방법의 결과로 용접된 제품에 대한 용접성 양부를 판정할 수 있었다. 용접성 평가의 결과는 사용자가 시각적으로 확인하기 용이하게 결과판정과 함께, 그래픽 처리하였으므로, 용접성을 확인하기 용이하며, 향후 생산라인에서 실시간 용접성 평가 시스템을 구성하기 위한 기반기술로서 큰 도움을 줄 것으로 생각된다.

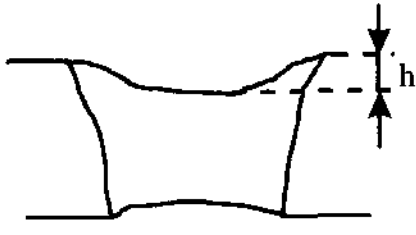
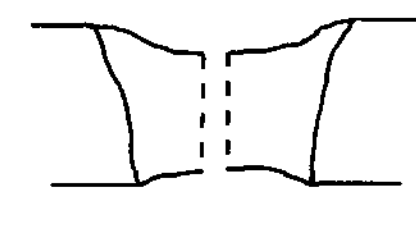
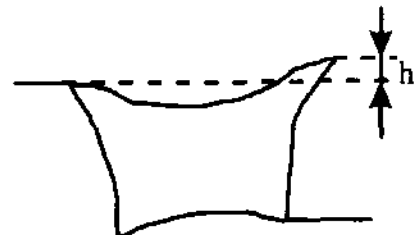
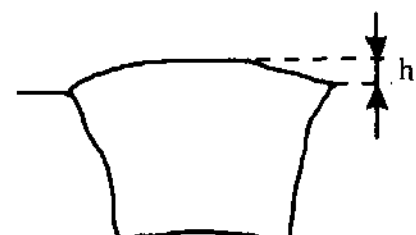
## 2. 본론

### 2.1 용접 결함의 분류

용접부 결함에는 용접부 자체의 결함과 모재부 결함으로 나눌 수 있으며, 여기서는 용접부 자체의 결함만을 다루기로 한다. 이러한 결함에는 언더컷(undercut), 용접면 불일치(mismatch), 형상오차, 치수결함등의 형상 결함, 균열, 홀(hole), 개재물 혼입, 용융불량등의 불연속 결함과 강도 부족, 연성 부족, 인성 부족 등의 물성 결함으로 나눌 수 있다<sup>4)</sup>.

실제 생산되는 용접물의 결함을 관측하기 위해서는 각종 용접 시험법이 수반되어야 하나 여기서는 용접 자동화를 위한 준비과정으로 지금까지 경험자의 시각에 의존하여 왔던 외관상의 품질을 레이저 비전 센서를 이용하여 실시간으로 계측후 빠르고 정확하게 판정하는데 연구의 목적을 두었으며, 이에 따라 레이저 용접에서 두께 1.0mm이하의 시편에서 품질에 중요한 영향을 주는 5가지 결함을 구성하였으며, 이외의 결함종류 및 평가방법은 향후 연구 후 추가할 예정이다. 5가지의 분류는 Good, Underfill, Hole, Mismatch, Excess Weld Metal(이후 EWM로 표현)이다. 본 연구에서 평가하는 결함에 대한 정의는 다음 표 1과 같다.

[표 1] 용접성 평가시스템에 사용된 결함의 정의

| 번호 | 결함 종류                   | 형 상   | 정 의   |
|----|-------------------------|---|---|
| 1  | Under-fill              |    | 용착부족이라고 하며, 과다 용융 열로 검출되는 결함 <sup>2)</sup> 주위 모재 표면보다 용접부 표면이 낮은 곳. 용접속도가 빠르거나, 전류가 낮아 용접홈을 충분히 못채워 주위 모재의 표면보다 낮은 곳. <sup>5)</sup> |
| 2  | Hole                    |   | 박판의 개선부에 기계적 결함이나 oil등 오염물질로 오염이 있는 경우 박판이면을 관통하는 구멍 결함(pinhole)에서크게는 keyhole보다 큰 구멍이 형성되기도 함. <sup>2)</sup>                        |
| 3  | Mis-match               |  | 용접면은 평행하지만, 일정높이 용접부 양끝단이 일치하지 않는 두 용접시편사이의 용접선이 일치하지 않는 상태의 결함. 과도한 입열 이나 변형으로 인한 발생. <sup>4)</sup>                                |
| 4  | EWM (Excess Weld Metal) |  | 맞대기 용접의 면에서 용융금속의 과다로 인한 결함. <sup>4)</sup> 일반적으로 맞대기 용접에서 용가봉이 침가되지 않는 경우 잘 생기지 않으며, no gap으로 인한 경우도 있고, 내부 결함의 가능성 있음.             |

### 2.2 용접성 평가 방법

용접성 평가 방법은 다음과 같이 비전 처리된 분할점, 분할 선으로 부터의 가장 깊은 위치에서의 깊이 및 각도의 정보로부터 정성적, 정량적인 방법으로 결함을 판별해 낸다.

다음의 그림 1을 통해 정성적, 정량적인 기준을 설명하고자 하는 것으로 모든 비전 처리된 프로파일은 6개의 분할점과 5개의 분할선으로 구성된다. 이들 분할점의 높이 정보(z 점값)를 정량적 판단으로, 제일 깊은 점과 원점과의 거리, 그 점에서 이웃하는 분할점들이 이루는 각, 이 두 가지를 정성적 판단의 정보로 한다.

