

저항 점용접에서 비파괴 용접질 검사를 위한 인공신경회로망의 응용기법과 회귀법과의 비교

최용범* · 김상필* · 홍태민* · 이준희*, 장희석**

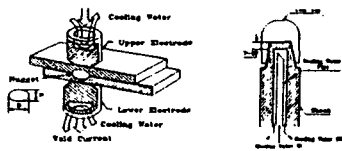
Nondestructive Spot Weld Quality Monitoring by an Artificial Neural Networks in Comparison with Regression Method

Y. B. Choi*, S. P. Kim*, T. M. Hong*, J. H. Lee* and H. S. Chang**

ABSTRACT: Many qualitative analyses of sampled process variables have been attempted to predict nugget size in resistance spot welding process. In this paper, dynamic resistance and electrode movement signal which is a good indicative of the nugget size was examined by introducing an artificial neural network estimator. An artificial neural feedforward network with back-propagation of error was applied for the estimation of the nugget size. To assess the advantage of this method, results have been compared with conventional regression method.

1. 서론

저항 점 용접은 두개의 금속판을 포개어 전극 사이에 놓고 압력을 가하면서 짧은 시간 내에 수천 암페어의 큰 전류를 흘려 이들사이의 접촉 저항에 의한 주열열(Joule heat)을 발생시켜 용융부가 형성되도록 하는 전기 저항 용접의 일종으로, 용접 시간이 짧고 열 영향부(HAZ)도 작을 뿐 아니라 잔류응력과 변형에 의한 영향 등이 양호하므로 현재 산업현장에서 널리 이용되고 있다. 그림 1에는 일반적인 저항 점용접 시스템의 간략도와 본 연구에서 사용한 전극의 형상이 도시되어 있다.



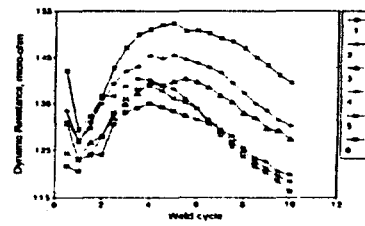
(a) RSW system (b) electrode geometry

Fig. 1 Schematic diagram of resistance spot welding system and electrode geometry.

일반적으로 용접질 평가의 기준이 되는 것은 전단-인장 강도와 비례하는 용융부의 크기(nugget diameter & penetration)이다. 이러한 용융부의 크기는 용접 전류, 용접 전압, 전극 가압력, 용접 재료의 표면 상태 및 전극의 변형 상태등의 용접 공정 변수들의 순간적인 미세한 변화에도 민감하게 반응하여 용접질이 매우 심하게 변화하므로 동일한 용접조건 하에서도 균일한 용접질을 기대하기가 어렵다.

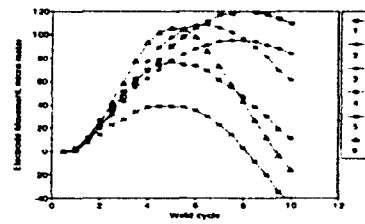
저항 점 용접의 경우에는 arc-용접과는 달리 용융부가 용접 시편 사이에 형성되므로 용접질을 평가하는데 있어 가장 커다란 취약점 중의 하나가 신뢰할만한 비파괴검사의 수행이 어렵다는 것이다. 따라서 용접부를 절단하여 용융부의 금속조직을 평가하는 것이 불가피하나 이는 표본추출에 국한된 한계성이 있으므로 용접도중 측정 가능한 변수들을 이용하여 용접질을 파악하는 기법이 요구되어 왔으며, 이에대한 연구는 많은진보를 보

았다. 현재까지 대표적인 용접공정변수로 용접도중의 접촉저항 변화인 동저항과 열팽창에 의한 전극의 움직임인 전극분리현상등이 보고되고 있다^[1-4]. 그림 2에는 본 연구에서 측정한 몇가지 대표적인 동저항 파형과 전극분리신호의 파형이 도시되어 있다.



	1	2	3	4	5	6
force (kgf)	200	250	350	300	350	400
curr. (A)	7.5	8.5	8.5	9.5	9.5	9.5

(a) dynamic resistance



	1	2	3	4	5	6
force (kgf)	200	250	350	300	350	400
curr. (A)	8.0	8.5	8.5	9.0	9.0	9.0

(b) electrode movement

Fig. 2 Typical RSW process parameters (weldment thickness = 0.8mm)

* 영지대학교 대학원 기계공학과

** 영지대학교 기계공학과

기존의 연구에서는 이러한 공정변수들의 용접공정중 변화와 용융부 크기사이의 관계를 regression 방법에 의하여 근사식을 만들고 용융부를 추정하였으나 그 결과 R^2 를 종합해보면, 용융부 성장의 거동을 단순한 수학적 모델이나 실험 data에 근거한 경험식 등으로 파악하기에는 용접 공정 변수들이 복잡한 열물리적(thermophysical) 현상을 수반하며 비선형적으로 관련되어 있어 한계성이 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 최근 비선형 함수관계를 실험적으로 규명하는 분야에서 효과적으로 응용되고 있는 인공신경회로망 이론을 이용하여 저항 점용접의 용융부를 추정하고 이를 현재까지 주로 사용되어왔던 회귀법과 비교하여 인공신경회로망을 적용한 용접질 추정 시스템의 우수성을 밝힌다.

