

# 강구조물 용접이음부 외부결함의 자동검출 알고리즘

## An Image Processing Algorithm for a Visual Weld Defects Detection on Weld Joint in Steel Structure

서 원 찬<sup>1)</sup> · 이 동 옥<sup>2)</sup>

*Seo, Won Chan Lee, Dong Uk*

**요 약 :** 본 논문에서는 강구조물의 제작 및 시공에서 용접이음부의 고품질을 확보하기 위하여 강구조물 용접이음부 외부결함의 자동검출에 관한 화상처리 알고리즘을 개발한다. 개발 알고리즘은 광학계의 적절한 배치에 의해 얻어지는 4매의 입력화상을 이용하여 기존의 기법에서 검출할 수 없었던 용접이음부 외부결함을 검출할 수 있음을 보인다. 용접 외부결함이 존재하는 시험편을 제작하고 실험을 통하여 개발 알고리즘의 유용성을 확인하였다. 또한 검출된 용접외부결함의 분류 결과를 육안검사 결과와 비교하였다.

**ABSTRACT :** The aim of this study is to construct a machine vision monitoring system for an automatic visual inspection of weld joint in steel structure. An image processing algorithm for a visual weld defects detection on weld bead is developed using the intensity image. An optic system for getting four intensity images was set as a fixed camera position and four different illumination directions. The input images were thresholded and segmented after a suitable preprocessing and the features of each region were defined and calculated. The features were used in the detection and the classification of the visual weld defects. It is confirmed that the developed algorithm can detect weld defects that could not be detected by previously developed techniques. The recognized results were evaluated and compared to expert inspectors' results.

**핵 심 용 어 :** 용접이음부, 비파괴검사, 품질관리, 육안검사, 용접외부결함 검출, 화상처리, 자동화

**KEYWORDS :** Weld Joint, Non-Destructive Testing, Quality Control, Visual Inspection, Weld Defects Detection, Image Processing, Automation

---

1) 정회원, 부경대학교 생산가공공학과, 전임강사, 공학박사  
2) 정회원, 부경대학교 토목공학과, 교수, 공학박사

---

본 논문에 대한 토의를 1999년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

산업의 고도성장 및 컴퓨터의 현저한 발전과 더불어 강구조물의 제작 및 시공에서도 자동화 기술의 개발이 요구되고 있다. 특히, 장대교량, 건축철골, 원자력발전소, 화학플랜트 등과 같은 강구조물은 고품질의 확보 및 품질관리의 관점에서 자동화기술의 개발을 필수로 하고 있으며, 이들 강구조물의 제작, 시공, 유지관리 및 보수점검 등의 자동화는 시급을 요하는 과제의 하나이다<sup>(1, 5, 6, 8, 9, 13)</sup>.

강구조물의 제작에서 부재의 이음부에는 필렛 용접 또는 맞대기용접이 실시된다. 이러한 용접 이음부에는 구조물의 강도에 유해한 언더컷, 오버랩, 피트, 표면균열 등의 용접결함이 발생한다<sup>(2, 3, 4)</sup>. 용접결함이 존재하는 부재에는 설계강도의 수배에 달하는 응력집중이 발생하기도 하며 경우에 따라서는 구조물에 치명적인 영향을 미쳐 구조물 전체가 파괴되는 기점이 되기도 한다<sup>(4, 7, 10, 11, 12)</sup>. 이와같이 구조물의 강도에 유해한 용접결함은 제작시부터 수정을 실시하여야 하지만 결함을 조사하기 위해서는 경험이 축적된 전문가를 필요로 하고 그에 따른 시간도 상당히 소요되므로 용접이음부 결함검출을 위한 자동화 기술의 개발이 절실한 실정이다.

한편 강구조물의 제작과 시공에 관련한 화상처리 기법을 이용한 자동화 기술개발의 연구로는 방사선투과시험 필름의 자동판독, 용융지형상계측, 용접선 추적 등이 보고되고 있다. 그러나 본 연구에서 대상으로 하는 용접이음부의 외부결함 자동검출에 대한 적용사례는 거의 없으며 단지 레이저 슬릿광을 사용한 용접결함 검출기법(광절단법)은 용접부 외부결함 중에서 언더컷과 오버랩만을 자동검출 할 수 있다<sup>(1, 5, 8, 9)</sup>.

본 연구에서는 강구조물 용접이음부의 외부결함을 제작시부터 자동으로 검출하여 강구조물의 건전도 및 고품질을 확보하기 위해 용접이음부 외부결함의 자동검출 화상처리 알고리즘을 개발

하고져 한다. 기존의 광절단법에서는 검출할 수 없었던 용접이음부의 외부결함인 피트 및 표면 균열을 포함한 언더컷 그리고 오버랩에 대한 자동검출 알고리즘을 구축한다. 실험에서는 용접 비드 표면에 인위적으로 결함이 존재하는 시험편을 제작하고 도로교 시방서<sup>(2)</sup>에 규정된 용접 비드의 외관검사서에서 피트의 크기, 균열의 폭, 언더컷의 깊이 및 오버랩의 높이에 대한 기준값을 기본으로 하여 용접외부결함을 검출한다. 검출된 용접외부결함을 분류하고 자동분류 결과를 육안검사 결과와 비교한다.