#### 2.2.1 정량적 평가 방법

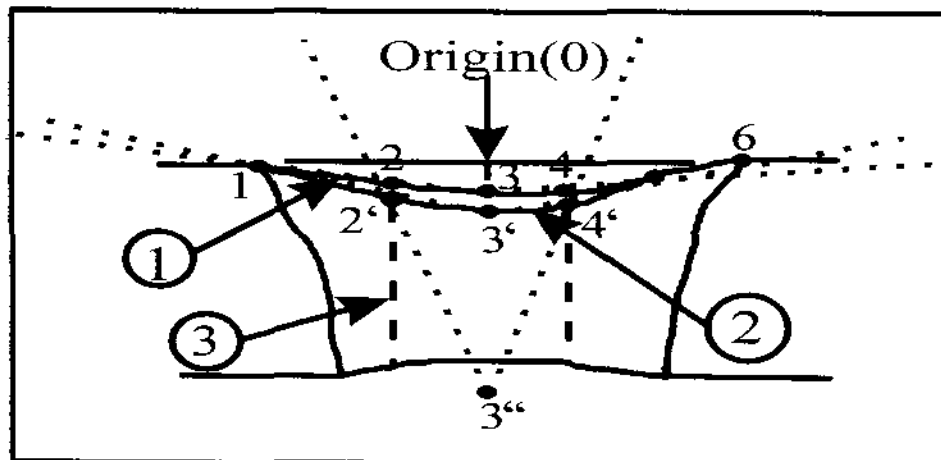
- 1) Hole : 비전처리후의 분할점(1~6점)중 1점이상이 시편두께 이상의 값을 보인다. 몇개의 점이 시편 두께이상인가, 또한 몇 개의 프로파일이 연속적으로 반복되는가에 따라 3차원적인 Hole의 크기가 예측된다. 즉, 그림1에서 ③의 경우 같이 용접 모재부

분 이 과열로 인해 녹아, 작게는 편홀이, 크게는 키홀 이상의 홀이 형성되어 3“점과 같이 모재보다 깊게 깊이 정보가 얻어진다.

2) Mismatch : 비전처리후의 분할점(1~6점)에서 1과 6점의 차이가 0.25T(T:시편두께)<sup>6)</sup>를 넘는 경우이다. 과다 입열로 생기는 결함이며, 선형 불일치(Linear Misalignment)라고도 한다.

홀과 마찬가지로 몇 개의 프로파일에 걸쳐 연속적으로 반복되는 경우 용접면 불일치의 크기를 예측할 수 있다. 정량적 판정에 있어 홀과의 복합적으로 발생된 경우 제품의 성질에는 홀이 더 큰 영향을 주므로, 홀을 우선 판정하게 했다.

3) EWM(Excess Weld Metal) : 비전처리후의 분할점(1~6점)에서 1, 6점을 제외한 2, 3, 4점이 모재 표면 위로 과다하게 솟아오르는 형상을 보여주는 결함으로, 일반적으로 박판의 용접에서 용접재료의 외부 공급 없는 제사용접(Autogeneous Welding)에서는 관측하기 어려운 비드형상이나<sup>7)</sup>, 본 연구에서는 시각적으로 EWM이 관측가능한 한 개의 시편의 판별에서 정량적인 판정이 가능했다.



[그림 1] 각과 깊이 정보를 지닌 비전처리후의 레이저 비드부

### 2.2.2 정성적 평가 방법

레이저 용접 비드 부에서 홀아닌 경우 언더필(Underfill)과 양호(Good)를 판정하기는 어렵다. 정량적으로 판정하기 어려운 이들을 판단함에 있어 깊이와 각을 인자로 한 퍼지 패턴 인식의 한 갈래인 다중 패턴인식 기법을 사용하였다. 그림 1의 ①은 비전처리 된 양호의 프로파일을 ②는 언더필의 프로파일을 나타낸 것이다. 원점에서 본 깊이와 각도의 특징은 식 (1), (2)와 같다.

Depth Parameter : ①의 깊이( $\frac{1}{03}$ ) < ②의 깊이( $\frac{1}{03'}$ ) (1)

Angle Parameter : ①의 각( $\angle 234$ ) > ②의 각( $\angle 2'3'4'$ ) (2)

식 (1),(2)를 통해 패턴을 이루는 멤버십 함수 및 무게 변수들(Weighting Parameters)은 다음 표 2와 같이 구성

된다. 깊이에 대한 멤버십 함수를 만들 때, 기존 연구 결과<sup>8),9)</sup>를 참고로 작성하였으며, 이를 그림 1에서 보면 다음과 같은 식 (3)을 유도할 수 있다.

$$\frac{1}{03} \leq 0.2T \quad (3)$$

[표 2] 정성적 평가를 위한 멤버십 함수와 가중치

| Original Condition    |       |       |
|-----------------------|-------|-------|
| Mode (pattern)        | Depth | Angle |
| Underfill             | Large | Small |
| Good                  | Small | Large |
| Weighting Parameters: |       |       |
|                       | 0.7   | 0.3   |

또한, 가장 깊은 깊이 때의 이웃하는 분할점이 이루는 각(Angle)의 멤버십 함수를 그림 3과 같이 만드는 기준은, 아래 그림2와 같이 7개 시편들의 두께별 데이터 분포도를 바탕으로 작성하였다. 분포도는 두께별로 나누었으며, 그림1과 식(1)~(3)을 통해 알 수 있듯이 데이터는 깊이가 깊으면 각이 작고, 깊이가 얇으면 각이 큰 형태로 분류되고 있으며, 각의 큰 기준은 그림2에서 보듯이 160도 이상에서 많이 분포함을 알 수 있었다. 이와 같은 조건으로 시편 7개의 다중 패턴 인식은 다음 식(4)~(12)의 순서로 수행된다.

