

은닉 마르코프 모델을 이용한 저항 점용접 품질 추정에 관한 연구

김 경 일* · 최 재 성*

*(주)아이엠티

A Study on the Quality Estimation of Resistance Spot Welding Using Hidden Markov Model

Kyung-Il Kim* and Jae-Sung Choi*

*Innovative Manufacturing Technology, Co., Ltd, Kyunggi-Do 449-860, Korea

Abstract

This study is a middle report on the development of intelligent spot welding monitoring technology applicable to the production line. An intelligent algorithm has been developed to predict the quality of welding in real time. We examined whether it is effective or not through the In-Line and the Off-Line tests. The purpose of the present study is to provide a reliable solution which can prevent welding defects in production site. In this study, the process variables, which were monitored in the primary circuit of the welding, are used to estimate the weld quality by Hidden Markov Model(HMM). The primary dynamic resistance patterns are recognized and the quality is estimated in probability method during the welding. We expect that the algorithm proposed in the present study is feasible to the applied in the production sites for the purpose of in-process real time quality monitoring of spot welding.

(Received March 15, 2002)

Key Words : Intelligent spot welding monitoring, Primary circuit, Dynamic resistance patterns, Hidden markov model (HMM), Real time quality monitoring

1. 서 론

자동차 차체 용접 공정의 대부분을 차지하고 있는 점 용접은 품질수준을 결정하는 핵심작업으로서, 이들 용접부의 품질에 의해 차체의 품질이 결정된다고 볼 수 있다. 따라서 안정적이고 지속적인 용접품질의 확보는 현장에서 요구하는 최우선 사항이다. 그러나, 실제 용접시에 형성되는 용접부의 품질 상태를 완벽하게 실시간으로 관리한다는 것은 매우 어렵다. 그 주된 이유를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 점용접은 금속과 금속사이의 보이지 않는 부위에서 용융부(혹은 너깃(nugget)이라 함)가 형성되므로 용접 불량 유무를 직접 육안으로 식별하기가 곤란하다.

둘째, 자동차 1대당 형성되는 약 3000~4000 개의

용접 점들을 제한된 시간 내에 모두 검사하기란 사실상 불가능하다.

따라서, 실제 현장에서의 품질검사는 제반 여건의 미비로 인해 매우 제약적이고 부분적으로 이루어지고 있다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 자체적으로 수행된 점용접용 지능형 타이머 개발 과제의 중간 결과물으로써, 용접중 형성되는 용접부의 품질상태를 실시간으로 감시하는 기술에 대한 이론적 배경 및 구현과정을 설명하였다. 특히, 인라인(In-Line) 및 오프라인(Off-Line) 테스트를 통하여 실제 생산현장에서의 적용가능성 및 문제점 등을 살펴보았다.

본 연구를 위하여 32-bit급 원칩(one chip) 마이크로프로세서인 DSP를 사용하여 점용접용 타이머(이하, 지능형 타이머라 함¹⁾)를 개발하였다. 이것은 기존의 타이머가 가지고 있는 일반기능들 외에 용접품질추정 및

품질제어를 위해 필요한 인공지능 알고리즘을 탑재하여 용접점 한 점 한 점에 대하여 체계적이고 효율적인 용접 품질관리를 수행하고자 하였다. 즉, 실시간으로 용접점 한 점 한 점에 대하여 품질상태를 추정하고 제어하여 최대한 용접불량을 방지함으로써 용접 타점 감소 및 검사 공정의 간략화를 꾀하고, 우수한 품질의 차체를 생산하여 품질 경쟁력을 높이고자 하였다.

본 연구에서는 용접시 용접부의 품질을 추정하기 위하여 공정 변수로는 동저항을 이용하였고²⁻⁷⁾, 동저항 변화에 대한 고찰은 용접 공정의 비선형 특성을 고려하여 인공 지능형 품질 추정 알고리즘을⁸⁻¹³⁾ 사용하였는데, 최근에 음성인식 분야에서 패턴인식 방법으로 가장 각광 받고 있는 은닉 마르코프 모델(Hidden Markov Model, HMM)을¹⁴⁻¹⁷⁾ 이용하여 점용접의 품질을 실시간으로 추정하고자 하였다.

또한, 생산현장의 특성을 고려하여 용접기 1차측에서 저항의 변화를 관찰하였으며, 여러번의 반복 테스트를 통하여 지능형 타이머의 적용가능성을 확인하고자 하였다.

2. 1차측에서의 동저항 모니터링

2.1 1차측 동저항 측정의 필요성

일반적으로 동저항의 변화는 용융부의 생성 즉, 너깃 형성과 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 밝혀져 있다. 이전에 행해진 대부분의 연구에서는 2차측 센서에 의한 용접 공정 신호(전류, 전압등) 모니터링 방법을 사용했는데, 이것은 다음과 같은 문제점들을 포함하고 있다.