2. 회귀법을 이용한 추정과 인공신경회로망을 이용한 용융부 크기의 추정

회귀법(regression method)은 여러쌍의 input vector와 이에대한 output vector가 주어질때 이들사이의 관계를 근사적으로 표현하는 다항식의 계수(coefficients)를 polynomial fitting하여 구하는 방법이다. 본 연구에서는 용접실험을 통하여 얻어진 대표적인 용접공정변수인 동저항 신호와 전극분리신호, 그리고 이때의 실측된 용융부 크기를 이용하여 다항식을 구성하고 이렇게 구하여진 다항식에 실제 용접도중 얻어지는 용접공정변수의 측정값을 대입하여 이에대한 다항식의 결과를 용융부의 크기로 추정한다. 회귀법에서 근사다항식을 fitting하는 과정은 용접도중 측정된 공정변수를 시간에 대한 변화율이나 측정구간 내에서의 변화폭등으로 그 특징을 추출하고 이를 실측된 용융부 크기와 조합하여 가상의 판제식을 만든다. 그러면 각 항에는 미정의 계수가 존재하게 되는데 이들 계수는 실험을 통하여 얻어진 input/output vector를 사용하여 이들을 연립하여 구한다. 본 연구에서는 전극분리신호 및 동저항과 용융부 크기와의 관계를 다음과 같은 근사 다항식으로 나타내었다.