A : the known pattern (판별 정의된 패턴 : Underfill, Good) (4)

B : the sample pattern (비전 처리후 주어지는 판별하려는 임의의 패턴) (5)

c : c-classic(c-patterns) (퍼지 변수 : depth, angle) (6)

$A_i = \{ A_{i1}, A_{i2}, A_{i3}, \dots, A_{im} \}$  (판별 정의된 패턴 2가지의 집합) (7)

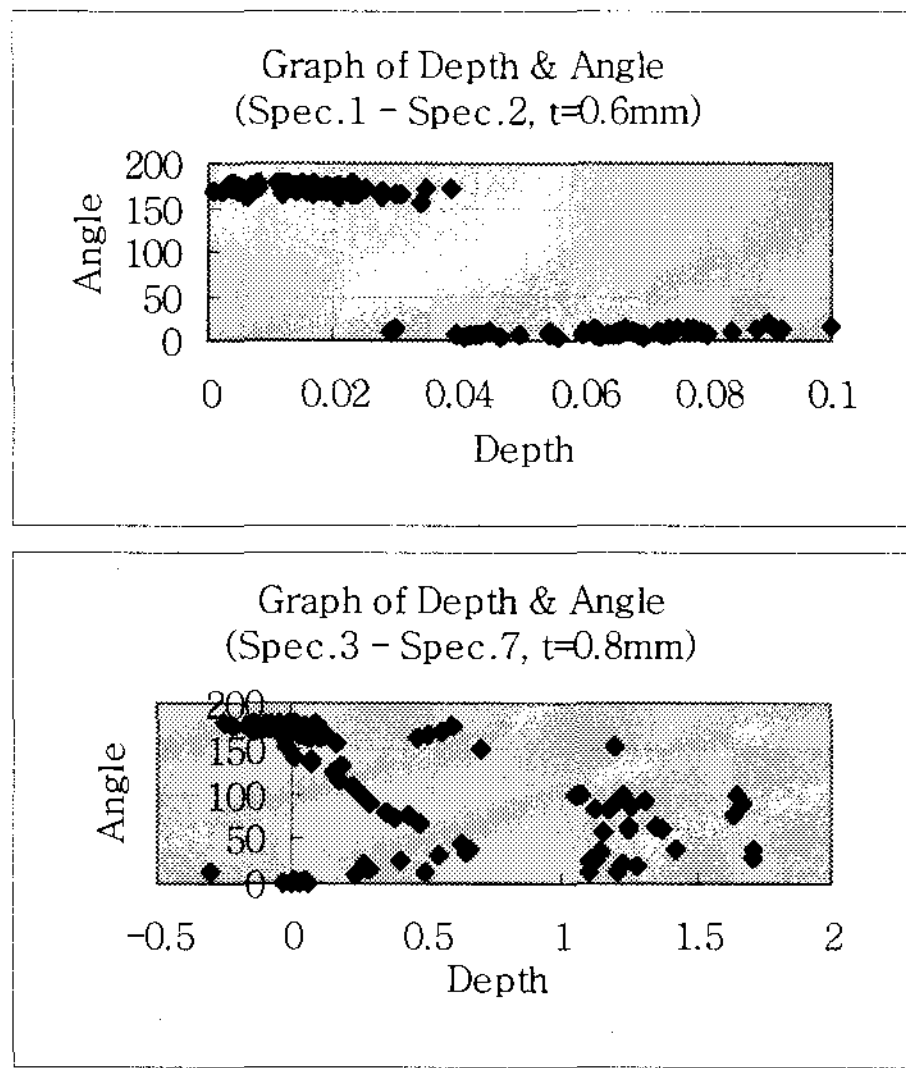
$B = \{ B_1, B_2, B_3, \dots, B_m \}$  (판단을 해야 할 임의의 패턴) (8)

normalized weighting factors  $W_i$ , where  $\sum_{j=1}^m W_j = 1$  (퍼지변수의 가중치) (9)

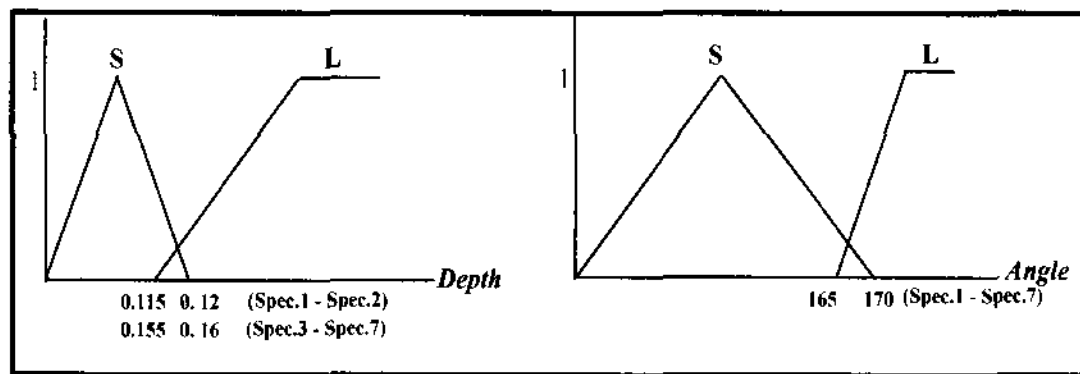
in the approaching degree concept,  $(B, A_i) = \sum_{j=1}^m W_j(B_j, A_{ij})$  (유사 패턴 찾음) (10)

then  $(B, A_i) = \max_{1 \leq i \leq c} \{ (B, A_i) \}$  (판별 정의된 패턴과 가장 유사한 패턴을 찾음) (11)

sample B is closest to pattern  $A_j$  (임의의 패턴 B는 정규화된 패턴  $A_j$ 와 가장 유사) (12)