## 2. 용접결함의 종류

강구조물에서 용접이음부의 파괴강도·연성 등의 성능은 역학적 요인과 재질적 요인에 의하여 반드시 모재와 동등한 성능을 나타낼 수 없다. 용접이음부의 성능을 지배하는 역학적 요인 중에서 용접균열(weld crack), 용합불량(lack of fusion), 언더컷(under cut), 슬래그 혼입(slag inclusion), 기공(blow hole) 등의 각종 결함은 용접이음부의 파괴의 기점이 되기도 한다. 이들 용접결함을 가능한 한 적게 하기 위해 강구조물의 제작시부터 재료의 선택, 용접기술, 품질관리기술 및 검사기술의 개발에 노력하고 있지만 시공환경과 경제성의 개연성에 의해 결함을 완전히 제거하는 것은 거의 불가능한 실정이다<sup>(2, 3, 4, 10)</sup>.

용접이음부의 결함은 내부결함과 외부결함으로 나눌 수 있으며 용접내부결함은 방사선 투과 검사(Radiographic Testing: RT) 또는 초음파 탐상검사(Ultrasonic Testing: UT)를 실시하여 결함을 검출한다. 용접외부결함은 육안 검사(Visual Inspection Testing: VT), 자분 탐상검사(Magnetic Particle Testing: MT), 침투 탐상검사(Liquid Penetrant Testing: PT) 등을 실시하여 결함을 검출한다. 이들 용접외부결함을 검사하기 위해서는 경험이 축적된 전문가를 필요로 하며 작업시간, 작업환경 등의 많은 제약울

받는다. 따라서 이러한 용접외부결함은 제작시부터 수정을 실시하여야 하며, 이를 위한 자동화 기술의 개발이 시급하다. 그림 1에 맞대기 용접이음부에서 용접외부결함인 피트, 비드표면 균열, 언더컷 및 오버랩의 단면도 및 평면도를 나타내며, 본 연구에서는 이들 용접외부결함의 자동검출을 목적으로 하였다.

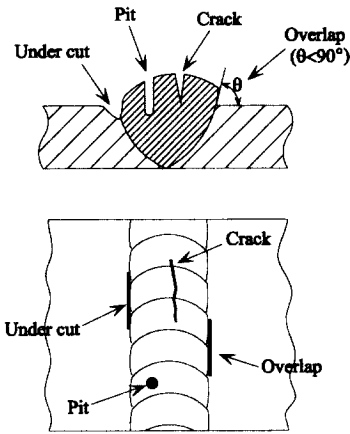


그림 1. 용접외부결함의 단면도 및 평면도

### 3. 화상처리에 의한 용접외부결함 검출 기법

#### 3.1 시스템의 구성

그림 2에 용접이음부 외부결함검출 시스템을 나타낸다. 용접비드부를 검사원이 직접 조사하는

대신에 소형의 CCD 카메라 등을 이용하여 컴퓨터에 디지털 화상으로 용접비드부의 화상을 획득한다. 화상처리부에서는 획득한 화상(입력화상)을 이용하여 용접결함을 검출하고 용접비드부에 대한 용접외부결함의 존재 유무를 판정한다. 아울러 결함의 특징량을 이용하여 결함의 종류를 분류한다. 이들 용접외부결함의 검출·분류된 결과는 로봇제어기를 이용하여 자동으로 보수용접을 실시할 수 있다. 이들 시스템이 공정중(on-line)에 실시간(real-time)으로 처리되면 전자동의 시스템이 완성된다.

본 연구에서의 화상처리 시스템은 화상입력장치(image input board), 화상해석장치(image processing part), 호스트 컴퓨터(host computer) 및 결과출력장치(image output)로 구성하였다. 화상입력장치는 카메라로 부터의 화상신호를 A/D(Analog to Digital)변환기를 통하여 양자화(quantization)하고, 화상해석장치는 전처리(pre-processing)를 비롯한 2치화 처리(bin- arization)<sup>(14, 15)</sup>, 영역분할 처리(segmentation)<sup>(16)</sup>, 특징추출 처리(feature extraction)를 통하여 용접외부결함을 검출하고 분류한다. 호스트 컴퓨터는 화상해석장치와 사용자간의 인터페이스(interface)로서 이용되며, 결과출력장치는 화상해석장치로 부터의 데이터를 표시하여 해석 결과를 가시화 한다.

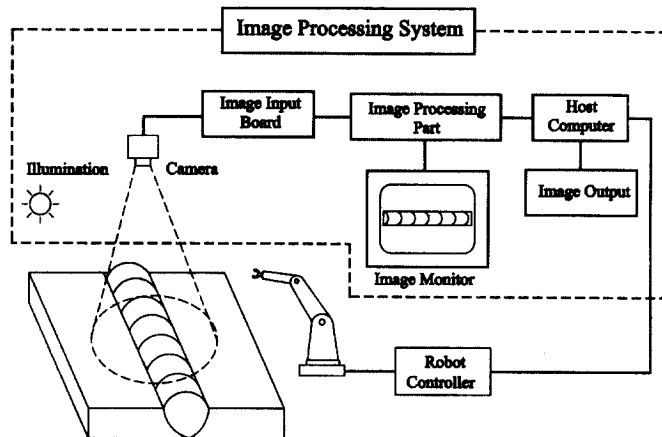


그림 2. 용접외부결함 검출 시스템

### 3.2 용접외부결합의 화상공학적 특징

2절에서 설명한 용접이음부 외부결합을 자동으로 검출하기 위하여는 카메라와 광원으로 구성되는 광학계를 적절히 배치함으로써 용접이음부 외부결합을 암부(暗部, dark part)로 나타낼 수 있다. 이 암부를 효과적으로 나타내기 위해서는 광학계의 배치가 매우 중요하다. 광학계의 적절한 배치에 의하여 관찰되는 용접외부결합의 암부에 대한 시각적 특징을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 피트 : 피트는 원형상의 암부로 관찰되며, 용접비드 양측 경계의 내부에 존재한다.
- 2) 균열 : 균열은 얇은 지그재그의 직선상의 암부로 관찰되며 용접비드 양측 경계의 내부에 존재한다.
- 3) 언더컷 : 언더컷은 긴 형상을 가지며, 용접비드 양측의 경계부에서 암부로 관찰된다.
- 4) 오버랩 : 오버랩도 언더컷과 같이 긴 형상을 가지며, 용접비드 양측의 경계부에서 암부로 관찰된다.