$$(Diameter) (Pm) = C_1 S_1^2 + C_2 S_1 S_2 + C_3 S_2^2 + C_4 S_1 S_3 + C_5 S_2 S_3 + C_6 S_1 S_4 + C_7 S_2 S_4 + C_8 S_3 S_4 + C_9 S_1 S_5 + C_{10} S_2 S_5 + C_{11} S_3 S_5 + C_{12} S_4 S_5 + C_{13} S_1 S_6 + C_{14} S_2 S_6 + C_{15} S_3 S_6 + C_{16} S_4 S_6 + C_{17} S_1 S_7 + C_{18} S_2 S_7 + C_{19} S_3 S_7 + C_{20} S_4 S_7 + C_{21} S_1 S_8 + C_{22} S_2 S_8 + C_{23} S_3 S_8 + C_{24} S_4 S_8 + C_{25} S_1 S_9 + C_{26} S_2 S_9 + C_{27} S_3 S_9 + C_{28} S_4 S_9 + C_{29} S_1 S_{10} + C_{30} S_2 S_{10} + C_{31} S_3 S_{10} + C_{32} S_4 S_{10} + C_{33} S_1 S_{11} + C_{34} S_2 S_{11} + C_{35} S_3 S_{11} + C_{36} S_4 S_{11} + C_{37} S_1 S_{12} + C_{38} S_2 S_{12} + C_{39} S_3 S_{12} + C_{40} S_4 S_{12} + C_{41} S_1 S_{13} + C_{42} S_2 S_{13} + C_{43} S_3 S_{13} + C_{44} S_4 S_{13} + C_{45} S_1 S_{14} + C_{46} S_2 S_{14} + C_{47} S_3 S_{14} + C_{48} S_4 S_{14} + C_{49} S_1 S_{15} + C_{50} S_2 S_{15} + C_{51} S_3 S_{15} + C_{52} S_4 S_{15} + C_{53} S_1 S_{16} + C_{54} S_2 S_{16} + C_{55} S_3 S_{16} + C_{56} S_4 S_{16} + C_{57} S_1 S_{17} + C_{58} S_2 S_{17} + C_{59} S_3 S_{17} + C_{60} S_4 S_{17} + C_{61} S_1 S_{18} + C_{62} S_2 S_{18} + C_{63} S_3 S_{18} + C_{64} S_4 S_{18} + C_{65} S_1 S_{19} + C_{66} S_2 S_{19} + C_{67} S_3 S_{19} + C_{68} S_4 S_{19} + C_{69} S_1 S_{20} + C_{70} S_2 S_{20} + C_{71} S_3 S_{20} + C_{72} S_4 S_{20} + C_{73} S_1 S_{21} + C_{74} S_2 S_{21} + C_{75} S_3 S_{21} + C_{76} S_4 S_{21} + C_{77} S_1 S_{22} + C_{78} S_2 S_{22} + C_{79} S_3 S_{22} + C_{80} S_4 S_{22} + C_{81} S_1 S_{23} + C_{82} S_2 S_{23} + C_{83} S_3 S_{23} + C_{84} S_4 S_{23} + C_{85} S_1 S_{24} + C_{86} S_2 S_{24} + C_{87} S_3 S_{24} + C_{88} S_4 S_{24} + C_{89} S_1 S_{25} + C_{90} S_2 S_{25} + C_{91} S_3 S_{25} + C_{92} S_4 S_{25} + C_{93} S_1 S_{26} + C_{94} S_2 S_{26} + C_{95} S_3 S_{26} + C_{96} S_4 S_{26} + C_{97} S_1 S_{27} + C_{98} S_2 S_{27} + C_{99} S_3 S_{27} + C_{100} S_4 S_{27} + C_{101} S_1 S_{28} + C_{102} S_2 S_{28} + C_{103} S_3 S_{28} + C_{104} S_4 S_{28} + C_{105} S_1 S_{29} + C_{106} S_2 S_{29} + C_{107} S_3 S_{29} + C_{108} S_4 S_{29} + C_{109} S_1 S_{30} + C_{110} S_2 S_{30} + C_{111} S_3 S_{30} + C_{112} S_4 S_{30} + C_{113} S_1 S_{31} + C_{114} S_2 S_{31} + C_{115} S_3 S_{31} + C_{116} S_4 S_{31} + C_{117} S_1 S_{32} + C_{118} S_2 S_{32} + C_{119} S_3 S_{32} + C_{120} S_4 S_{32} + C_{121} S_1 S_{33} + C_{122} S_2 S_{33} + C_{123} S_3 S_{33} + C_{124} S_4 S_{33} + C_{125} S_1 S_{34} + C_{126} S_2 S_{34} + C_{127} S_3 S_{34} + C_{128} S_4 S_{34} + C_{129} S_1 S_{35} + C_{130} S_2 S_{35} + C_{131} S_3 S_{35} + C_{132} S_4 S_{35} + C_{133} S_1 S_{36} + C_{134} S_2 S_{36} + C_{135} S_3 S_{36} + C_{136} S_4 S_{36} + C_{137} S_1 S_{37} + C_{138} S_2 S_{37} + C_{139} S_3 S_{37} + C_{140} S_4 S_{37} + C_{141} S_1 S_{38} + C_{142} S_2 S_{38} + C_{143} S_3 S_{38} + C_{144} S_4 S_{38} + C_{145} S_1 S_{39} + C_{146} S_2 S_{39} + C_{147} S_3 S_{39} + C_{148} S_4 S_{39} + C_{149} S_1 S_{40} + C_{150} S_2 S_{40} + C_{151} S_3 S_{40} + C_{152} S_4 S_{40} + C_{153} S_1 S_{41} + C_{154} S_2 S_{41} + C_{155} S_3 S_{41} + C_{156} S_4 S_{41} + C_{157} S_1 S_{42} + C_{158} S_2 S_{42} + C_{159} S_3 S_{42} + C_{160} S_4 S_{42} + C_{161} S_1 S_{43} + C_{162} S_2 S_{43} + C_{163} S_3 S_{43} + C_{164} S_4 S_{43} + C_{165} S_1 S_{44} + C_{166} S_2 S_{44} + C_{167} S_3 S_{44} + C_{168} S_4 S_{44} + C_{169} S_1 S_{45} + C_{170} S_2 S_{45} + C_{171} S_3 S_{45} + C_{172} S_4 S_{45} + C_{173} S_1 S_{46} + C_{174} S_2 S_{46} + C_{175} S_3 S_{46} + C_{176} S_4 S_{46} + C_{177} S_1 S_{47} + C_{178} S_2 S_{47} + C_{179} S_3 S_{47} + C_{180} S_4 S_{47} + C_{181} S_1 S_{48} + C_{182} S_2 S_{48} + C_{183} S_3 S_{48} + C_{184} S_4 S_{48} + C_{185} S_1 S_{49} + C_{186} S_2 S_{49} + C_{187} S_3 S_{49} + C_{188} S_4 S_{49} + C_{189} S_1 S_{50} + C_{190} S_2 S_{50} + C_{191} S_3 S_{50} + C_{192} S_4 S_{50} + C_{193} S_1 S_{51} + C_{194} S_2 S_{51} + C_{195} S_3 S_{51} + C_{196} S_4 S_{51} + C_{197} S_1 S_{52} + C_{198} S_2 S_{52} + C_{199} S_3 S_{52} + C_{200} S_4 S_{52} + C_{201} S_1 S_{53} + C_{202} S_2 S_{53} + C_{203} S_3 S_{53} + C_{204} S_4 