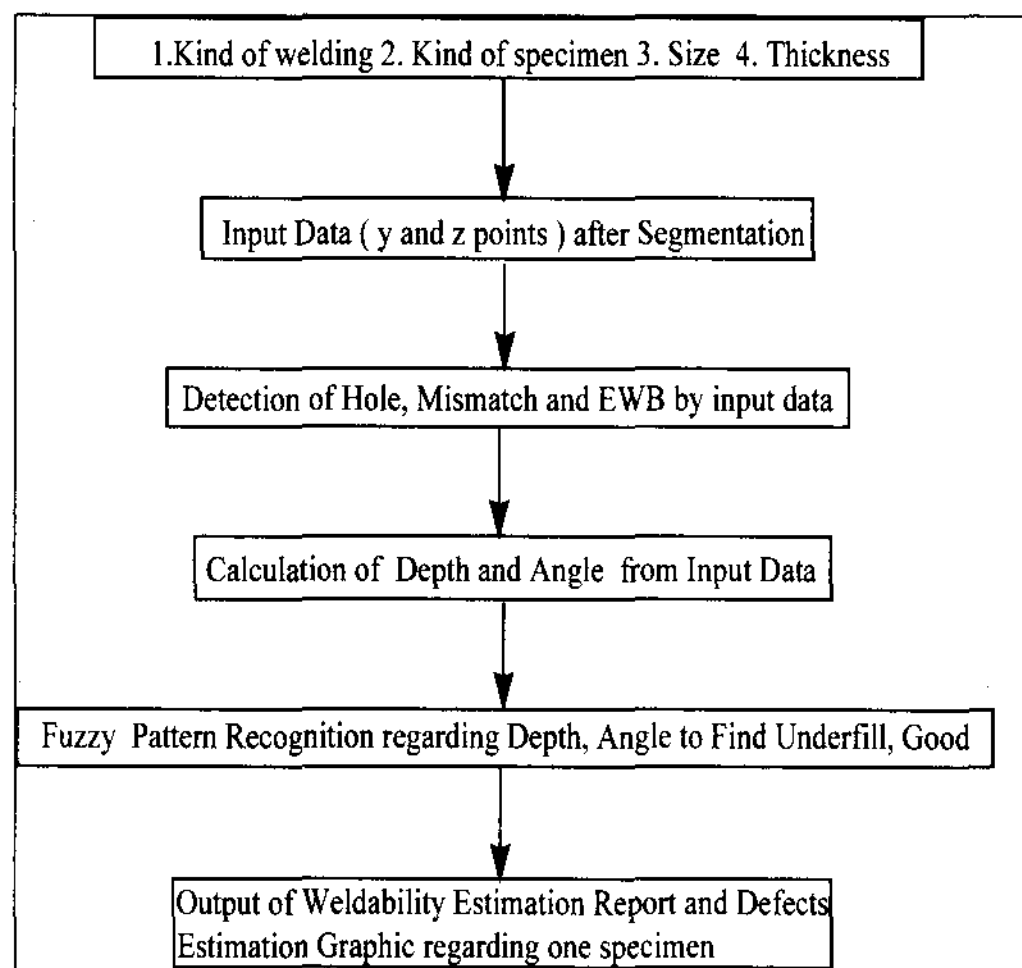
[그림 2] 정량적 평가의 Membership함수 기준을 위한 깊이와 각의 관계



[그림 3] 멤버십 함수

### 2.3 용접성 평가 시스템의 알고리즘 흐름도

연구의 시스템에 사용되는 데이터는 레이저 비전시스템(SMART-HR)에 의해 얻어진 순서도는 다음 그림 4와 같다.



[그림 4] 용접성 평가 시스템의 흐름도

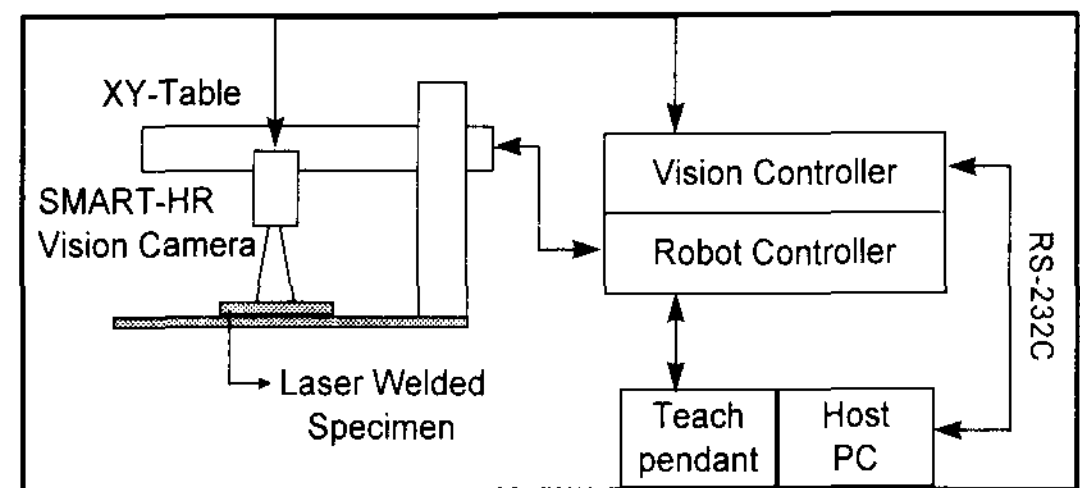
## 3. 실험 및 고찰

### 3.1 레이저 비전 시스템의 구성

결함 검출을 위한 비전 시스템은 캐나다 서보 로봇 (Servo Robot)사의 SMART-HR 3-D 레이저 비전 카메라를 레이저 비전 시스템으로 사용하였고, XY 테이블은 일본 시바우라(Shibaura)사의 시바우라 로봇 CM2 컨트롤러를 사용하였다. 비전시스템은 비전 카메라 헤드 (SMART-HR)와 컨트롤 장치인 스마트-박스 (SMART-BOX)시스템으로 구성되어 있다.

### 3.2 용접성 평가 시스템의 구성

연구에 사용된 시스템 전체의 개략도는 다음 그림5와 같다.



