분할법과 평균거리 개념에 의한 용접 결함 표현 방법

이정익*, 고병갑+

(논문접수일 2006. 8. 16, 심사완료일 2006. 11. 16)

The Weld Defects Expression Method by the Concept of Segment Splitting Method and Mean Distance

Jeongick Lee*, Byungkab Koh+

Abstract

In this paper, laser vision sensor is used to detect some defects any co_2 welded specimen in hardware. But, as the best expression of defects of welded specimen, the concept of segment splitting method and mean distance are introduced in software. The developed GUI software is used for deciding whether any welded specimen makes as proper shape or detects in real time. The criteria are based upon ISO 5817 as limits of imperfections in metallic fusion welds.

Key Words : Vision Sensor(시각 센서), Defects Detection(결함 검출), Stripe(레이저 띠), Quality Levels(품질 등급), Segment Splitting Method(분할법), Mean Distance(평균 거리)

1. 서 론

용접결함은 치수상 결함, 구조상 결함, 성질상 결함으로 대분되며, 이들 결함들이 용접물에 개별 또는 복합적으로 포함되어 용접전체 품질에 치명적인 효과를 가져다 줄 수도 있다. 지금까지 용접 결함의 평가방법으로 초기에는 용접 전문가의 경험에 의존하였고, 그 후, 용접성 평가의 경우 결함의 위치, 종류, 방향 등의 정량적 정보는 비파괴 시험 검사법을 통해 알 수 있었다. 그러나 최근, 생산성 및 비용의 개선과 고품질의 용접 자동화 수행을 위한 용접 품질 검사방법의 일환으로 레이저 비전의 사용이 부각되게 되었다. 이미 레이저 비전 센서는 다층 용접 수행[1]을 위한 센서로서 그 적용성이 뛰어날 뿐 아니라 용접부 품질 검사에 이르기까지 그 실용성을 넓혀 가는 추세이다.

본 연구에서는 비파괴 검사 방법 중 외부 검사법으로 주사빔을 이용한 비전 센서를 이용해 얻어진 데이터로 특징점 추출 단계를 거치고 각 점을 선분들로 연결한다. 여기서 수행되는 특징점 추출은 분할법의 원리를 적용하였으며 특징점

* 인하공업전문대학 기계시스템학부 기계설계과 (jilee@inhatc.ac.kr)
주소: 402-752 인천광역시 남구 용현동 253번지
+ 인하공업전문대학 기계시스템학부 기계과

설정 기준과 찾아내는 방법을 기술하였다. 이러한 화상처리 단계를 거친 최종적인 이미지 형상을 ISO 기준에 입각한 GUI 화상에 평균거리 개념을 도입 용접성 결과를 실시간 나타냄으로써 임의의 용접물에 대한 용접성 판별을 가능하게 하였다.

또한, 용접 부에 요구되는 품질 등급에 따른 결함을 분류는 Table 1 에서 외관상의 결함을 크게 (ISO code)에 의거 기준 용접품질 판별 기준을 구성함으로서 용접 전문가의 시각적인 품질검사에 확신을 더해주며, 반복 또는 연속적인 작업에서 품질검사에 신뢰성을 높일 수 있다.

용접 부 품질 등급 중 B 등급은 고품질이 요구되는 정하중 구조물이나 피로하중을 받는 용접 구조물에 적용하는 품질 등급이며, C 등급은 정하중을 받는 보통의 용접구조물에 적용하는 품질 기준이고, D등급은 보통 용접구조물의 품질기준 이하의 경우 허용되는 등급으로 설명할 수 있다. D(moderate) → C(intermediate) → B(stringent)로 갈수록 같은 용접물에서 품질평가 기준은 더욱 엄격해짐을 나타내는 것이다.

2. 데이터 처리 및 GUI 제작 환경

2.1 원(raw) 데이터 처리 및 분할법

레이저 비전 카메라를 통해 획득한 용접 비드의 형태는 Fig. 1과 같이 나타난다. 그림의 레이저 띠는 일련의 점들(256개)로 이루어져 있다.