첫째, 실제 현장의 생산환경을 고려해볼 때, 2차측에서의 동저항 모니터링 및 피드백은 현실성이 떨어진다. 2차측 동저항 모니터링을 위해서는 용접 건(gun)의 끝단에 센서를 설치해야하는데, 이는 작업시 방해가 되며, 용접기가 고정되지 않고 움직이는 경우 단락이 발생하고, 용접시 발생하는 스파터(splatter)로 인해 손상될 가능성이 크다.

둘째, 텀간의 동저항을 계산하기 위한 전압 실패치를 모니터링 할 때 문제점이 발생한다. 전압 모니터링시 전극사이에 설치된 전선(lead wire)에는 유도기전력이 유기되며, 이 기전력의 크기는 전선의 종류나 설치된 형태에 따라 다르게 변화한다. 그리고 전압신호는 적분기를 통하여 그대로 적분되므로 적분기가 포화되지 않도록 설계해야 한다. 이러한 이유로 모니터링 되는 실제 전압값의 범위는 크게 감소되어 신호의 효용성을 떨어뜨릴 수 있다.

셋째, 근래 들어 생산현장에서 사용되고 있는 여러

타이머 제품들을 살펴보면, 1차측에서의 공정 신호 검출을 주로 하고 있으며, 이를 이용하여 용접 품질을 제어하는 기능들을 활용하고 있다. 따라서, 이러한 사항들을 고려해 볼 때, 1차측에서의 동저항 모니터링은¹⁸⁻²⁰⁾ 반드시 필요하다고 할 수 있다.

2.2 1차측 동저항 측정의 이론적 배경

본 연구에서는 1차측에서 동저항을 측정하고 이를 이용하여 품질을 추정하는 시스템을 개발하였는데, Fig. 1은 이상화된 점용접 회로를 나타내고 있다. 이 회로에서 트랜스포머를 포함한 모든 요소들은 R과 L로 이상화되었으며, 트랜스포머의 1차측 또는 1, 2차를 모두 포함하는 등가회로로 생각할 수 있다. 회로에 흐르는 전류는 1차측과 2차측에서 권수비(N)와의 관계로 나타낼 수 있다. 이 회로에 대한 미분방정식은 식(1)과 같다.

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V_m \sin \omega t \tag{1}$$

Fig. 1과 식(1)을 살펴보면, 용접회로는 단순한 R-L 회로임을 알 수 있다. 따라서, 용접 트랜스포머가 이상적으로 제작되었다고 가정하면 1, 2차측의 전류·전압의 관계는 다음과 같다.

$$i_2 = N i_1, v_2 = v_1 / N \tag{2}$$

여기서, N : 트랜스포머의 권수비 (N_1/N_2)

따라서 2차측에서의 저항성분은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$R_2 = \frac{v_2}{i_2} = \frac{v_1 / N}{N i_1} = \frac{v_1}{N^2 i_1} = \frac{R_1}{N^2} \tag{3}$$

즉, 1차측의 저항성분과 트랜스포머의 권수비를 알면 2차측의 저항성분을 계산할 수 있다는 결론을 얻을 수 있다. 단지, 문제가 되는 것은 1차측의 저항성분을 측

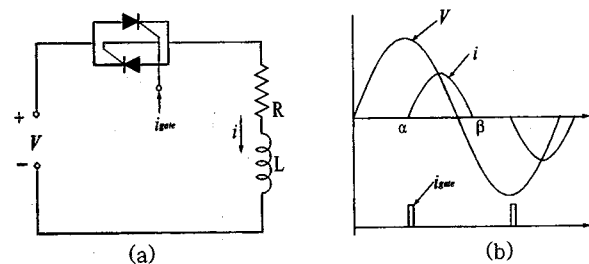


Fig. 1 Idealized circuit of the spot welding(a) and the concept of phase control(b)

정하는 방법에 대한 것이다. 여기서 식(1)을 다시 살펴 보면, 다이리스터가 점화를 시작해서 전류가 최대치가 되는 시각 t_m 에서 즉, $di/dt=0$ 가 될 때, 이 회로에서 인덕턴스(L)의 효과가 순간적으로 사라지게 되므로, 다음의 식이 성립하게 된다.