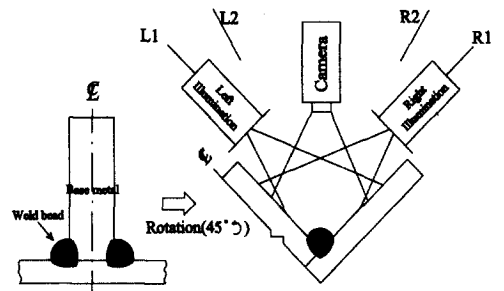
이상의 시각적인 특징에 관한 정보는 농도, 방향, 형상 및 위치의 화상공학적 특징으로 변환할 수 있다.

‘농도’는 용접결합부의 밝기에 대한 특징으로서, 검출대상 용접외부결합부와 그 외 부분의 상대적 밝기의 차를 이용한다. ‘방향’은 용접선 방향과 용접선 직각방향으로 나눌 수 있으며, 언더컷과 오버랩은 용접선 방향으로 길게 존재한다. ‘형상’은 용접외부결합의 종류에 따른 외부형태에 관한 정보로서 둥근 정도(원형도)를 이용하여 용접외부결합을 검출하고 분류한다. ‘위치’는 용접외부결합이 존재하는 위치에 관한 정보로서 대상이 되는 용접비드부를 벗어난 부분은 대상외의 영역으로 처리하고, 대상이 되는 영역중에서는 용접외부결합이 존재하는 용접비드의 경계부(용접비드와 모재와의 경계부)와 내부(용접비드의 표면)로 나눈다.

### 3.3 용접외부결합의 검출

#### 3.3.1 광학계의 배치

전절에서 설명한 용접외부결합의 화상공학적 특징을 효율적으로 이용하기 위하여 본 연구에서는 그림 3(a)와 같이 광학계를 배치하였다. 그림 3(a)의 좌측에 위치한 필렛용접부에 대해 우측에 보이는 바와 같이 용접이음부에 수직하게 카메라를 설치하였으며, 조명의 방향은 카메라 좌표를 기준으로 왼쪽에서 45° 그리고 오른쪽으로 45°의 범위(전체 시스템에서는 0° ~ 90°)로 설정하였다. 동일 위치의 용접비드부에 대한 4장의 화상을 획득하였으며, 이때 조명의 방향을 각각 0° (L1 위치), 15° (L2 위치), 75° (R2 위치), 90° (R1 위치)로 하였다. 이것은 용접외부결합의 종류에 따라 광학계의 배치를 상대적으로 조절하여야 하기 때문이다. 그림 3(b), (c),



(a) 광학계의 배치

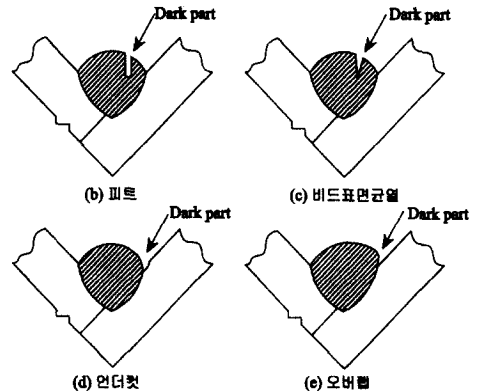


그림 3. 광학계의 배치와 용접결합의 암부

(d) 및 (e)에는 그림 3(a)의 용접비드부를 확대하여 나타내었으며, 피트, 비드표면균열, 언더컷 및 오버랩에 대한 압부의 위치를 각각 나타낸다. 용접비드의 경계부에서 언더컷은 조명과 같은 방향에서 압부로 나타나며, 오버랩은 조명의 반대 방향에서 압부로 관찰된다.

### 3.3.2 화상 데이터의 획득 및 화상간의 연산

용접외부결함의 검출처리에 앞서 용접비드부에 대한 화상 데이터의 획득은 소형 CCD 카메라 및 비디오 카메라를 사용하여 촬영하고 A/D 변환을 실시하였다. 입력화상의 크기는 확장성을 고려하여 512×480 화소(pixel), 각 화소에 대하여 256계조(brightness)로 양자화하였다.

동일한 용접비드 영역에 대하여 4장의 입력화상(이하, 각각을 좌측에서 우측으로 L1(0°), L2(15°), R2(75°), R1(90°)화상으로 표기함)을 획득하고 용접외부결함의 압부를 강조하기 위하여 L1화상과 L2화상(Case L), R1화상과 R2화상(Case R) 그리고 L1화상과 R1화상(Case C) 화상간의 각 화소에 대해 bit단위로 Bit OR 연산을 실시한다. 이러한 화상간의 Bit OR 연산은 2장의 입력화상에서 동일 위치에 압부로 나타나는 용접결함부의 계조치는 낮게 유지하지만 그외의 영역에서의 계조치는 높게 하여 용접결함의 압부를 상대적으로 강조하여 결함 검출을 용이하게 한다.