이것으로 비드 결함을 판별하기 위해 먼저 점들의 집합을 선 또는 곡선 성분들로 표현해야 한다. 프로파일을 표시하는 일련의 픽셀들 P_1, P_2, P_3, …, P_n이 주어진 경우 각 픽셀은 행과 열 번호에 의하여 좌표(x_i, y_i)로 나타낼 수 있다. 그러나 이와 같이 디지털로 표현된 프로파일은 픽셀의 이산적인 성질에 의해 본래 형태의 윤곽을 잘 나타낸다고 볼 수 없다. 보통 프로파일은 선분과 곡선을 포함하고 있다. 그러므로 주어진 픽셀의 정보를 이용해 본래 형태의 프로파일을 유연하게 표현하기 위해서 직선이나 곡선으로 근사화 시켜야 한다.

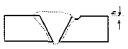
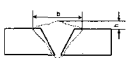
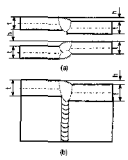
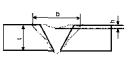
본 연구에 사용된 곡선 근사화를 위한 분할법에 쓰인 알고리즘은 다음과 같은 4단계로 수행된다.

1 단계. 주어진 곡선에 대하여 첫 번째 에지점 B_0와 마지막 에지점 B_6를 직선으로 연결.

2 단계. 곡선의 모든 점에 대하여 1단계에서 연결한 직선으로부터의 수직거리를 계산. 만일, 모든 점에 대한 직선거리가 경계치 보다 작으면 끝내고 그렇지 않으면 다음 단계를 시행.

3 단계. 직선으로부터 가장 먼 수직거리인 점을 절점(break point)으로 삼고 절점과 앞의 성분의 끝점을 연결함해 새로

Table 1 Limits for imperfections(ISO 5817 : 1992(E))

NO.	Imper fection designation	ISO 6520 reference	Remarks	Limits for imperfections for quality levels		
				Modeate D	Intermediate C	Stringent B
11	Undercut	5011 5012		h≤1.5mm	h≤1.0mm	h≤0.5mm
12	Excess weld metal	502		h≤1mm+0.25b max. 10mm	h≤1mm+0.15b max. 7mm	h≤1mm+0.1b max. 5mm
18	Linear misalignment	507		(a) Plates and longitudinal welds		
				h≤0.25t max. 5mm	h≤0.15t max. 4mm	h≤0.1t max. 3mm
				(b) Circumferential weld		
				h≤0.5t		
				max. 4mm	max. 3mm	max. 2mm
19	Incompletely filled groove	511		Long imperfections Not permitted		
				Short imperfections		
	sagging	509		h≤0.2t max. 2mm	h≤0.1t max. 1mm	h≤0.05t max. 0.5mm

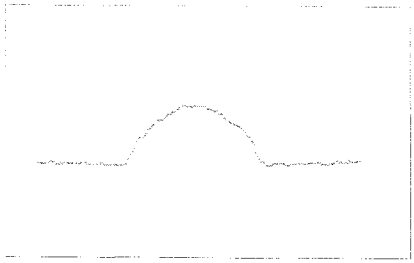


Fig. 1 Stripe of weld bead

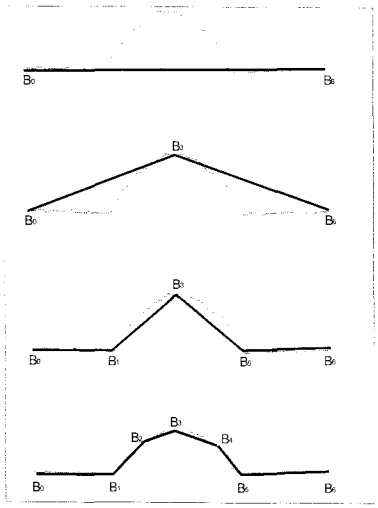


Fig. 2 Segment splitting method for a stripe representation

운 근사화 선분을 얻음(에지점 B_3).