$$Ri(t_m) = V_m \sin \omega t_m = v(t_m) \tag{4}$$

$$R = \frac{v(t_m)}{i(t_m)} \tag{5}$$

식(5)에서 알 수 있듯이, 전류가 최대치가 되는 순간의 전류값과 전압값을 읽으면 저항성분을 계산할 수 있게 된다. 이때 읽어들이는 전류와 전압의 값은 1차측에서의 값이며 계산된 결과도 1차측의 저항값이 된다. 따라서 나머지는 식(2),(3)을 이용하여 2차측의 저항값을 계산하면 되는 것이다. 그런데, 이러한 방법으로 측정되는 저항값은 실제 용접 전극간의 저항치가 아니라는 사실이다. 즉, 2차측의 저항성분은 트랜스포머 자체의 내부저항, 용접기의 전극이 가지고 있는 저항, 용접 팁 사이에 존재하는 용접대상물 자체의 고유저항 및 용접시의 접촉저항 등으로 나눌 수 있다. 그리고, 트랜스포머의 권수비(N)를 이용하여 2차측의 저항치를 계산하는 것은 반드시 어느 정도의 오차를 수반하게 되는데, 그 이유는 이상적인 트랜스포머는 존재할 수 없기 때문이다. 그러나 순간적으로 용접이 이루어지는 동안 용접 팁간의 저항치를 제외한 모든 저항성분은 일정하게 유지된다고 가정할 수 있으므로, 용접시 저항치의 변화는 용접대상물의 저항치 변화라고 판단할 수 있다.

실제로 전극간의 정확한 저항값 계산을 위해서는 2차측에서의 측정이 바람직하지만, 현장의 특성상 1차측에서의 저항값 측정이 요구되므로 위의 계산식을 이용하여 1차측 센싱에 의해 계산된 2차측 동저항값을 용접 품질추정 알고리즘의 입력패턴으로 사용하였다. Fig. 2

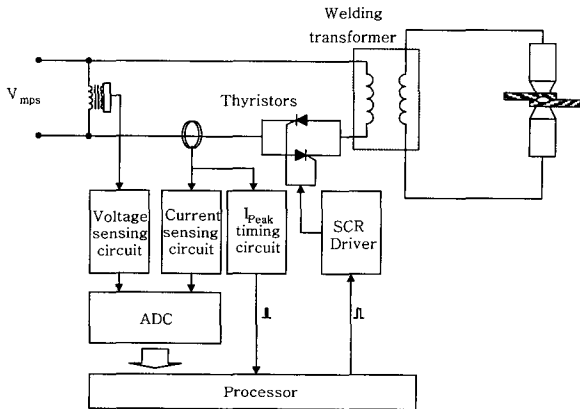


Fig. 2 System structure to get the primary dynamic resistance

는 1차측에서 동저항 측정을 하기 위한 시스템의 개략적인 구성도를 보여준다.

3. 은닉 마르코프 모델(Hidden Markov Model)

3.1 은닉 마르코프 모델의 개요

은닉 마르코프 모델(HMM)이란 마르코프 연쇄(Markov process)에 기초한 시계열 패턴의 생성과정에 대한 확률적인 모델이다. 인식할 패턴이 시간에 따라서 형성되는 시계열 패턴의 경우, 패턴의 생성과정을 잘 모델링할 수 있다면 패턴인식을 효율적으로 수행할 수 있는데, 은닉 마르코프 모델은 그 자체의 모델링 능력과 학습 능력으로 적절한 해결책을 제공하며, 실생활에서 필연적으로 얻어질 수밖에 없는 잡영이나 손실 또는 변형된 입력을 잘 처리할 수 있다는 특징을 갖는다. 또한, 불완전하고 다양한 변화를 내포하고 있는 입력 패턴을 학습 과정을 통해 명확한 확률값으로 표현하는 확률 모델로서 학습방법과 분석과정이 수학적으로 명료하게 얻어지기 때문에, 신뢰성 있는 확률의 추정이 가능하다고 볼 수 있다.

은닉 마르코프 모델은 상태(state)라고 불리는 N개의 노드(node)와 이들 간의 전이(transition)를 나타내는 선분으로 구성된 그래프로서 표현될 수 있다. 그래프의 각 노드에 공간적인 특성을 모델링하는 관측심볼 확률분포($B = \{b_j(v_k)\}$, observation symbol probability distribution, $n \times m$)와 초기상태확률분포($\Pi = \{\pi_i\}$, state transition probability distribution, $1 \times n$)가 저장되어 있으며, 각 선분에는 관측열의 시간적인 특성을 모델링하는 상태전이확률분포($A = \{a_{ij}\}$, initial state probability distribution, $n \times n$)가 저장되어 있다. 은닉 마르코프 모델을 구성하는 파라미터인 초기상태(Π), 전이확률(A), 관측확률(B)은 각각,

$$\Pi \equiv (\pi_1, \dots, \pi_N),$$

$$A \equiv \begin{bmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,N} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{N,1} & \dots & a_{N,N} \end{bmatrix}, B \equiv \begin{bmatrix} b_{1,1} & \dots & b_{1,M} \\ \vdots & & \vdots \\ b_{N,1} & \dots & b_{N,M} \end{bmatrix} \tag{6}$$