[그림 5] 시스템 전체 개략도

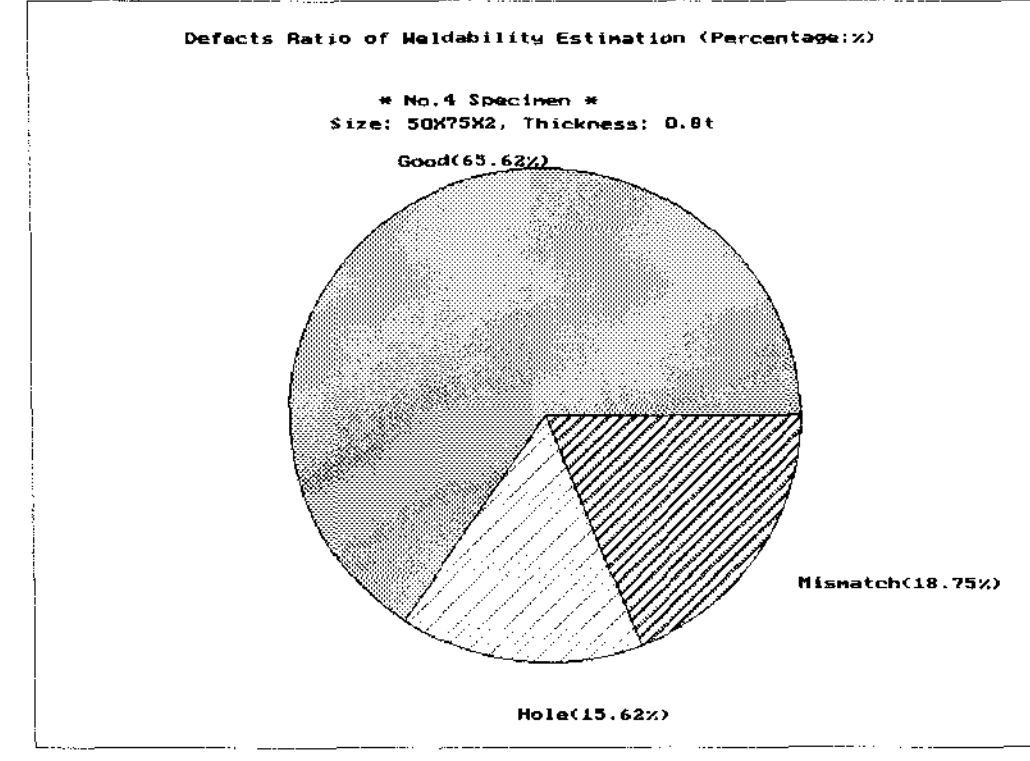
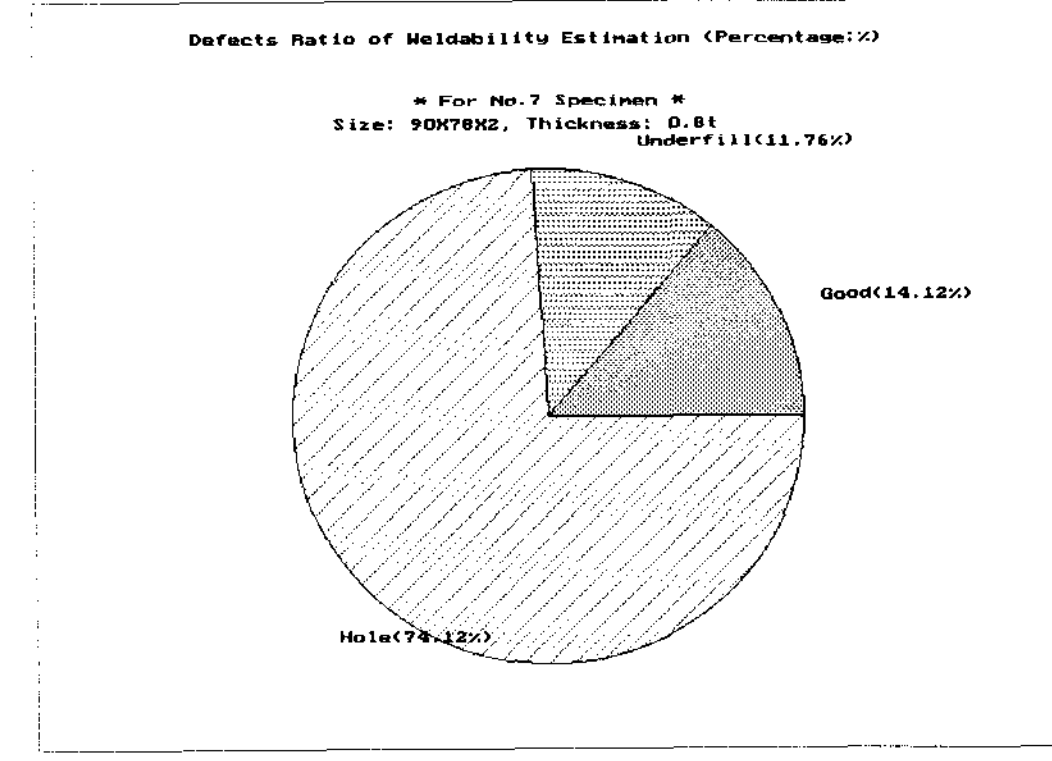