4 단계. 다시 2단계로 돌아가서 반복적으로 시행. 이 반복적인 과정은 매우 효과적이며 이러한 분할법은 반복적 내부분할(recursive subdivision)이라고 함.

이 알고리즘에 대한 예시를 Fig. 2에 나타내었다.

2.2 용접품질 판단을 위한 GUI 환경 제작

본 프로그램은 Borland C++로 컴파일링(compiling)을 하고, DOS환경에서 프로그래밍 하였다. GUI(Graphic User Interface)를 이용하여 파일관리(file load, file save), 모재의 두께(base metal thickness), 판정 등급(quality levels), 비전 카메라의 파라미터, 각 화면의 시작과 종료 기능 등을 프로그램 상에서 조작할 수 있도록 하였다. 다음 Fig. 3은 전체 프로그램의 구성도를 나타낸 것이다.

Fig. 4는 top menu의 구성도이고, Fig. 5는 inspection

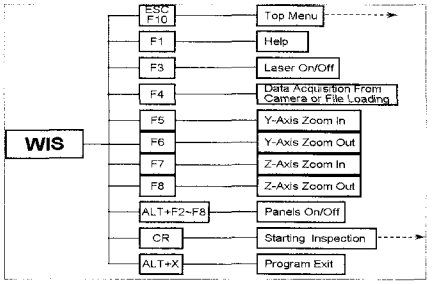


Fig. 3 Program configuration

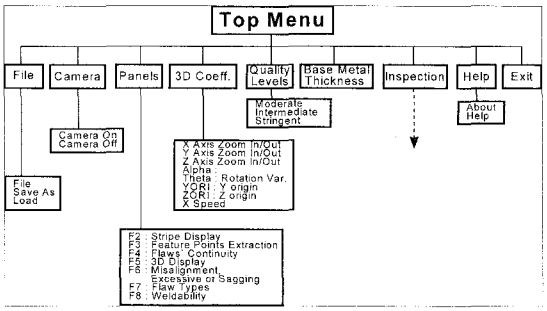


Fig. 4 Top menu configuration

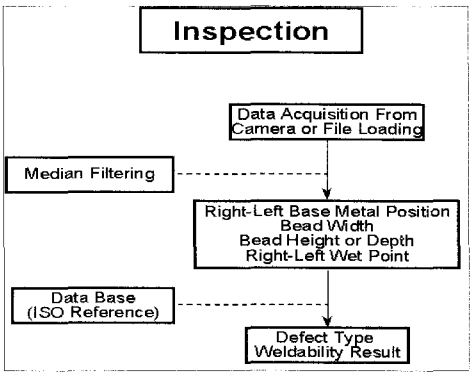


Fig. 5 Inspection module configuration

module의 구성도이다.

Fig. 2의 네 번째는 하나의 프로파일(profile)을 분할법을 이용하여 선분들로 연결한 형상을 나타낸 것이며 Table 2는 이 형상에서 용접성 판별에 필요한 성분들을 계산하는 방법에 관하여 설명한 것이다. 여기서, 절점들의 좌표를 $B_0(y_0,z_0)$, $B_1(y_1,z_1)$, $B_2(y_2,z_2)$ …… 라고 하자.

Table 2 Appellation and computation method

NO.	Appellation	Computation method	Explanations
1	Left wet point	B_0	Point B_0
2	Right wet point	B_6	Point B_6
3	Bead width	$\lvert y_{B_6} - y_{B_0} \rvert$	Difference y of Point B_6 to y of Point B_0
4	Left base metal position	$lbmp = \frac{\sum_{i=B_0}^{B_1} z_i}{N_1}$	N_1 : pixel No. from Point B_0 to Point B_1
5	Right base metal position	$rbmp = \frac{\sum_{i=B_5}^{B_6} z_i}{N_2}$	N_2 : pixel No. from Point B_5 to Point B_6
6	Misalignment	$\lvert lbmp - rbmp \rvert$	
7	Left excessive or Left sagging	$\lvert lbmp - z_{B_3} \rvert$	z_{B_3} : z value of Point B_3
8	Right excessive or Right sagging	$\lvert rbmp - z_{B_3} \rvert$	
9	Pit or Blowhole	$n(z_i < t) > c_n$ or $n(z_i = \mathrm{SHADOW}) > c_n$	t : thickness of base metal n : pixel No. c_n : SHADOW : constants