S_{53} + C_{205} S_1 S_{54} + C_{206} S_2 S_{54} + C_{207} S_3 S_{54} + C_{208} S_4 S_{54} + C_{209} S_1 S_{55} + C_{210} S_2 S_{55} + C_{211} S_3 S_{55} + C_{212} S_4 S_{55} + C_{213} S_1 S_{56} + C_{214} S_2 S_{56} + C_{215} S_3 S_{56} + C_{216} S_4 S_{56} + C_{217} S_1 S_{57} + C_{218} S_2 S_{57} + C_{219} S_3 S_{57} + C_{220} S_4 S_{57} + C_{221} S_1 S_{58} + C_{222} S_2 S_{58} + C_{223} S_3 S_{58} + C_{224} S_4 S_{58} + C_{225} S_1 S_{59} + C_{226} S_2 S_{59} + C_{227} S_3 S_{59} + C_{228} S_4 S_{59} + C_{229} S_1 S_{60} + C_{230} S_2 S_{60} + C_{231} S_3 S_{60} + C_{232} S_4 S_{60} + C_{233} S_1 S_{61} + C_{234} S_2 S_{61} + C_{235} S_3 S_{61} + C_{236} S_4 S_{61} + C_{237} S_1 S_{62} + C_{238} S_2 S_{62} + C_{239} S_3 S_{62} + C_{240} S_4 S_{62} + C_{241} S_1 S_{63} + C_{242} S_2 S_{63} + C_{243} S_3 S_{63} + C_{244} S_4 S_{63} + C_{245} S_1 S_{64} + C_{246} S_2 S_{64} + C_{247} S_3 S_{64} + C_{248} S_4 S_{64} + C_{249} S_1 S_{65} + C_{250} S_2 S_{65} + C_{251} S_3 S_{65} + C_{252} S_4 S_{65} + C_{253} S_1 S_{66} + C_{254} S_2 S_{66} + C_{255} S_3 S_{66} + C_{256} S_4 S_{66} + C_{257} S_1 S_{67} + C_{258} S_2 S_{67} + C_{259} S_3 S_{67} + C_{260} S_4 S_{67} + C_{261} S_1 S_{68} + C_{262} S_2 S_{68} + C_{263} S_3 S_{68} + C_{264} S_4 S_{68} + C_{265} S_1 S_{69} + C_{266} S_2 S_{69} + C_{267} S_3 S_{69} + C_{268} S_4 S_{69} + C_{269} S_1 S_{70} + C_{270} S_2 S_{70} + C_{271} S_3 S_{70} + C_{272} S_4 S_{70} + C_{273} S_1 S_{71} + C_{274} S_2 S_{71} + C_{275} S_3 S_{71} + C_{276} S_4 S_{71} + C_{277} S_1 S_{72} + C_{278} S_2 S_{72} + C_{279} S_3 S_{72} + C_{280} S_4 S_{72} + C_{281} S_1 S_{73} + C_{282} S_2 S_{73} + C_{283} S_3 S_{73} + C_{284} S_4 S_{73} + C_{285} S_1 S_{74} + C_{286} S_2 S_{74} + C_{287} S_3 S_{74} + C_{288} S_4 S_{74} + C_{289} S_1 S_{75} + C_{290} S_2 S_{75} + C_{291} S_3 S_{75} + C_{292} S_4 S_{75} + C_{293} S_1 S_{76} + C_{294} S_2 S_{76} + C_{295} S_3 S_{76} + C_{296} S_4 S_{76} + C_{297} S_1 S_{77} + C_{298} S_2 S_{77} + C_{299} S_3 S_{77} + C_{300} S_4 S_{77} + C_{301} S_1 S_{78} + C_{302} S_2 S_{78} + C_{303} S_3 S_{78} + C_{304} S_4 S_{78} + C_{305} S_1 S_{79} + C_{306} S_2 S_{79} + C_{307} S_3 S_{79} + C_{308} S_4 S_{79} + C_{309} S_1 S_{80} + C_{310} S_2 S_{80} + C_{311} S_3 S_{80} + C_{312} S_4 S_{80} + C_{313} S_1 S_{81} + C_{314} S_2 S_{81} + C_{315} S_3 S_{81} + C_{316} S_4 S_{81} + C_{317} S_1 S_{82} + C_{318} S_2 S_{82} + C_{319} S_3 S_{82} + C_{320} S_4 S_{82} + C_{321} S_1 S_{83} + C_{322} S_2 S_{83} + C_{323} S_3 S_{83} + C_{324} S_4 S_{83} + C_{325} S_1 S_{84} + C_{326} S_2 S_{84} + C_{327} S_3 S_{84} + C_{328} S_4 S_{84} + C_{329} S_1 S_{85} + C_{330} S_2 S_{85} + C_{331} S_3 S_{85} + C_{332} S_4 S_{85} + C_{333} S_1 S_{86} + C_{334} S_2 S_{86} + C_{335} S_3 S_{86} + C_{336} S_4 S_{86} + C_{337} S_1 S_{87} + C_{338} S_2 S_{87} + C_{339} S_3 S_{87} + C_{340} S_4 S_{87} + C_{341} S_1 S_{88} + C_{342} S_2 S_{88} + C_{343} S_3 S_{88} + C_{344} S_4 S_{88} + C_{345} S_1 S_{89} + C_{346} S_2 S_{89} + C_{347} S_3 S_{89} + C_{348} S_4 S_{89} + C_{349} S_1 S_{90} + C_{350} S_2 S_{90} + C_{351} S_3 S_{90} + C_{352} S_4 S_{90} + C_{353} S_1 S_{91} + C_{354} S_2 S_{91} + C_{355} S_3 S_{91} + C_{356} S_4 S_{91} + C_{357} S_1 S_{92} + C_{358} S_2 S_{92} + C_{359} S_3 S_{92} + C_{360} S_4 S_{92} + C_{361} S_1 S_{93} + C_{362} S_2 S_{93} + C_{363} S_3 S_{93} + C_{364} S_4 S_{93} + C_{365} S_1 S_{94} + C_{366} S_2 S_{94} + C_{367} S_3 S_{94} + C_{368} S_4 S_{94} + C_{369} S_1 S_{95} + C_{370} S_2 S_{95} + C_{371} S_3 S_{95} + C_{372} S_4 S_{95} + C_{373} S_1 S_{96} + C_{374} S_2 S_{96} + C_{375} S_3 S_{96} + C_{376} S_4 S_{96} + C_{377} S_1 S_{97} + C_{378} S_2 S_{97} + C_{379} S_3 S_{97} + C_{380} S_4 S_{97} + C_{381} S_1 S_{98} + C_{382} S_2 S_{98} + C_{383} S_3 S_{98} + C_{384} S_4 S_{98} + C_{385} S_1 S_{99} + C_{386} S_2 S_{99} + C_{387} S_3 S_{99} + C_{388} S_4 S_{99} + C_{389} S_1 S_{100} + C_{390} S_2 S_{100} + C_{391} S_3 S_{100} + C_{392} S_4 S_{100} + C_{393} S_1 S_{101} + C_{394} S_2 S_{101} + C_{395} S_3 S_{101} + C_{396} S_4 S_{101} + C_{397} S_1 S_{102} + C_{398} S_2 