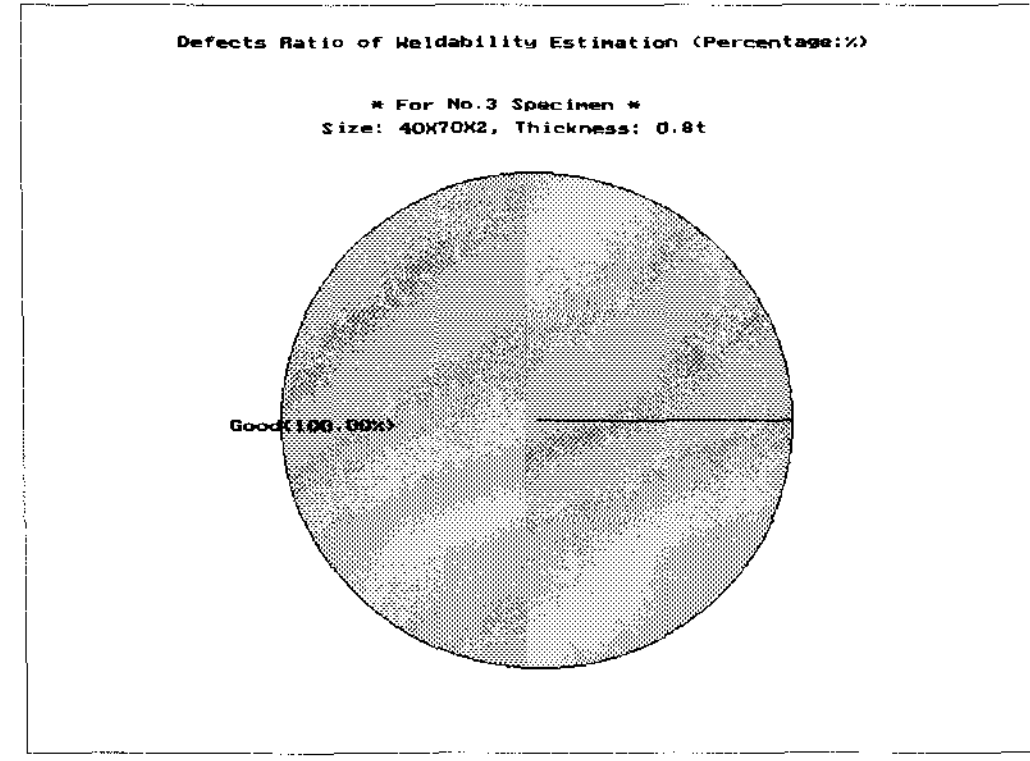
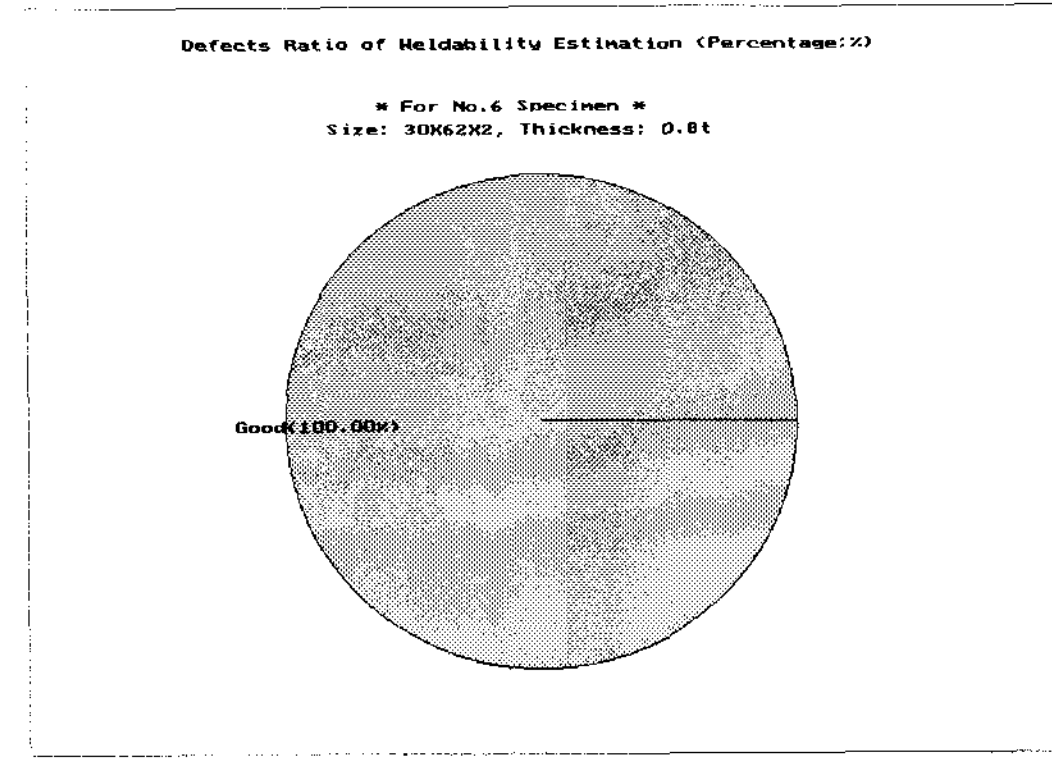
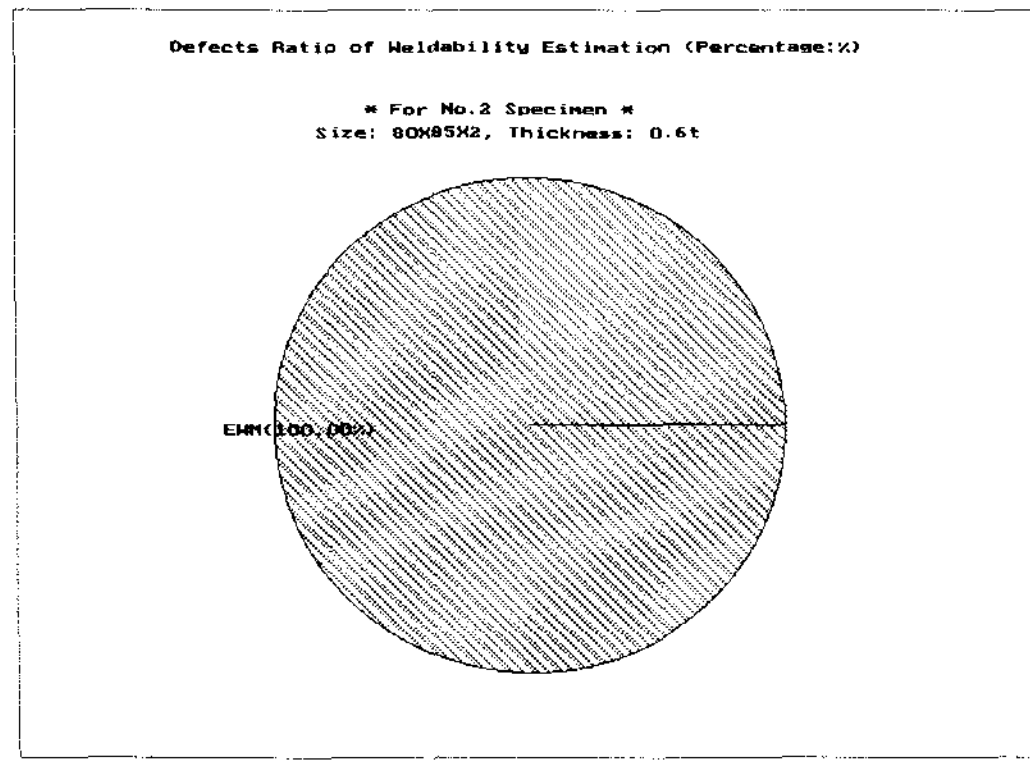