3. 실험 및 고찰

3.1 계측시편 및 실험용 하드웨어의 구성

결함 검출을 위한 비전 시스템은 레이저 비전 시스템을 사용하였다. 이 비전 시스템은 컨트롤 장치와 레이저 비전 카메라 헤드로 구성되어 있다. 용접 결함 판별 시스템은 PC, 비전 시스템, 모션 컨트롤러(motion controller), 2축 직교 로봇(2 axis cartesian robot)으로 구성되어지며, 구성도는 Fig. 6과 같다.

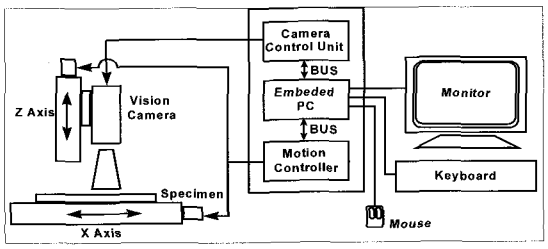


Fig. 6 System configuration for weld bead defects inspection

비전 시스템 컨트롤러는 적정 작동 상태로 카메라를 유지시키고, 변화하는 물체 표면 상태에 적응하기 위해 실시간 파워, 감도 등을 조절한다. 또한, 카메라 비디오 신호를 디지털화하고, 그 기능을 제어하며, 저 수준 이미지 처리를 행한다. 이 비전 시스템 컨트롤 시스템은 AMD 5x86 CPU를 장착한 산업용PC(Industrial PC), 비전 처리 및 레이저 파워와 스캐닝 컨트롤 등을 위한 DSP가 내장된 카메라 제어 장치로 구성되어 있다. 카메라 헤드는 깊이 측정을 위한 능동적 광학 삼각법을 응용한 거리 계측 장치로써 자동 동기 주사방식을 사용한다. 레이저에서 발생한 광선은 실린더 렌즈를 통해 빛의 면을 형성하여 측정 물체에 투사되고, 빛의 진로와 비스듬하게 위치한 렌즈가 물체 표면에서 반사되는 광선을 수광부에 비치게 한다. 수광부는 2D의 CCD로 구성되어 있어서 물체의 단면이 CCD상에 형성된다. 측정된 프로파일은 소프트웨어가 분리하여 단면상의 각 점의 위치를 계산한다. 광원으로는 출력 40mW, 파장 680nm의 레이저 다이오드를 사용하며, 또한 카메라의 렌즈 부에는 아크 용접시에 발생하는 아크 광, 스패터(spatter), 가스등에 의한 노이즈를 줄이기 위한 대역 통과 필터를 설치하고 있다. 이 레이저 카메라는 한 개의 프로파일이 256개점으로 이루어져 있으며, 초당 40개의 프로파일을 얻을 수 있다. 실험에 사용된 시편은 180mm×80mm×6mm 크기의 탄소강 2장을 V홈 맞대기로 용접(V

groove butt welding) 한 것이다(Photo. 1).

본 연구의 목적이 임의의 아크 용접된 시편에 대한 용접결함 검사시스템 구축이므로 실험에 사용된 시편은 전압, 전류, 공급 속도(feed rate)를 특별히 고려하지 않은 용접물로 설정하여 검사하였다. 본 연구에 필요한 것은 측정 길이와 처리속도, 결함의 종류를 실시간으로 정확히 결정할 수 있는 하드웨어 및 소프트웨어 시스템 구성이 중요하다.