과 같이 벡터와 행렬로 정의하거나, 또는 이들을 한 조로 묶어서 $\lambda \equiv (\Pi, A, B)$ 로 표현할 수 있는데, 가장 간단한 계산 방법은 가능한 모든 상태 시퀀스에 대하여 A와 B 매트릭스를 이용하여 확률을 계산하는 것이다. 즉, 은닉 마르코프 모델은 확률 매개변수들을 이용해서 주어진 관측열의 집합을 표현한다. 만일, $O = O_1, O_2, \dots, O_T$ 라는 관측열이 주어졌을 때, 은닉 마르코프 모델은 비록 외부에서 그 상태 전이 과정을 직접적으로 관찰할 수는 없어도 자체의 확률 매개변수를 이용하여

마르코프 과정의 확률 함수로 모델화 할 수 있다. Fig. 3 은 마르코프 모델중 많이 사용되고 있는 Bakis (left-to-right)모델로써, 노드가 4개이고, 상태번호가 큰 우측의 상태로만 천이를 할 수 있는 모델이다.

실제의 인식 응용에서는 은닉 마르코프 모델의 파라미터를 알고 있는 경우는 거의 없고, 단지 소속하는 클래스를 알고 있는 패턴 집합이 주어지는 경우가 대부분이다. 따라서 은닉 마르코프 모델을 패턴인식에 이용하기 위해서는 우선 학습패턴으로부터 은닉 마르코프 모델의 파라미터를 추정해야 한다. 즉, 학습패턴을 이용하여 은닉 마르코프 모델에 패턴의 특징을 학습시키는 과정이 필요하다. 이 과정은 인공신경회로망의 학습과정과 유사하다.

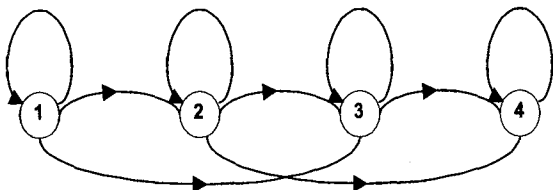


Fig. 3 Left-to-right(Bakis) model

3.2 전처리 및 적용 방법

본 연구에서는 용접중 발생하는 동저항곡선 즉, 동저항값을 입력 데이터로 사용하였는데, 동저항값의 경우 적용되는 공정 혹은 작업에 따라 매우 큰 차이를 보이고 있다. 예를 들면, 용접기의 종류, 용접건의 형상, 팁(tip)의 종류 및 형상, 트랜스포머의 내·외장여부, 킥리스 케이블(kickless cable)의 사용여부 등에 따라 각기 독특한 파형과 값을 나타내고 있다. 따라서, 이러한 여러 조건에 따라 발생하는 동저항곡선을 일일이 세분화하여 현장에 적용하기는 사실상 불가능하다. 따라서, 동저항 특성이 비슷하게 관찰되는 공정들을 그룹화(grouping)하여 적용하는 방법을 모색하였다. 위에서 언급한 그룹화방법을 적용하기 위해서는 용접시 입력되는 순수한 동저항값에 대한 전처리가 선행되어야 하는데, 다음과 같다.

첫째, 초기 한 사이클의 동저항값은 처리대상에서 제외한다. 용접 전류가 통전되는 초기 한 사이클의 동저항값을 품질추정에 이용할 경우, 패턴인식의 정확도가 급격히 감소한다.

둘째, 동저항값을 정규화(normalization) 한다. 이 과정은 동저항곡선의 패턴이 비슷하고 크기 즉 센싱되는 절대값이 다른 경우, 두 곡선의 값을 동등하게 비교할 수 있도록 처리하는 과정이다.

기타 고려사항으로서는 동저항 파형에 삽입된 노이즈를 제거하기 위하여 한 사이클 단위로 동저항값을 이용하거나 평활화(smoothing) 등을 사용하는 방안도 고

려해야 한다. 이상과 같이 전처리가 완료되면, 동저항값을 은닉 마르코프 모델에 입력하여 용접품질 추정단계를 밟게된다.