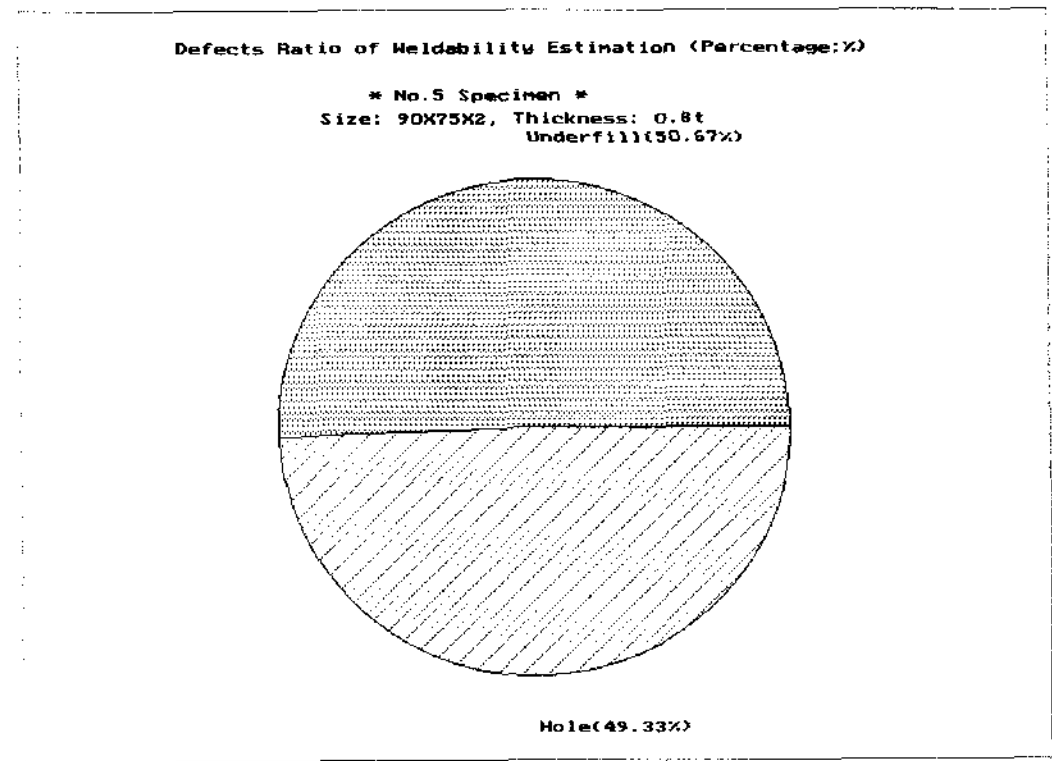
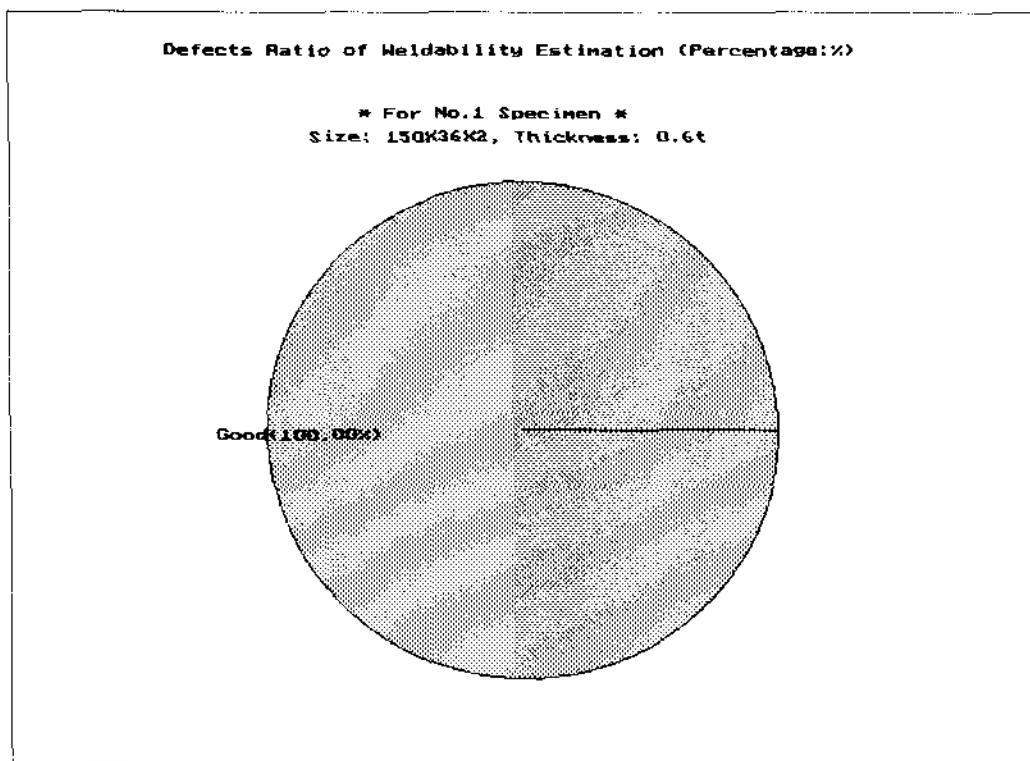
### 3.3 용접성 평가의 실험 및 고찰