S_{102} + C_{399} S_3 S_{102} + C_{400} S_4 S_{102} + C_{401} S_1 S_{103} + C_{402} S_2 S_{103} + C_{403} S_3 S_{103} + C_{404} S_4 S_{103} + C_{405} S_1 S_{104} + C_{406} S_2 S_{104} + C_{407} S_3 S_{104} + C_{408} S_4 S_{104} + C_{409} S_1 S_{105} + C_{410} S_2 S_{105} + C_{411} S_3 S_{105} + C_{412} S_4 S_{105} + C_{413} S_1 S_{106} + C_{414} S_2 S_{106} + C_{415} S_3 S_{106} + C_{416} S_4 S_{106} + C_{417} S_1 S_{107} + C_{418} S_2 S_{107} + C_{419} S_3 S_{107} + C_{420} S_4 S_{107} + C_{421} S_1 S_{108} + C_{422} S_2 S_{108} + C_{423} S_3 S_{108} + C_{424} S_4 S_{108} + C_{425} S_1 S_{109} + C_{426} S_2 S_{109} + C_{427} S_3 S_{109} + C_{428} S_4 S_{109} + C_{429} S_1 S_{110} + C_{430} S_2 S_{110} + C_{431} S_3 S_{110} + C_{432} S_4 S_{110} + C_{433} S_1 S_{111} + C_{434} S_2 S_{111} + C_{435} S_3 S_{111} + C_{436} S_4 S_{111} + C_{437} S_1 S_{112} + C_{438} S_2 S_{112} + C_{439} S_3 S_{112} + C_{440} S_4 S_{112} + C_{441} S_1 S_{113} + C_{442} S_2 S_{113} + C_{443} S_3 S_{113} + C_{444} S_4 S_{113} + C_{445} S_1 S_{114} + C_{446} S_2 S_{114} + C_{447} S_3 S_{114} + C_{448} S_4 S_{114} + C_{449} S_1 S_{115} + C_{450} S_2 S_{115} + C_{451} S_3 S_{115} + C_{452} S_4 S_{115} + C_{453} S_1 S_{116} + C_{454} S_2 S_{116} + C_{455} S_3 S_{116} + C_{456} S_4 S_{116} + C_{457} S_1 S_{117} + C_{458} S_2 S_{117} + C_{459} S_3 S_{117} + C_{460} S_4 S_{117} + C_{461} S_1 S_{118} + C_{462} S_2 S_{118} + C_{463} S_3 S_{118} + C_{464} S_4 S_{118} + C_{465} S_1 S_{119} + C_{466} S_2 S_{119} + C_{467} S_3 S_{119} + C_{468} S_4 S_{119} + C_{469} S_1 S_{120} + C_{470} S_2 S_{120} + C_{471} S_3 S_{120} + C_{472} S_4 S_{120} + C_{473} S_1 S_{121} + C_{474} S_2 S_{121} + C_{475} S_3 S_{121} + C_{476} S_4 S_{121} + C_{477} S_1 S_{122} + C_{478} S_2 S_{122} + C_{479} S_3 S_{122} + C_{480} S_4 S_{122} + C_{481} S_1 S_{123} + C_{482} S_2 S_{123} + C_{483} S_3 S_{123} + C_{484} S_4 S_{123} + C_{485} S_1 S_{124} + C_{486} S_2 S_{124} + C_{487} S_3 S_{124} + C_{488} S_4 S_{124} + C_{489} S_1 S_{125} + C_{490} S_2 S_{125} + C_{491} S_3 S_{125} + C_{492} S_4 S_{125} + C_{493} S_1 S_{126} + C_{494} S_2 S_{126} + C_{495} S_3 S_{126} + C_{496} S_4 S_{126} + C_{497} S_1 S_{127} + C_{498} S_2 S_{127} + C_{499} S_3 S_{127} + C_{500} S_4 S_{127} + C_{501} S_1 S_{128} + C_{502} S_2 S_{128} + C_{503} S_3 S_{128} + C_{504} S_4 S_{128} + C_{505} S_1 S_{129} + C_{506} S_2 S_{129} + C_{507} S_3 S_{129} + C_{508} S_4 S_{129} + C_{509} S_1 S_{130} + C_{510} S_2 S_{130} + C_{511} S_3 S_{130} + C_{512} S_4 S_{130} + C_{513} S_1 S_{131} + C_{514} S_2 S_{131} + C_{515} S_3 S_{131} + C_{516} S_4 S_{131} + C_{517} S_1 S_{132} + C_{518} S_2 S_{132} + C_{519} S_3 S_{132} + C_{520} S_4 S_{132} + C_{521} S_1 S_{133} + C_{522} S_2 S_{133} + C_{523} S_3 S_{133} + C_{524} S_4 S_{133} + C_{525} S_1 S_{134} + C_{526} S_2 S_{134} + C_{527} S_3 S_{134} + C_{528} S_4 S_{134} + C_{529} S_1 S_{135} + C_{530} S_2 S_{135} + C_{531} S_3 S_{135} + C_{532} S_4 S_{135} + C_{533} S_1 S_{136} + C_{534} S_2 S_{136} + C_{535} S_3 S_{136} + C_{536} S_4 S_{136} + C_{537} S_1 S_{137} + C_{538} S_2 S_{137} + C_{539} S_3 S_{137} + C_{540} S_4 S_{137} + C_{541} S_1 S_{138} + C_{542} S_2 S_{138} + C_{543} S_3 S_{138} + C_{544} S_4 S_{138} + C_{545} S_1 S_{139} + C_{546} S_2 S_{139} + C_{547} S_3 S_{139} + C_{548} S_4 S_{139} + C_{549} S_1 S_{140} + C_{550} S_2 S_{140} + C_{551} S_3 S_{140} + C_{552} S_4 S_{140} + C_{553} S_1 S_{141} + C_{554} S_2 S_{141} + C_{555} S_3 S_{141} + C_{556} S_4 S_{141} + C_{557} S_1 S_{142} + C_{558} S_2 S_{142} + C_{559} S_3 S_{142} + C_{560} S_4 S_{142} + C_{561} S_1 S_{143} + C_{562} S_2 S_{143} + C_{563} S_3 S_{143} + C_{564} S_4 S_{143} + C_{565} S_1 S_{144} + C_{566} S_2 S_{144} + C_{567} S_3 S_{144} + C_{568} S_4 S_{144} + C_{569} S_1 S_{145} + C_{570} S_2 S_{145} + C_{571} S_3 S_{145} + C_{572} S_4 S_{145} + C_{573} S_1 S_{146} + C_{574} S_2 S_{146} + C_{575} S_3 S_{146} + C_{576} S_4 S_{146} + C_{577} S_1 S_{147} + C_{578} S_2 S_{147} + C_{579} S_3 S_{147} + C_{580} S_4 S_{147} + C_{581} S_1 S_{148} + C_{582} S_2 S_{148} + C_{583} S_3 S_{148} + C_{584} S_4 