본 연구에서는 실제 응용에 많이 사용되고 있는 이산 은닉 마르코프 모델을 사용하였는데, 용접 실험에서 확보한 동저항값 및 너깃 크기를 학습데이터로 선정하였고, 관측 확률값(λ)을 최대화하기 위하여 Baum-Welch 알고리즘을 사용하여 학습하였다. 이때의 학습 조건으로는 입력레벨 2^4 , 출력레벨 2^4 , 상태수 5로 하여 학습을 하였고, 반복 횟수를 증가시키며 실측된 너깃 크기와 학습된 너깃 크기를 비교하여 전체 에러(error)값이 미리 설정된 허용 범위내에 들면 학습을 종료하였다. 여기서, 상태의 수를 5로 한 것은 용접중 5단계(표면파괴→거친표면연화→온도상승→초기용융→너깃성장)의 상태변화가 동저항곡선에 나타나 있는 것으로 정의하였기 때문이다.

학습이 끝난 후 추정단계로서는, 각 조건별로 학습전에 미리 랜덤하게 추출한 동저항 패턴을 기 학습된 은닉 마르코프 모델에 넣어 계산을 통하여 나온 결과중 관측 확률값이 가장 큰 것을 선택하여 출력하였다. 또한, 이를 타이머에 구현하여 실제 용접시 모니터링된 동저항 파형으로 너깃 크기를 추정하였고, 시편 파괴검사를 통하여 실측된 너깃 크기와 비교·분석하여 본 추정 알고리즘을 검증하였다. 또한, 품질 추정의 효율을 높이기 위하여 용접시편을 2점과 3점으로 나누어 학습과 추정을 실시하였다.

은닉 마르코프 모델의 경우 데이터가 많을수록 세분화하여 학습시키면 추정확률이 높게 나타나지만 이럴 경우 타이머에 구현하기 위해 추출하는 가중치(weight value) 파일의 크기가 현저하게 증가하기 때문에 메모리의 한계로 인해 입·출력 레벨 및 상태의 수를 제한할 수밖에 없었다.

Fig. 4는 동저항곡선을 이산 심볼 관측열로 변화시키는 것을 나타내며, Fig. 5는 은닉 마르코프 모델을 이용한 패턴인식 시스템의 구조를 보여준다.

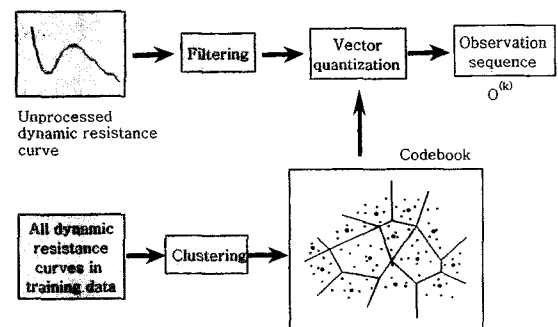


Fig. 4 Conversion of dynamic resistance curve to discrete symbol observation sequence

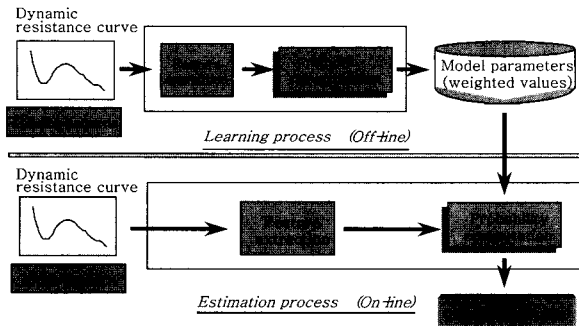


Fig. 5 The weld quality estimation system using HMM

4. 실험결과 및 고찰

제안된 용접품질 추정시스템의 테스트를 위하여 자동차 리어 도어(rear door) 생산 공정에서 인라인(In-Line) 테스트를 실시하였다. 이때, 전극은 선단지름 6mm의 알루미늄 분산동을 사용하였으며, 적용 대상 강판으로는 냉간압연강판(B)과 합금화 아연도금강판(GA)의 2겹 및 3겹 조합을 사용하였다. 이때 용접 조건은 Table 1과 같은데, 각 타점마다 강판조합 및 종류에 따라서 두 가지(이하, 연강판과 도금강판으로

Table 1 Weld parameters in production line

No	Workpiece and Thickness (mm)	Current (kA)	Cycle
1	B0.7+B1.6	9.5	10
	GA0.7+GA1.6	9.5	12
2	B0.7+B1.6	9.5	10
	GA0.7+GA1.6	9.5	12
3	B0.7+B1.6+B0.7	9.5	12
	GA0.7+GA1.6+B0.7	10.5	10
4	B0.7+B1.6+B0.7	9.5	12
	GA0.7+GA1.6+B0.7	10.5	10
5	B1.6+B2.0	10	10
	GA1.6+B2.0	11	10
6	B1.6+B2.0	10	10
	GA1.6+B2.0	11	10
7	B0.7+B0.7	9.5	10
	GA0.7+B0.7	10	10
8	B0.7+B0.7	9.5	10
	GA0.7+B0.7	10	10
9	B0.7+B0.7	9.5	10
	GA0.7+B0.7	10	10
10	B0.7+B0.7	9.5	10
	GA0.7+B0.7	10	10
11	B0.7+B0.7+B1.2	9.7	10
	GA0.7+B0.7+B1.2	10.5	12
12	B0.7+B0.7	9.5	10
	GA0.7+B0.7	10	10
13	B0.7+B1.2	9.5	10
	GA0.7+B1.2	10	10

분류한다.)의 용접조건을 가진다.