### 3.3.3 2치화 및 영역분할 처리

상기 화상간의 Bit OR 연산 후에는 전체 화상을 구성하는 각각의 화소에 대해 용접결함부일 가능성이 높은 화소(유의화소, meaningful pixel)를 구별하기 위해 2치화 처리(binazition)를 실시한다. 이때 2치화 처리의 문턱값(thresholding value)을 계산하여 문턱값 이하의 값을 가지는 화소를 유의한 화소로 판단한다. 2치화 처리에서의 문턱값 선정은 자동 2치화 기법을 이용하

였다<sup>(14, 15)</sup>.

2치화된 화상(2치화상)에서 유의화소는 단독으로 존재하지 않으므로 2치화상에 대하여 영역분할 처리(segmentation)<sup>(16)</sup>를 실시한다. 영역분할 처리에서 계산된 각각의 영역(segment)에 대한 1차 특징량으로서 면적 및 위치를 계산하고 1차 특징량의 설정 임계값과 비교하여 유의영역(결함가능영역)의 존재유무를 판별한다.

### 3.3.4 결함의 검출 및 분류

자동 2치화 처리 및 영역분할 처리 후에 결함가능영역에 대한 2차 특징량으로서 원형도, 위치, 방향을 계산하고 이를 이용하여 용접결함의 검출 및 분류를 실시한다. 이때 가장 중요한 특징량은 조명과 결함가능영역의 상대적 위치에 대한 정보이다.

그림 4에 나타낸 바와 같이 L1화상과 L2화상을 이용한 Case L의 경우, 용접비드의 좌측 경계부의 결함가능영역은 언더컷일 가능성이 높다. 이와 반대 방향인 용접비드의 우측 경계부의 결함가능영역은 오버랩으로 예상된다. 또한 용접비드 내부의 결함가능영역은 피트 또는 표면균열일 가능성이 높다. L1화상과 R1화상을 이용한 Case C의 경우, 결함가능영역은 용접비드의 양측 경계부에는 나타나지 않고, 단지 용접비드의 내부에 나타난다. 따라서 이 경우, 결함가능영역은 피트 또는 표면균열로 예상된다.

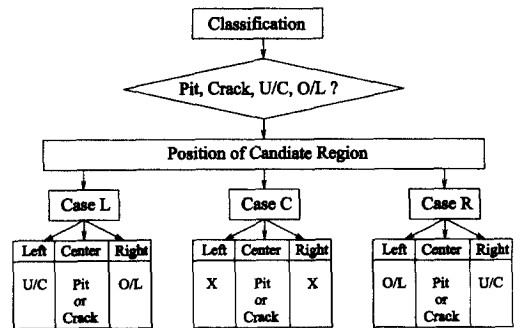


그림 4. 용접외부결함의 검출 및 분류를 위한 조명과 결함의 위치관계

R1화상과 R2화상을 이용한 Case R의 경우, 용접비드의 경계부에서 Case L과 반대의 현상이 나타난다.

상기 각각의 Case에서 조명의 방향과 결합가능영역의 위치에 대한 정보는 용접외부결합의 검출 및 분류에서 유용하게 이용된다. 또한 Case L, Case R 및 Case C는 동일 영역의 용접비드에 대한 결과로서 서로가 밀접한 관계를 가지고 있다. 이것은 각각의 Case에 대한 결과를 서로 비교·검토하여 검증함으로써 시스템의 신뢰성을 한층 높일 수 있다.

이상의 처리과정을 요약하면 다음과 같다.

- Step 1. 4장의 입력화상을 이용하여 Case L, Case R 및 Case C에 대한 Bit OR 연산을 실시한다.
- Step 2. 3장의 Bit OR 연산후의 화상을 2치화하고 각각의 Case에서 남아있는 화소의 값을 조사하여 서로 8연결(8-neighbors)이 되는 화소를 통합하여 1개의 영역으로 등록한다.
- Step 3. Step 2에서 등록된 각각의 영역에 대한 1차 특징량을 계산하여 1차 특징량에 대한 임계값을 이용하여 임계값 이하의 영역을 삭제한다.
- Step 4. Step 3.에서 남아있는 영역을 결합가능영역으로 결정하고, 이들 결합가능영역에 대하여 2차 특징량을 구한다.
- Step 5. 각각의 영역에 대한 2차 특징량의 임계값을 이용하여 유의영역 이외의 결합가능영역을 삭제하고 남아있는 결합가능영역을 용접외부결합이 존재하는 영역으로 판단하고 결합을 분류한다.

## 4. 용접외부결합의 검출실험

### 4.1 용접외부결합 검출

용접이음부의 외부결합을 자동적으로 검출하기 위해 용접비드 표면에 인위적으로 결합이 존재하는 시험편을 제작하고 앞 절에서 설명한 자

동검출 알고리즘을 적용하여 결합 검출의 성능을 평가하였다.

그림 5(a) 피트, (b) 비드표면균열, (c) 언더컷 및 (d) 오버랩에는 용접외부결합을 자동적으로 검출하기 위해 제작한 시험편의 화상을 나타낸다. 그림 6(a), (b), (c) 및 (d)에는 그림 5(c)의 언더컷에 대한 검출처리 과정의 화상을 나타낸다. 그림 6(a) 및 (b)에는 그림 5(c) 언더컷의 시험편 화상에 대하여 조명의 위치를  $L1(0^\circ)$ ,  $L2(15^\circ)$ 로 설치하였을 때 획득한 입력화상을 나타내며, 각각의 화상에는 용접외부결합인 언더컷의 영역이 암부로 관찰됨을 알 수 있다. 또한 그림 6(c)에는 그림 6(a) 및 그림 6(b) 화상의 Bit OR연산 후의 화상을 나타내며, 이 화상에서는 L1화상에서의 암부와 L2화상에서의 암부가 서로 중첩된 영역만이 타의 영역에 비하여 상대적으로 검게 강조되어 있음을 알 수 있다. 그림 6(d)에는 그림 6(c)의 Bit OR연산 후의 화상을 2치화한 화상을 나타낸다. 2치화한 화상에서 보이는 검은 점들은 유의화소(유의화소가 중첩되어 영역으로도 관찰됨)를 나타낸다. 이때 자동 2치화 기법에 의하여 결정된 문턱값은 32이었다.