이 시편은 과다 용입(excessive weld bead), 용입 부족(incompletely filled groove), 언더컷(undercut), 용접선 불일치(misalignment), 피트(pit)의 결함을 가지고 있다. 시편의 이동 속도(x-axis)는 6mm/s이고, 초당 20개의 프로파일을 읽어서 판단하였다(약 3profiles/mm). 또한 카메라의 깊이 측정 가능영역은 150mm이다. 본 연구에서는 80mm의 용접구간(약 240profiles)을 관측하였다. 시편의 측정 용이성 증대와 비드 중심에서의 데이터 추출을 용이하게 하기 위해 180mm 길이방향으로 알루미늄 은박지로 둘레를 포장하였다.

3.2 실험 결과 및 고찰

Photo. 1의 시편의 평가한 결과를 다음 Fig. 7에 나타내었다. 이 그림은 ISO D(moderate)일 때를 나타낸 것으로, 사용자의 편의에 따라 판정 등급을 D(moderate), C(intermediate), B(stringent)로 지정하여 용접품질을 판별할 수 있다.

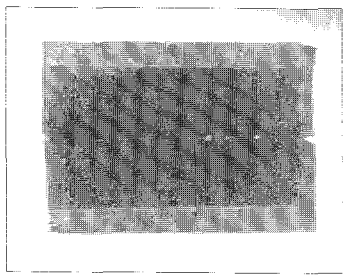


Photo. 1 Specimen for weld defects inspection

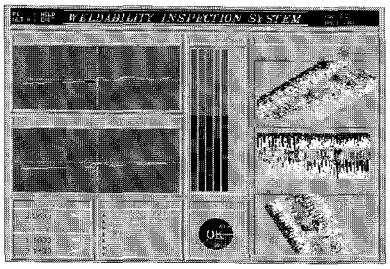


Fig. 7 Inspection result(moderate)

Fig. 8은 세 가지의 판정 등급에 따른 용접품질의 결과를 비율로 나타낸 것이다.

위의 실험에서는 결함 여부를 결함 집중성 표시자(flaws' continuity)의 패널에 연속적으로 표현된다. 그런데 이곳에는 결함이 집중되어 있는 곳과 산포(散布)되어 있는 곳으로 구분되어진다. 이러한 부분이 정말 결함이 있는지 혹은 계산상의 오차로 인하여 결함이라고 판단하여 발생한 것인지를 구분할 필요가 있다. 여기에서는 평균 거리(mean distance)라는 개념을 이용하여 결함이 집중적으로 발생한 곳을 수치적으로 표현하고, 검출해 보고자 하였다. 평균 거리라는 의미는 결함 집중 지수(flaw intensity index)라 할 수 있다. Fig. 9는 아크 용접성 판별기준 가운데 D(moderate)경우의 결함 집중성 표시자에 나타난 결함의 예를 보여준다. 그림에서 5개의 그래픽 표시자가 있음을 알 수 있으며, 이때, 각각의 표시자는 과다 용입, 용입부족, 언더컷, 용접선 불일치, 피트이며 결함의 분포를 붉은색으로 표시한 것으로 결함이 없는 곳은 파란색으로, 결함이 집중된 곳은 붉은색으로 표시되도록 하였다. Fig. 9의 지시자에 나타난 결과는 시스템을 구동시 프로파일마다의 용접품질과 각 결함들이 파일로 DOS환경에 저장된 후, 시스템 내부에서 이들 각각의 결함에 평균거리의 개념을 도입하여 최종적으로 나타난 결과임을 보여주는 것이다. 이 지시자들의 평가는 특징점 추출, 분할화를 통해 얻어진 데이터들을 앞서 Table 1의 D, C, B등