S_{148} + C_{585} S_1 S_{149} + C_{586} S_2 S_{149} + C_{587} S_3 S_{149} + C_{588} S_4 S_{149} + C_{589} S_1 S_{150} + C_{590} S_2 S_{150} + C_{591} S_3 S_{150} + C_{592} S_4 S_{150} + C_{593} S_1 S_{151} + C_{594} S_2 S_{151} + C_{595} S_3 S_{151} + C_{596} S_4 S_{151} + C_{597} S_1 S_{152} + C_{598} S_2 S_{152} + C_{599} S_3 S_{152} + C_{600} S_4 S_{152} + C_{601} S_1 S_{153} + C_{602} S_2 S_{153} + C_{603} S_3 S_{153} + C_{604} S_4 S_{153} + C_{605} S_1 S_{154} + C_{606} S_2 S_{154} + C_{607} S_3 S_{154} + C_{608} S_4 S_{154} + C_{609} S_1 S_{155} + C_{610} S_2 S_{155} + C_{611} S_3 S_{155} + C_{612} S_4 S_{155} + C_{613} S_1 S_{156} + C_{614} S_2 S_{156} + C_{615} S_3 S_{156} + C_{616} S_4 S_{156} + C_{617} S_1 S_{157} + C_{618} S_2 S_{157} + C_{619} S_3 S_{157} + C_{620} S_4 S_{157} + C_{621} S_1 S_{158} + C_{622} S_2 S_{158} + C_{623} S_3 S_{158} + C_{624} S_4 S_{158} + C_{625} S_1 S_{159} + C_{626} S_2 S_{159} + C_{627} S_3 S_{159} + C_{628} S_4 S_{159} + C_{629} S_1 S_{160} + C_{630} S_2 S_{160} + C_{631} S_3 S_{160} + C_{632} S_4 S_{160} + C_{633} S_1 S_{161} + C_{634} S_2 S_{161} + C_{635} S_3 S_{161} + C_{636} S_4 S_{161} + C_{637} S_1 S_{162} + C_{638} S_2 S_{162} + C_{639} S_3 S_{162} + C_{640} S_4 S_{162} + C_{641} S_1 S_{163} + C_{642} S_2 S_{163} + C_{643} S_3 S_{163} + C_{644} S_4 S_{163} + C_{645} S_1 S_{164} + C_{646} S_2 S_{164} + C_{647} S_3 S_{164} + C_{648} S_4 S_{164} + C_{649} S_1 S_{165} + C_{650} S_2 S_{165} + C_{651} S_3 S_{165} + C_{652} S_4 S_{165} + C_{653} S_1 S_{166} + C_{654} S_2 S_{166} + C_{655} S_3 S_{166} + C_{656} S_4 S_{166} + C_{657} S_1 S_{167} + C_{658} S_2 S_{167} + C_{659} S_3 S_{167} + C_{660} S_4 S_{167} + C_{661} S_1 S_{168} + C_{662} S_2 S_{168} + C_{663} S_3 S_{168} + C_{664} S_4 S_{168} + C_{665} S_1 S_{169} + C_{666} S_2 S_{169} + C_{667} S_3 S_{169} + C_{668} S_4 S_{169} + C_{669} S_1 S_{170} + C_{670} S_2 S_{170} + C_{671} S_3 S_{170} + C_{672} S_4 S_{170} + C_{673} S_1 S_{171} + C_{674} S_2 S_{171} + C_{675} S_3 S_{171} + C_{676} S_4 S_{171} + C_{677} S_1 S_{172} + C_{678} S_2 S_{172} + C_{679} S_3 S_{172} + C_{680} S_4 S_{172} + C_{681} S_1 S_{173} + C_{682} S_2 S_{173} + C_{683} S_3 S_{173} + C_{684} S_4 S_{173} + C_{685} S_1 S_{174} + C_{686} S_2 S_{174} + C_{687} S_3 S_{174} + C_{688} S_4 S_{174} + C_{689} S_1 S_{175} + C_{690} S_2 S_{175} + C_{691} S_3 S_{175} + C_{692} S_4 S_{175} + C_{693} S_1 S_{176} + C_{694} S_2 S_{176} + C_{695} S_3 S_{176} + C_{696} S_4 S_{176} + C_{697} S_1 S_{177} + C_{698} S_2 S_{177} + C_{699} S_3 S_{177} + C_{700} S_4 S_{177} + C_{701} S_1 S_{178} + C_{702} S_2 S_{178} + C_{703} S_3 S_{178} + C_{704} S_4 S_{178} + C_{705} S_1 S_{179} + C_{706} S_2 S_{179} + C_{707} S_3 S_{179} + C_{708} S_4 S_{179} + C_{709} S_1 S_{180} + C_{710} S_2 S_{180} + C_{711} S_3 S_{180} + C_{712} S_4 S_{180} + C_{713} S_1 S_{181} + C_{714} S_2 S_{181} + C_{715} S_3 S_{181} + C_{716} S_4 S_{181} + C_{717} S_1 S_{182} + C_{718} S_2 S_{182} + C_{719} S_3 S_{182} + C_{720} S_4 S_{182} + C_{721} S_1 S_{183} + C_{722} S_2 S_{183} + C_{723} S_3 S_{183} + C_{724} S_4 S_{183} + C_{725} S_1 S_{184} + C_{726} S_2 S_{184} + C_{727} S_3 S_{184} + C_{728} S_4 S_{184} + C_{729} S_1 S_{185} + C_{730} S_2 S_{185} + C_{731} S_3 S_{185} + C_{732} S_4 S_{185} + C_{733} S_1 S_{186} + C_{734} S_2 S_{186} + C_{735} S_3 S_{186} + C_{736} S_4 S_{186} + C_{737} S_1 S_{187} + C_{738} S_2 S_{187} + C_{739} S_3 S_{187} + C_{740} S_4 S_{187} + C_{741} S_1 S_{188} + C_{742} S_2 S_{188} + C_{743} S_3 S_{188} + C_{744} S_4 S_{188} + C_{745} S_1 S_{189} + C_{746} S_2 S_{189} + C_{747} S_3 S_{189} + C_{748} S_4 S_{189} + C_{749} S_1 S_{190} + C_{750} S_2 S_{190} + C_{751} S_3 S_{190} + C_{752} S_4 S_{190} + C_{753} S_1 S_{191} + C_{754} S_2 S_{191} + C_{755} S_3 S_{191} + C_{756} S_4 S_{191} + C_{757} S_1 S_{192} + C_{758} S_2 S_{192} + C_{759} S_3 S_{192} + C_{760} S_4 S_{192} + C_{761} S_1 S_{193} + C_{762} S_2 S_{193} + C_{763} S_3 S_{193} + C_{764} S_4 S_{193} + C_{765} S_1 S_{194} + C_{766} S_2 S_{194} + C_{767} S_3 S_{194} + C_{768} S_4 S_{194} + C_{769} S_1 S_{195} + C_{770$$