실제 생산 공정에서의 품질 평가를 위하여 생산되고 있는 연강판 및 도금강판 차체 샘플을 임의로 각각 4EA씩 추출하여 용접중 실시간으로 계산된 너깃 추정 값과 차체 샘플을 파괴하여 측정된 실측값을 비교·평가하였다. Photo 1은 실제 차체 샘플(rear door)을 추출하여 파괴한 후 나타난 너깃의 형태를 보여준다. 이때, 결과 표시방법은 계수적방법(불량개수, 결점수 등)을 사용하였고, 판정기준은 Table 2와 같다.

연강판 및 도금강판 샘플에 대한 품질 추정 결과를 살펴보면, 연강판은 약 96%, 도금강판은 약 75%의 품질인식율을 보였다.

여기서 차체 샘플에 대한 용접타점의 특성을 살펴보면, 각 샘플당 13타점의 용접점을 대상으로 하였는데, 정상부위 용접타점이 11타점이었고, 가장자리(edge) 부위 용접타점이 2타점이었다. 이때, 가장자리 부위 2타



(a) Weld points (②,⑤,⑥)



(b) Nugget of point ②

Photo 1 Nugget samples of Rear Door

Table 2 The comparison between estimated nugget diameter and actual nugget diameter

Estimated nugget dia.		Real nugget dia.	
		OK	NOK
OK	A (○)		
	C (X)		
NOK	B (X)		
	D (○)		

점(⑤,⑥번)은 용접점간 최소한의 거리확보가 이루어지지 않고 연속하여 붙어있는 모재 끝단부의 용접점으로 사실상 품질추정의 의미가 감소되는 점들이었다. Fig. 6의 (a)~(d)는 차체 샘플중 일부에 대한 실제 측정치와 추정치를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프를 살펴보면, 13타점에 대해 연강판의 경우((a),(b))에는 추정치가 고르게 나타나고 있으나, 도금강판인 경우((c),(d))에는 종종 편차가 크게 나타나는 것도 있었다.

그래프를 살펴보면, 연강판이나 도금강판 모두 타점 ⑤, ⑥번에 대한 품질추정치와 실제 측정치가 크게 흔들리는 것을 볼 수 있는데, 이 부분은 용접점이 모재 끝부분에서 안쪽으로 약 0.5cm 이하로 떨어져 있어 너깃생성이 매우 불안정한데 따른다. 평균적으로, 도금강판의 품질 인식율이 연강판에 비해 떨어짐을 알 수 있었는데, 이것은 용접시 전극 및 강판의 표면상태, 도금량, 모재 접수에 따른 매칭(matching) 상태 등에 따라 차이가 난 것으로 보인다. 특히, 같은 공정에서 연강판과 도금강판을 교대로 용접하는 경우에는 팁 선단의 오염 및 마모 등 여러 가지 원인들에 의해 추정이 제대로 되지 않는 경우도 발생하였고, 이런 경우 동저항패턴이 매우 불규칙하게 생성되고 있음을 알 수 있었다. Fig. 7

은 정상용접점과 비정상용접점에서 나타난 동저항곡선의 한 예를 보여주는데, 특히 (b)의 경우와 같은 패턴일 경우 품질추정에 어려움이 있었다.

이러한 상황을 고려할 때, 실제 공정에서 보다 정확한 결과치를 얻기 위해서는 테스트에 들어가기에 앞서 대상 공정에 대한 용접조건 및 환경에 대한 깊은 이해가 선행되어야 하며, 용접시 관측되는 동저항값 및 패턴들에 대한 계속적인 관찰과 분석이 요구된다고 하겠다.