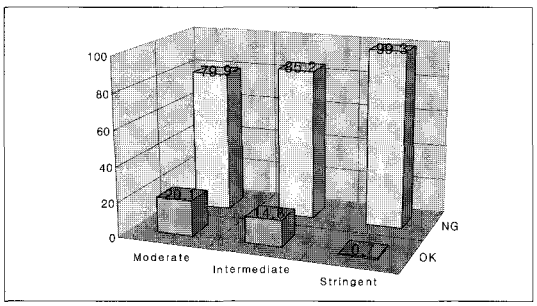


Fig. 8 Inspection results according to quality levels

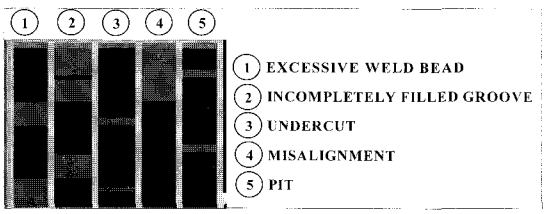


Fig. 9 Flaws' continuity of moderate

급의 지정 기준에 따라 각 결함들의 용접품질 평가결과를 보여주는 것이다.

평균거리(M_d , mean distance)분포 식은 식 (1)과 같이 정의한다.

$$M_d = \frac{\sum_{i=1}^{n-1}(S_{i+1} - S_i)}{n-1} \quad (1)$$

여기에서 S_i 는 결함 집중성 표시자에서 i번째 결함을 나타내고, $S_{i+1} - S_i$ 는 두 결함 사이의 거리를 나타낸다. 평균거리 값이 일정한 경계치(threshold) 이상이면 결함이 아니고, 그 이하면 결함으로 판단을 하게 된다. 본 연구에서는 결함의 집중도를 고려하기 위한 경계치를 4로 두었다.

본 연구에서는 처음 1～10 프로파일의 용접품질을 판단하고, 그 다음 중첩을 고려하면서 1씩 증분시킨 평균거리를 구하였다. 즉, 1씩 증분 시키면서 중첩시켜 구한 평균거리는 처리시간이 느린 단점은 있지만, 결함이 측정구간 사이에 걸쳐 존재하는 경우에도 효과적으로 검출할 수 있다는 장점이 있다. 평균거리의 개념을 도입하여 품질등급 D(moderate)일 때, Fig. 9의 검사길이에 대한 평균거리 결과(index of mean distance)와 각 프로파일들의 용접품질 결과(index of flaws)를 아래 Fig. 10에 나타내었다.

Fig. 10의 상측 부는 평균거리의 변화 추이를 관측 길이에 따라 나타낸 것으로 앞서 언급한 바와 같이 기준 10에서 4를 넘지 못하는 부분은 결함이 몰려 있는 곳으로 간주해야 할 것이다. 본 연구에서 평균거리 경계치 기준 4는 사용자가 임의대로 설정한 것이고, 이 값은 결함이 전혀 없는 최대 10을 시작으로 그 보다 작은 값을 가질수록 결함이 몰려있는 정도가 큰 값을 표시하는 것이며, 이 수의 결정에는 용접결과에 대한 사용자 나름대로의 전문적 경험과 식견을 가지고 결정해야 할 것으로 생각된다. 또한, 그래프의 하측 부는 관측길이(inspection length)부분에 결함이 없는 곳은 시스템을 수행시 1로, 결함이 발생한 부분은 시스템을 수행 시 0의 결과로 각 프로파일마다 표시되도록 하였다.