평가에 사용된 시편은 자동차의 강판으로 많이 사용되고 있는 아연도금강판으로 두께, 크기 및 평가결과는 아래 표 3에 나타내었다. 실험에 사용된 합체박판은 0.8mm 시편들 경우, 용접속도(4m/min), 출력은 4kW CO<sub>2</sub>레이저 용접기이고, Gap은 0~0.075 (mm), 보호가스는 He, 초점 위치는 표면에서 0.6mm의 위치였다.

또한, XY 로봇(테이블)의 합체박판의 계측속도는 1mm/sec로 실험하였다. 이를 통한 실험 결과의 그래픽 결과는 아래 그림 6에 표시되어 있다.

[표 3] 실험시편의 두께, 크기 및 평가 결과

| No. | Thickness | Size(EA) (mm) | Inspection Profiles(mm) | Weldability Estimation Results(mm) |
|-----|-----------|---------------|-------------------------|------------------------------------|
| 1.  | 0.6t      | 150 X 36 X 2  | 80                      | Good(80)                           |
| 2.  | 0.6t      | 80 X 85 X 2   | 71                      | EWM(71)                            |
| 3.  | 0.8t      | 40 X 70 X 2   | 40                      | Good(40)                           |
| 4.  | 0.8t      | 50 X 75 X 2   | 32                      | Good(21), Hole(5), Mismatch(6)     |
| 5.  | 0.8t      | 90 X 75 X 2   | 75                      | Underfill(38), Hole(37)            |
| 6.  | 0.8t      | 30 X 62 X 2   | 27                      | Good(27)                           |
| 7.  | 0.8t      | 90 X 78 X 2   | 85                      | Good(12), Underfill(10), Hole(63)  |



[그림 6] 용접성 평가 결과 Specimen 1~7

#### 4. 결론

- 레이저 용접한 자동차 강판용 합체박판의 용접성 품질을 레이저 비전 검사의 데이터를 이용하여, 정량적 및 정성적으로 평가하는 방법을 제시하였다.
- 합체박판의 용접성 평가는 비전처리를 마친 수개의 분할점을 가지고 대부분의 정량적 결함을 판정할 수 있었고, 흠이 형성되기 전 박판의 비드 상에서 형성되는 두 가지 용접성은 퍼지의 패턴인식을 이



용하여 판단하는 방법을 제시하였다.

3. 크기와 두께가 다른 수개의 시편을 이용, 용접성을 평가해본 결과 시각적으로 검사하는 이상으로 좋은 결과를 얻을 수 있었으며, 결과 또한 사용자가 사용하기 편리하게 결함의 정도, 종류, 시편 전체 품질에 미치는 영향을 파악 할 수 있었으며, XY 테이블의 속도를 고려할 경우 결함위치 파악도 가능할 것이다.
4. 정성적 평가를 위한 멤버십 함수는 언더필(용인 불량)의 경우는 깊이는 크고, 각도는 작게로 작성하였고, 양호(Good)는 깊이의 경우 작고, 각도인 경우는 크게 하였다. 이는 용접 형상의 깊이와 각도에 대한 일반적 형상을 학습 시킨 것이며, 가중치는 깊이는 0.7, 각도는 0.3으로 정함으로써 레이저 용접 시는 이면비드의 깊이가 각보다 더 중요한 인자임을 알 수 있다.

### 참고문헌

[1] 엄기원, 1995, 최신 용접공학, 동명사, pp. 205-248.

[2] .K. Mori, 1992," Laser Process Automation ".Transactions of Japanese Welding Society, Vol. 10, No. 1, pp. 176-181.

[3] 장연건, 유병길, 이경돈, 1996, " Tailored Blank 용접을 위한 감시 제어장치 개발 ", 정밀공학회 '96 추계 학술대회 논문집, pp. 323-327.

[4] 이보영, 1997," 용접 구조물 결함과 손상사례 및 그 방지책 ", 용접공학 하계대학 교재, pp. 249-295.

[5] 대한용접학회편, 1992, 용접용어대사전, 원창출판사, pp. 312-350.

[6] Vanderwert, 1986, Industrial Laser Annual Handbook.

[7] 김기철, 1997, "Laser Tailored Blank 용접 기술", 용접공학 하계대학 교재, pp. 19-38.

[8] 서정, 한유희, 김정오, 이영신, 1998,"이종두께 강판의 CO2레이저 용접의 성형성", 대한용접학회지, Vol. 14, No.1, pp. 45-53.

[9] K. Ikemoto, Y. Niimi and T Iwa, 1994, "Application of Laser Welding for Automobile Body Panels", Transactions of Japanese Welding Society, Vol. 10, No.1, pp. 196-201.

[10] Park, J. W., 2007, "Computational modeling to predict the welding deformation in steel structures", Transactions of The Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 8, No. 1, pp. 96-102.

[11] Lee, J. S. and Kim, S. H., 2001, "Thermal analysis

of continuous coating welding-coated mild", Transactions of The Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 2, No. 1, pp. 7-12.

### 이 정 익(Jeong-Ick Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 한양대학교 공과대학. 기계공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 한양대학교 공과대학. 정밀기계공학과 (공학석사)
- 1999년 8월 : 한양대학교 공과대학. 정밀기계공학과 (공학박사)
- 1993년-1999년 : (주)대우전자. 중앙연구소 (선임연구원)
- 2000년-2006년 : 용인송담대. 자동차기계설계전공 (교수)
- 2007년-현재 : 인하공전. 기계공학부. 기계설계과 (교수)

#### <관심분야>

CAD/CAM/CAE, 공장자동화, 생산자동화, 사출금형, 유비쿼터스, MEMS, BIOMECHANICS