는 방법에서 탈피하여 SONY의 XC-711 CCD camera 및 Data Translation의 DT-2871을 사용하여 etching이 완료된 시편을 image data로 받아 측정한다.

3.2 실험 내용 및 방법

용접 시편은 용융 아연도금강판(도금량 60g/m²) 1.0mm와 0.8mm, 고장력Zn, Fe 함유 전기도금 강판(도금량 20g/m²) 0.75mm의 세가지 종류를 사용하였고, 전극 가압력은 1.0mm의 경우 250~400kgf까지 50kgf씩 변화시켰으며, 0.8mm와 0.75mm 두께의 시편의 경우에는 200~350kgf까지 역시 50kgf씩 변화시키며 용접하였다. 용접 전류는 1.0mm의 경우 8500~11,500amp, 0.8mm와 0.75mm인 경우 7500~10,500amp까지 각 1,000amp씩 변화시켜가며 실험을 수행하였다.

용융부 직경과 두께를 측정하기 위하여 절단기로 용융부를 절단하고, mounting을 한 후 사포(#600~#1200)를 이용하여 절단면을 polishing한다음, 에틸알콜(C₂H₅OH)과 질산(HNO₃)을 9대 5의 비율로 혼합한 5% Nital 용액으로 수초간 etching하여, 시편의 금속 조직별 부식 정도의 차이에 의해 식별 가능해진 용융부를 CCD camera와 영상처리장치를 사용하여 직경과 두께를 측정한다.

이상과같은 실험을 통하여 얻어진 동저항이나 전극분리 신호 파형을 입력 패턴으로 하고, 실측된 용융부 크기를 출력 패턴으로 입력하여 학습 알고리즘을 수행하고, 생산단계에서 용접도중 감지된 파라미터를 입력 패턴으로 하여 형성된 용융부의 크기를 추정한다. 본 연구에서는 100쌍의 입력-출력 패턴이 사용되었고 생산단계의 추정에는 32개의 입력패턴이 사용되었다. 한편 같은 데이터를 사용하여 회귀법을 이용한 용융부 추정을 행한다.

4. 결과

다음의 그림 4에서 그림 7의 결과는 동저항파형을 입력신호로 하여 구성된 인공신경회로망과 이때의 회귀법 추정을 비교한 것이다.

그림 8에서 그림 11의 결과는 전극분리신호를 사용한 경우이다.

5. 결론

위의 결과에서 볼 수 있듯이 회귀법은 본 실험에서와 같은 광범위한 용접조건에서의 추정에는 무리가 있음을 알 수 있다. 한편 인공신경회로망의 경우 용융부 직경의 추정에서 오차 5% 이내의 양호한 결과를 보이므로 향후 용접전 추정 및 평가 시스템에 널리 적용될 수 있으리라 기대한다.

참고문헌

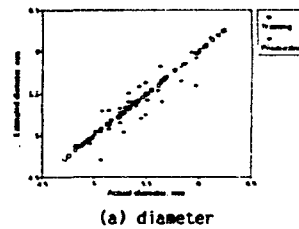
1. GEDEON S.A., SORENSEN C.D., ULRISH K.T., and EAGAR T.W., 1987, "Measurement of Dynamic Electrical and Mechanical Properties of Resistance Spot Welds", Welding Journal, Dec., pp.378-385.
2. WOOD R.T., BAUER L.W., BEDARD J.F., BERNSTEIN B.M., CZECHOWSKI J., D'ANDREA M.M., and HOGLE R.A., 1985, "A Closed Loop Control System for Three-Phase Resistance Spot Welding", Welding Journal, Dec., pp.26-30.
3. GOULD J.E., 1987, "An Examination of Nugget Development During Spot Welding Using Both Experimental and Analytical Technique", Welding Journal, January, pp.1s-10s.
4. Chang H.S. and Cho H.S., 1987, "Estimation and Control of the Weld Nugget Size in Resistance Spot

Welding Process", Sensors for Manufacturing, PED-Vol.26, American Society of Mechanical Engineers, Book No. G00405, New York, pp.215-227.

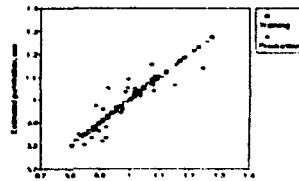
5. 최용범, 이정우, 박종우, 장희석, 1992, "저항 점용접에서 신경회로망을 이용한 용융부 크기의 예측에 관한 연구", 대한기계학회 춘계 학술대회, pp.346-349

6. Lim T.G., Cho H.S., and Chang H.S., 1991, "Estimation of Nugget Size in Resistance Spot Welding Using a Neural Networks", American Welding Society, 1991, Annual Meeting, Detroit.

7. Pao, Yoh-Han, 1989, "Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks", Addison-Wesley Publishing Company, Inc., N.Y.

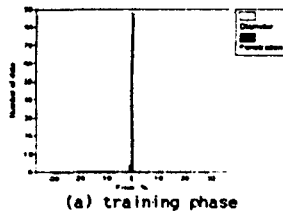


(a) diameter

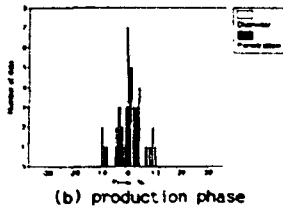


(b) penetration

Fig. 4 Actual v.s. estimated nugget size. (dynamic resistance)

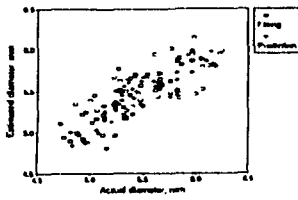


(a) training phase

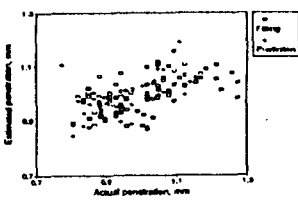


(b) production phase

Fig. 5 Error distribution of training and production phase

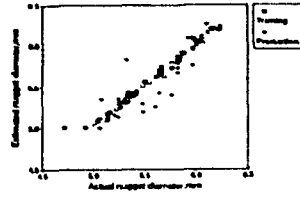


(a) diameter

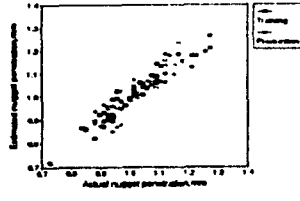


(b) penetration

Fig. 6 Actual v.s. estimated
nugget size.
(by regression method)