그림 7(a) 피트, (b) 비드표면균열, (c) 언더컷 및 (d) 오버랩은 그림 5의 시험편에서 조명의 위치를 바꾸어 가며 획득한 입력화상에 대해 자동검출 알고리즘을 적용하여 용접외부결합을 검출한 후의 결과화상이다. 그림 7의 각각의 화상에 설정한 창 영역(사각형 영역,  $400 \times 300$  pixel)은 카메라의 초점이 흐려진 부분을 제외한 용접외부결합의 조사대상 영역이며, 설정한 창 영역 내부의 흰 사각형 부분들이 결합가능영역(id=1, 2, ...와 같이 표기)에 해당된다. 그림 7(a), (b), (c) 및 (d)의 결과화상은 2치화 및 영역분할 처리를 실시한 후, 면적, 위치에 대한 1차 특징량이 임계값 이하인 영역을 삭제한 후의 화상을 나타내며, 이때 사용한 1차 특징량에 대한 임계값을 표 1에 나타낸다. 표 1에서 면적에

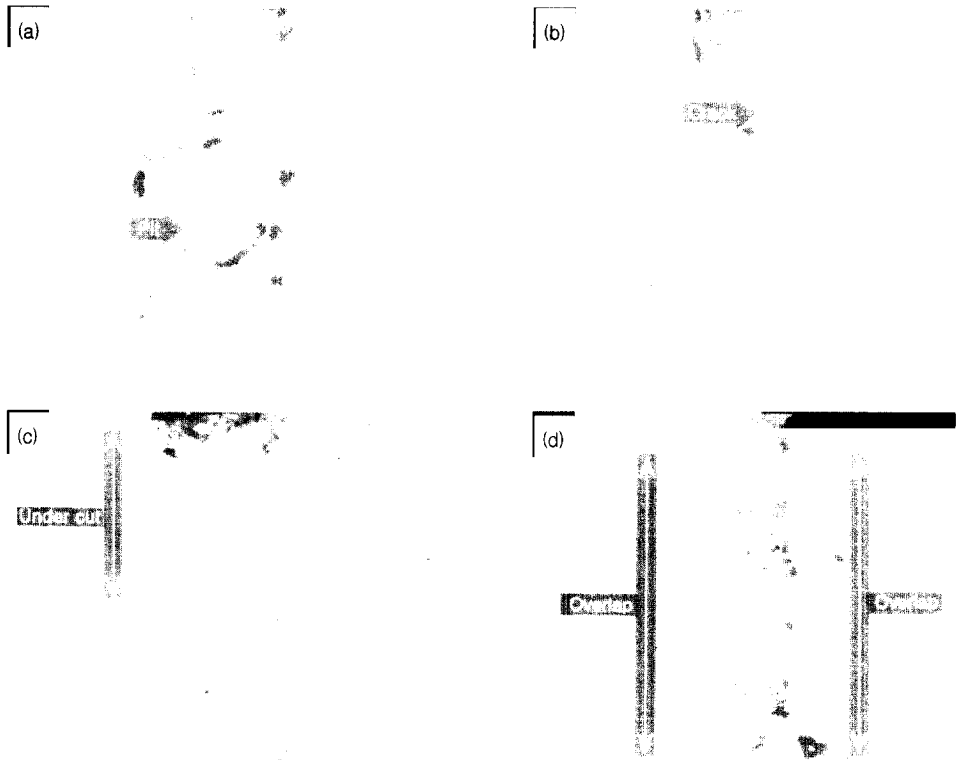


그림 5. 용접외부결함의 시험편 화상: (a) 피트, (b) 비드표면균열, (c) 언더컷, (d) 오버랩

대한 임계값은  $0.2\text{mm}^2$ 로 하였으며, 이 임계값은 다음과 같이 산정하였다. 조명의 각도가  $60^\circ$  (L2 혹은 R2 위치)인 경우, 피트 직경  $0.5\text{mm}$ 의 면적은 약  $0.196\text{mm}^2$ 이며, 균열의 폭이  $0.1\text{mm}$ , 길이  $10\text{mm}$ 인 경우의 면적은  $1.0\text{mm}^2$ 이다. 또한 언더컷의 깊이가  $0.3\text{mm}$ 인 경우, 화상에서 관찰되는 폭은  $0.1732\text{mm}$ , 길이를  $10\text{mm}$ 로 가정하였을 때의 면적은  $1.732\text{mm}^2$ 이다. 오버랩에 대해서는 높이  $0.3\text{mm}$ 인 경우, 화상에서의 폭은  $0.1732\text{mm}$ , 길이를  $10\text{mm}$ 로 가정하였을 때의 면적은  $1.732\text{mm}^2$ 이다. 따라서 면적에 대한 최소값  $0.2\text{mm}^2$ 를 임계값으로 하였다. 또한 표 1의 위치에 대해서는 언더컷의 깊이  $0.3\text{mm}$  및 오버랩의 높이  $0.3\text{mm}$ 는 조명의 각도  $45^\circ$  (L1 혹은 R1 위치)인 경우, 용접비드에 수직으로 위치한 카메라에서 관찰되는 최대폭은  $0.6\text{mm}$ 이므로 용접

비드의 폭과 언더컷 및 오버랩의 폭을 합산하여 비드폭  $\times 1.2$ 를 임계값으로 하였다. 이들 1차 특징량에 대한 임계값은 도로교 표준시방서에 규정된 용접비드의 외관검사에서의 기준값을 참조하여 설정하였다<sup>(2, 4)</sup>.