5. 결 론

본 연구에서는 용접중 실시간 품질인식을 위해 점용접용 타이머를 개발하여 적용하였다. 그리고, 1차측에서 동저항을 측정하여 사용하므로써 현장성을 높였으며, 동저항곡선의 패턴인식을 위해 음성인식 분야에서 활용되고 있는 은닉 마르코프 모델을 채택하여 타이머에 구현하였다. 특히, 은닉 마르코프 모델의 경우 동저항의 전체 패턴 형상뿐 아니라 용접중 상태변화의 정보를 고려하고 있어 노이즈가 심한 현장적용에 유리함을 알 수 있었고, 용접시간의 변화에 관계없이 적용이 가능하다는 장점이 있었다. 또한, 현장의 다양한 용접 환경상 용접기를 동저항의 출력 패턴에 따라 몇 개의 그

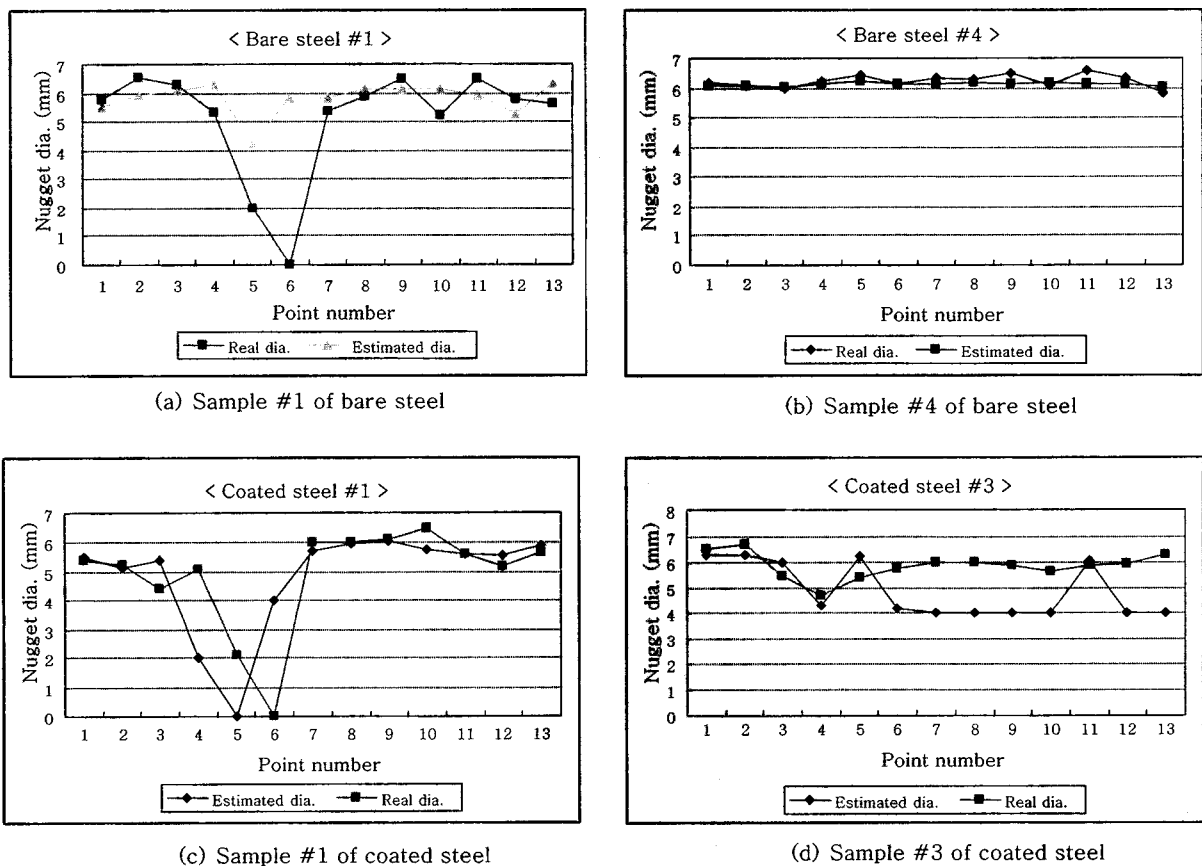
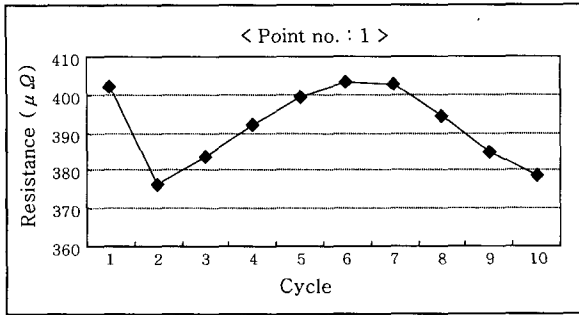
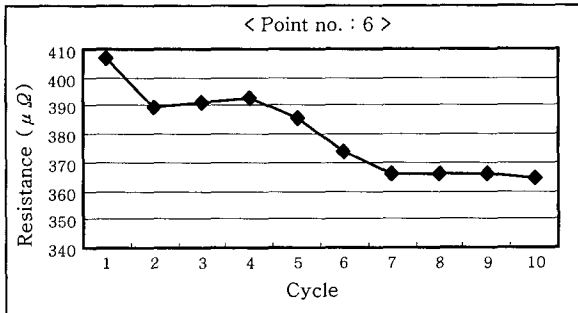