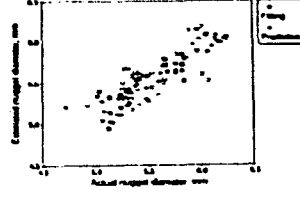


(a) diameter

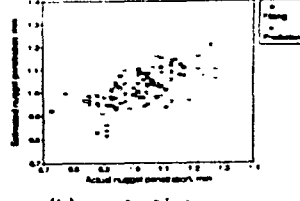


(b) penetration

Fig. 8 Actual v.s. estimated
nugget size.
(electrode movement)

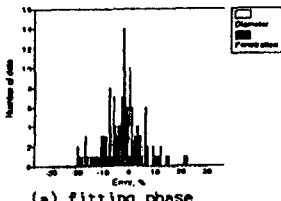


(a) diameter

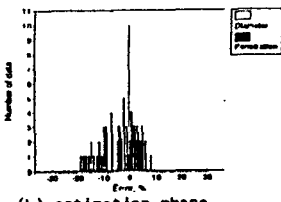


(b) penetration

Fig. 10 Actual v.s. estimated
nugget size.
(by regression method)

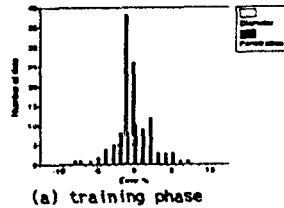


(a) fitting phase

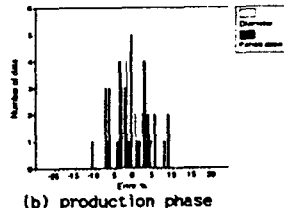


(b) estimation phase

Fig. 7 Error distribution of
fitting and estimation phase

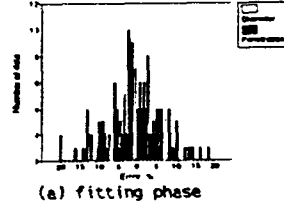


(a) training phase

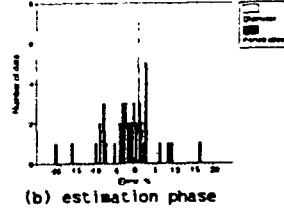


(b) production phase

Fig. 9 Error distribution of
training and production phase

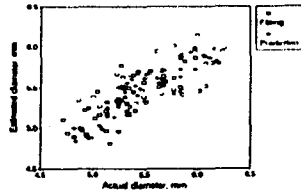


(a) fitting phase

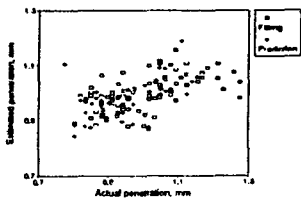


(b) estimation phase

Fig. 11 Error distribution of
fitting and estimation phase

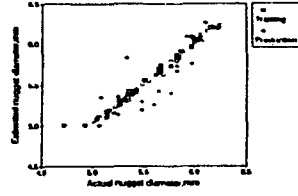


(a) diameter

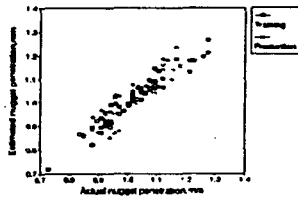


(b) penetration

Fig. 6 Actual v.s. estimated
nugget size.
(by regression method)

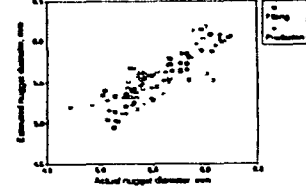


(a) diameter

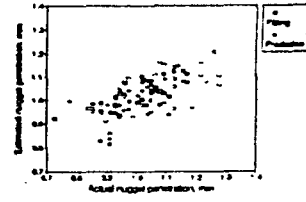


(b) penetration

Fig. 8 Actual v.s. estimated
nugget size.
(electrode movement)

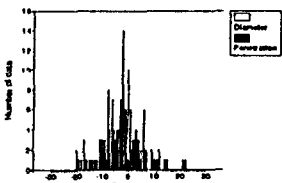


(a) diameter

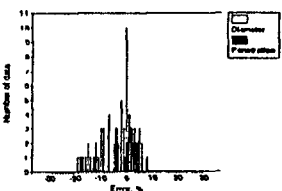


(b) penetration

Fig. 10 Actual v.s. estimated
nugget size.
(by regression method)

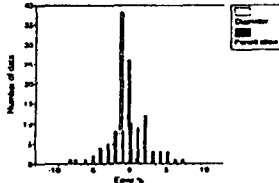


(a) fitting phase

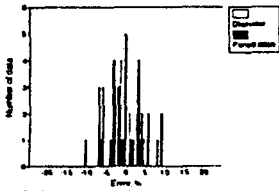


(b) estimation phase

Fig. 7 Error distribution of
fitting and estimation phase

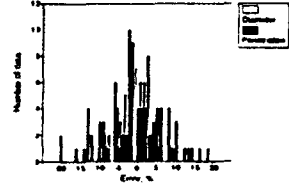


(a) training phase

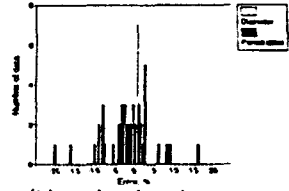


(b) production phase

Fig. 9 Error distribution of
training and production phase



(a) fitting phase



(b) estimation phase

Fig. 11 Error distribution of
fitting and estimation phase