본 절의 용접외부결함 검출에서 그림 7(a), (b), (c) 및 (d)에 나타난 결함가능영역들은 용접이음부에 용접결함이 존재하는 것으로 시스템에서 판단된다. 여기에 용접외부결함의 분류기능이 추가된다면 시스템의 성능을 더욱 향상시킬 수 있다.

#### 4.2 용접외부결함 분류

결함가능영역을 분류하기 위한 2차 특징량으로는 결함가능영역의 원형도, 조명과의 상대위

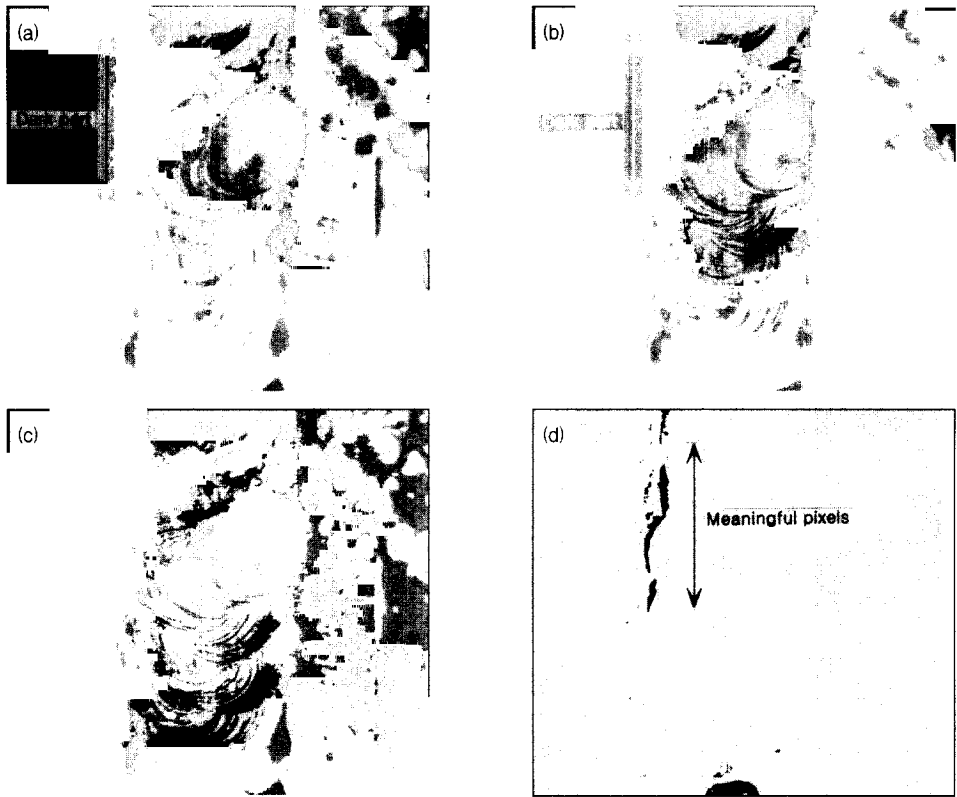


그림 6. 그림 5(c) 언더컷 처리과정의 화상: (a) L1(0°)화상, (b) L2(15°)화상, (c) L1 Bit OR L2 화상, (d) 2차화상

치 그리고 방향을 이용하였다. 표 2에는 이들 특징량을 이용하여 용접외부결함을 분류하기 위한 분류조건을 나타낸다. 이들 분류조건에서 원형도(roundness,  $4\pi \times \text{area} / \text{주위장}^2$ )는 0.7, 상대 위치(related position)는 그림 4의 용접외부결함 영역과 조명의 상대적 위치에 대한 정보를 이용하여 용접비드의 내부(on bead, bead width  $\times 0.15 \times 2\text{sides}$ ), 방향(direction)은 결합가능영역의 최대직경이 용접선의 직각방향(X축)과 이루는 각도( $90^\circ \pm 20^\circ$ )로 설정하였다.

표 3에는 그림 7(a) 피트, (b) 비드표면균열, (c) 언더컷 및 (d) 오버랩의 결과화상에 대한 Case, 해상도(mm/pixel) 및 결합가능영역에 대한 특징량을 정리하여 나타낸다. 결합가능영역의 2차 특징량을 이용한 용접외부결함의 분류에서는 표 2에 나타난 각각의 2차 특징량에 대한

분류조건을 모두 만족한 경우에 한해서만 용접외부결함을 분류하였고 그외의 영역에 대하여는 노이즈로 판정하도록 하였다. 예를 들어, 표 3에서 피트 id=1의 결합가능영역은 Case C, 해상도 0.0752mm/pixel, 면적 13.7mm<sup>2</sup>, 원형도 0.89, 위치 (x, y)=(258, 279)로 용접비드의 내부이며 피트로 분류되었음을 나타낸다. 또한 언더컷 id=2의 결합가능영역은 Case L, 해상도 0.0752mm/pixel, 면적 5.1mm<sup>2</sup>, 원형도 0.49, 위치 (x, y)=(142, 114)로 용접비드의 좌측 경계부, 각도 73.5°로 언더컷으로 분류되었음을 나타낸다. 표 3에서의 비교란은 본 연구의 알고리즘에 의한 자동 분류결과와 전문가에 의한 분류결과를 비교한 것으로 “○”표는 분류결과가 일치함을 “×”표는 분류결과가 일치하지 않음을 나타낸다.