Fig. 6 The experimental graphs of bare steel and coated steel



(a) Dynamic curve of point #1



(b) Dynamic curve of point #6

Fig. 7 Dynamic curves of sample points

룹으로 나누어서 품질인식 기능을 적용하고자 시도하였다. 이 방법은 동저항곡선이 비슷하게 형성되는 공정들에서는 적용이 가능함을 확인할 수 있었다. 물론, 여기에는 적용하고자하는 공정에 대한 사전 모니터링 및 분석작업이 선행되어야 한다. 그러나 이러한 시도도 아직까지 완전한 것은 아니며 추후에도 지속적인 연구와 보완이 이루어져야 할 것으로 보인다. 특히, 용접재료의 종류나 겹수 그리고 주변기기의 환경특성 등에 대해서 좀더 세심한 관찰이 요구된다. 더불어, 적용 알고리즘을 일반화하려는 노력과 무엇보다도 현장적용에 대한 강력한 의지와 시도가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. K. Shingo : Welding Controller and/or pinching force controller, Nadex Co., Ltd., June (1993)
2. J.E. Gould : An Examination of Nugget Development During Spot Welding Using Both Experimental and Analytical Technique, Welding Journal, Jan. (1987), 1-10
3. D.W. Dickinson, J.E. Franklin and A. Stanya : Characterization of Spot Welding Behavior by Dynamic Electrical Parameter Monitoring, Welding Journal, 57-6 (1980), 170-176
4. S.A. Gedeon et al., Measurement of Dynamic Electrical and Mechanical Properties of Resistance Spot Welds, Welding Journal, Dec. (1987), 378-385
5. S.M. Cho : Principle of Resistance Welding and Analysis of Monitoring Results, Journal of KWS, 15-2, April (1997), 1-18 (in Korean)
6. H.S. Cho : Welding Quality Supervision and Control in Resistance Welding Processes, Journal of KWS, 18-4, August (2000), 11-19 (in Korean)
7. S.M. Cho and S.M. Kim : The Effect of Process Parameter on the Symmetry of Nugget in Micro-resistance Series Spot Welding, Journal of KWS, 19-6, December (2001), 54-61 (in Korean)
8. Y. Pao : Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., N. Y., (1989)
9. G.A. Carpenter and S. Grossberg : ART2: Self-organization of stable category recognition codes for analog input patterns, Applied Optics, Vol. 26 (1987), 4919-4930
10. J.M. Richard, General Motors Corp., Warren, Mich. : Adaptive controls automate resistance welding, Welding Design & Fabrication, Aug. (1978), 70-72
11. A.G. Livshits : Universal Quality Assurance Method for Resistance Spot Welding Based on Dynamic Resistance, Welding Journal, 76-9 (1997), 383-390
12. Y.J. Cho, S.H. Rhee and K.W. Um : A Study of Real-Time Weldability Estimation of Resistance Spot Welding using Fuzzy Algorithm, Journal of KWS, 16-5, October (1998), 76-85 (in Korean)
13. J.B. Lee : Real Time Monitoring and Control System for Spot Weld Quality Assurance, Myongji Univ. (1997) (in Korean)
14. L.R. Rabiner : A tutorial on hidden markov models and selected applications in speech recognition, Proceedings of the IEEE, 77-2 (1989), 257-286
15. L.R. Rabiner and B.H. Juang : An Introduction to Hidden Markov Models, IEEE ASSP MAGAZINE, Jan. (1986)
16. K.S. Yoon, Y.K. Ham and R.H. Park : Hybrid Approaches to frontal view face recognition using the hidden markov model and neural network, Pattern Recognition, 31-3 (1998), 283-293 (in Korean)
17. Y. Linde, A. Buzo, and R. M. Gray : An algorithm for vector quantizer design, IEEE Trans. Communications, COM-28, Jan. (1980), 84-95
18. W.H. Sung : The development of intelligent resistance spot welding controller, Myongji Univ. (1995) (in Korean)
19. Y.J. Cho et al. : Characterization of Primary Dynamic Resistance in Resistance Spot Welding, Journal of KWS, 17-2, April (1999), 97-103 (in Korean)
20. Y.J. Cho and S.H. Rhee : Real Time Quality Assurance with a Pattern Recognition Algorithm during Resistance Spot Welding, Journal of KWS, 18-3, June (2000), 114-121 (in Korean)