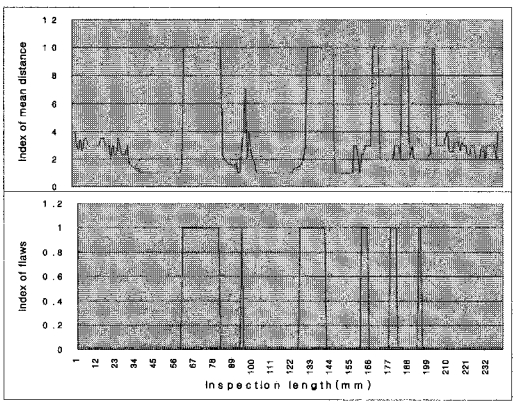


Fig. 10 Index of mean distance and flaws according to inspection length

이 실험 결과에서 보듯이 ISO 기준자체가 실제 현장에서 사용되는 품질등급의 기준을 말해주는 것으로서 본 실험에 사용된 Fig. 10과 같은 시편의 경우는 상당히 용접품질이 좋지 못한 용접물로 평가할 수 있다. 실제 유용한 용접물로 사용되기 위해서는 본 연구의 B(stringent)등급을 사용할 경우에도 결함이 거의 표시되지 않아야 할 것으로 생각된다. 이 실험 결과로 하나의 프로파일로 표현되는 결함들이 집중되어 있는 곳을 판단등급을 부여하여 구분할 수 있었고, 이를 이용하여 PC에서 결함인지 아닌지를 자동으로 구별 후 판별가능했다.

4. 결 론

가스 아크 용접에 의해 임의로 용접된 용접물에 대한 용접성 결함 평가에 있어 ISO 기준 결함작성, 분할법과 평균거리의 개념을 도입하여 GUI 환경을 만들고 비전센서를 이용 실시간 측정, 판별함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 판별등급을 ISO 5817 규정을 기초로 결함종류를 설정하고, 실시간적으로 결함을 판별할 수 있는 시스템을 고안하여, 임의의 용접물에서도 전체적 용접품질은 물론 평균거리 개념으로 결함의 중첩성도 쉽게 확인할 수 있도록 하였다.

(2) 용접품질 상태를 확인할 수 있는 비전센서를 이용한 GUI 환경의 프로그램을 개발하고, 환경 설정을 용이하게 할 수 있도록 고안하여, 다른 용접분야의 결함검출 및 측정에도 적용할 수 있음을 알 수 있었다.

(3) 결함의 표시 방법에 있어 최초로 평균 거리 개념을 이용하였으며 이 개념은 결함이 집중된 부분을 구별하고, 자동 판별해 전체 용접의 품질을 판정할 수 있도록 하였다.

참 고 문 헌

(1) Barnett, R. J., Cook, G. E., Strauss, A. M., Andersen, K. and Springfield, J. F., 1995, "A Vision-Based Weld Quality Evaluation System," Trends in Welding Research, *Proceedings of the 4th International Conference*, 5-8 June, Gatlinburg, Tennessee, USA, pp. 689~694.

(2) Anderson, R. C., 1993, "Inspection of Metals: Visual examination," American Society for Metals, Metals Park, OH.

(3) Anderson, K., Barnett, R. J., Springfield, J. F. and Cook, G. E., 1992, "Weldsmart: A Vision-Based System for Quality Control," *Final Report, NASA Contract NAS837685*, September.

(4) Lee, B. Y., 1997, "Defects, examples and prevention of welded structures," *Welding Summer School Textbook*, pp. 249~295.

(5) Jain, R., Kasturi, R. and Schunck, B. G., 1995, *Machine Vision*, MIT Press and McGraw-Hill, pp. 186~200.

(6) Yum, D. B., Ko, J. B., Choi, K., Lee, S. G. and Kim, A. K., 2002, "Evaluation of Resistance Spot Welding Weldability of Aluminium Alloy 5000 Series," *Transactions of the Korean Society of Machine and Tool Engineers*, Vol. 11, No. 3, pp. 8~13.

(7) Yoo, Y. T., Kim, J. Y., Ro, K. B., Yang, D. J., Oh, Y. S., Im, K. G. and Kim, J. H., 2003, "Estimation of Laser Welding Behavior of SM45C Steels by Plume Monitoring," *Transactions of the Korean Society of Machine and Tool Engineers*, Vol. 12, No. 6, pp. 14~21.

(8) Yoon, S. U., Kim, J. Y., Song, K. S. and Cha, Y. H., 2006, "The Development of Automatic Inspection System for Flaw Detection in Welding Pipe," *Transactions of the Korean Society of Machine and Tool Engineers*, Vol. 15, No. 2, pp. 87~92.