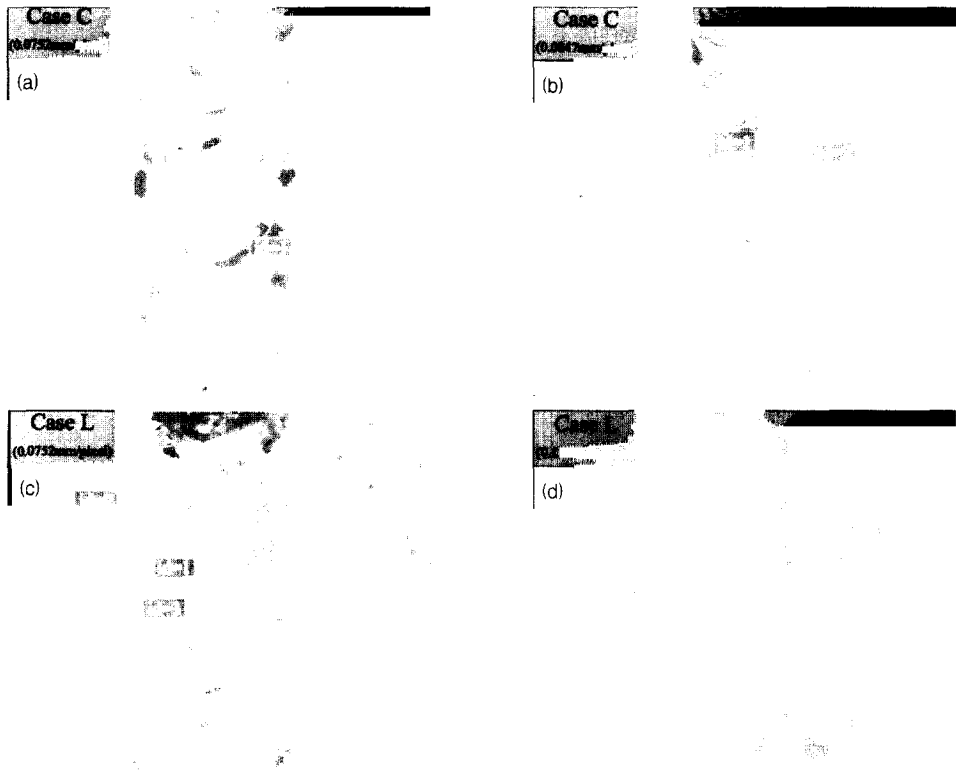


그림 7. 그림 5(a) 피트, (b) 비드표면균열, (c) 언더컷 및 (d) 오버랩의 결과화상

표 1. 1차 특징량 및 임계값

Priority	Threshold Level
Area	Area: erase under $0.2\text{mm}^2$ Pit dia. : $0.5\text{mm} \rightarrow 0.2\text{mm}^2$ , Crack : $0.1\text{mm}(\text{width}) \rightarrow 0.1\text{mm} \times 10\text{mm}(\text{length})=1.0\text{mm}^2$ Under cut : $0.3\text{mm}(\text{depth}) \times 0.17\text{mm}(\text{width}) \rightarrow 0.17\text{mm} \times 10\text{mm}(\text{length})=1.7\text{mm}^2$ Overlap : $0.3\text{mm}(\text{depth}) \times 0.17\text{mm}(\text{width}) \rightarrow 0.17\text{mm} \times 10\text{mm}(\text{length})=1.7\text{mm}^2$
Position	Position: Bead width $\times 1.2$ (each side 10%)

#### 4.3 실험결과에 대한 고찰

용접외부결함의 검출 및 분류 실험에서 표 3의 언더컷 및 오버랩의 2번 영역은 용접결함이 아닌 영역이 용접결함영역으로 검출되어, 분류에 있어서도 실제와는 다르게 인식된 것이 있었

다. 언더컷 2번 영역은 용접열에 의하여 모재가 검게 탄 부분으로 Case C 및 Case R의 경우에도 검출되었다. 오버랩 2번 영역은 스패터가 언더컷으로 잘못 인식된 것으로 Case C의 경우에는 검출되지 않았으며, Case R의 경우에도 그 위치에 대한 1차 특징량이 비드의 폭  $\times 1.2$ 의 범

표 2. 용접외부결함의 분류를 위한 2차 특징량의조건

Feature Weld Defect	Roundness	Related Position (Consider dir. of illumination)	Direction(Angle between max dia. and Horizontal dir.)
Pit	Accept: over than 0.7	On bead (Bead width×0.9)	Not considered
Crack	Accept: under 0.7	On bead (Bead width×0.9)	Not considered
Under cut	Accept: under 0.7	Bead edge side (Same side with illumination, bead width×0.15×2 sides)	Accept: 90° ± 30°
Overlap	Accept: under 0.7	Bead edge side (Opp. side with illumination, bead width×0.15×2 sides)	Accept: 90° ± 30°

표 3. 그림 7(a), (b), (c) 및 (d)의 결과화상에 대한 결함가능영역의 특징량 및 분류결과

Weld Defect Case (mm/pixel)	Pit Case C (0.0752)	Crack Case C (0.0847)		Under cut(U/C) Case L (0.0752)			Overlap(O/L) Case L (0.1224)		
	id=1	id=1	id=2	id=1	id=2	id=3	id=1	id=2	id=3
Area	13.7	10.9	2.1	23.0	5.1	7.3	16.2	8.9	67.3
Roundness	0.89	0.14	0.66	0.17	0.49	0.46	0.35	0.46	0.12
Position(x,y) Bead on or edge	(258,279) on	(282,132) on	(325,190) R edge	(153,143) L edge	(142,114) L edge	(147,143) L edge	(358,143) R edge	(189,218) L edge	(356,293) R edge
Direction	70.6	69.3	143.2	79.5	73.5	76.6	107.1	73.7	85.2
Classification	Pit	Crack	Noise	U/C	U/C	U/C	O/L	U/C	O/L
Comparison	○	○	○	○	×	○	○	×	○

위를 벗어나 검출되지 않았다.

언더컷 2번 영역의 잘못된 인식은 조명강도의 부적절함에 의한 농도의 영향으로 여겨진다. 오버랩 2번 영역은 스패터의 영향을 검출 또는 분류의 대상에 포함시키지 않음에 따라 잘못 인식되었다고 판단된다. 이와 같은 잘못된 인식을 줄이고 시스템의 인식율을 높이기 위해서는 각각의 Case(Case L, Case C 및 Case R)에서의 정보를 상호간에 적극적으로 활용하고 공유하여야 한다. 또한 용접열에 의한 모재가 검게 탄 부분 및 스패터의 미세거 등으로 인한 용접결함이 아닌 외적 요인들을 제거하면 본 연구의 알고리즘의 신뢰성은 더욱 높아질 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 강구조물의 제작 및 시공에서 용접이음부에 대한 고품질을 확보하기 위하여 강구조물 용접외부결함의 자동검출에 관한 화상처리 알고리즘을 개발하였다. 용접결함이 존재하는 시험편을 제작하여 실험에 의해 개발 알고리즘을 평가하였다. 본 연구에 의하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 4방향의 조명 및 카메라의 배치에 의한 광학계와 화상간의 Bit OR 연산을 통하여 용접결함부를 자동검출할 수 있음을 확인하였다.
- 2) 기존의 광절단법으로는 용접외부결함인 언더

컷, 오버랩만을 검출할 수 있으나, 본 연구의 알고리즘에 의하면 피트 및 표면균열에 대한 용접외부결함도 검출할 수 있다.

- 3) 용접외부결함과 조명의 위치관계에 대한 정보를 적극 이용함으로써 용접외부결함을 효과적으로 검출하고 분류할 수 있음을 확인하였다.
- 4) 본 연구의 알고리즘은 필렛 용접이음부, 맞대기 용접이음부 등에도 적용할 수 있으며 적용환경 및 적용대상에 그다지 제한을 받지 않는다.
- 5) 본 시스템의 실용화는 용접이음부의 객관적 품질평가를 가능하게 하고, 강구조물의 제작 및 시공과정에서 용접이음부의 외부결함을 보다 신속하고 정확하게 검출할 수 있다.

### 감사의 말

이 연구는 한국전력공사의 지원(97-지-14)에 의한 것으로 이에 감사드립니다.

### 참고 문헌

- (1) A. Masnata and M. Sunseri : "Neural Network Classification of Flaws Detected by Ultrasonic Means", NDT&E International, Vol. 29, No. 2, pp.87-93, 1996.
- (2) 대한토목학회 : 도로교표준시방서 -시공 및 유지관리-, pp. 829-850, 1996.
- (3) 대한토목학회 : 도로교표준시방서 -시공 및 유지관리-, pp. 829-850, 1996.
- (4) 한국강구조학회 : 강구조편람 제6권 -강구조물의 시공 및 유지관리-, pp. 83-120, 1995.
- (5) A Bicknell, J S Smith and J Lucas : "Infrared Sensor for Top Face Monitoring of Weld Pools", Meas. Sci. Technol., Vol. 5, pp. 371-378, 1994.
- (6) W. Seo and K. Inoue : "Active and Robust Contour Extraction by Biphased

Genetic Algorithm", IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E77-D, No. 11, pp. 1225-1232, 1994.

- (7) 中井 博, 北田 俊行 : 鋼橋設計の基礎, 共立出版(株), 1992.
- (8) 仲田周次, 黄杰 : "溶接プロセス制御用視覚システムの構築とその溶接線検出・自動追尾への應用," 日本溶接學會論文集, 第7卷, 第4號, pp. 467~472, 1989.
- (9) S. Bartlett, P. Besl, C. Cole, R. Jain, D. Mukherjee and K. Skifstad : "Automatic Solder Join Inspection", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol. PAMI-10, No. 1, pp. 31-43, 1988.
- (10) 李東郁·堀川浩甫 : "Fatigue Strength of Oneside-Welded Joint with Backing Strip," 日本土木學會論文集 I-4, 362號, pp. 231~237, 1985.
- (11) John W. Fisher : Fatigue and Fracture in Steel Bridges(Case Studies), John Wiley & Sons Inc., 1984.
- (12) 堀川浩甫·李東郁·石崎浩 : "鋼床版現場溶接継手の健全度," 既設の橋梁構造物およびその構成部材の健全度及び耐久性の判定に關するSymposium論文集, 日本土木學會 關西支部, pp. 133-139, 1983, 2.
- (13) Inoue K. : "Image Process for On-Line Detection of Welding Process," 日本溶接學會論文集, Vol. 50, No. 3, pp.18-25, 1981.
- (14) 大津展之 : "判別および最小2乗基準に基づく自動しきい直選定法," 電子情報通信學會論文集, Vol. 563-D, No. 4, pp. 349-356, 1980.
- (15) N. Otsu : "A threshold selection method for gray-level histograms", IEEE Trans., Syst. Man. & Cybern., Vol SMC-9, pp. 62-66, 1979.
- (16) F. Tomita, Y. Shirai and S. Tsuji : "Description of Textures by Structural Analysis", 6IJCAI, pp. 884-889, 1979.

(접수일자 : 1998년 9월 30일)