

## GA에 의한 차량용 이종재 최적점용접 조건

한 재 희 · 양 성 모\* · 유 효 선 · 김 태 진

전북대학교 기계시스템공학부

### Optimal Condition for Spot Weldment of Dissimilar Steel Sheet in Automotive

Jae-hee Han · Sung-mo Yang\* · Hyo-sun Yu · Tae-jin Kim

Department of Mechanical system Engineering, Chonbuk National University, Jeonbuk 561-756 Korea

(Received 27 August 2009 / Accepted 30 December 2009)

**Abstract** : Welding conditions in process of spot welding must become optimum and need to guarantee stability and reliability of vehicle body considering dynamic load history. Because welding parameters in process of spot welding are various, it is difficult that the quality of spot weldment was included in the optimum levels. In this paper, we found the optimum welding conditions satisfying KS spot welding qualities using genetic algorithm and spot welding experiments of high tensile strength steel and galvanized steel. Those experiments were dissimilar weld and 2-lap spot welding. Genetic algorithm created random welding condition after that, selected optimum individuals by probability concept.

**Key words** : Genetic algorithm(유전자 알고리즘), Optimum welding condition(최적용접조건), Dissimilar weld(이종용접), High tensile strength steel(고장력강), Galvanized steel(아연도금강판)

### 1. 서 론

점용접 기술은 자동화, 조립공정의 경제성, 중량 저감 효과 및 대량생산성이 우수하여 산업전반에 걸쳐 크게 이용되고 있다.<sup>1)</sup>

현재 승용차 및 상용차의 자동차 차체의 구성을 위해 점용접이 널리 사용되고 있고, 그 결과 자동차 산업에서는 점용접성의 개선 및 관련 D/B 구축이 요구되고 있다. 특히 방청성 및 경량화를 지향하는 아연도금강과 고장력강판의 사용이 확대되면서 그에 관한 점용접성을 개선하고 있다.<sup>2)</sup>

자동차 차체의 점용접은 안정성과 신뢰성을 확보하기 위하여 다양한 용접변수를 고려해야 한다. 이러한 설계과정의 조건들을 효율적으로 고려하기 위

해 본 연구에서는 확률론적인 방법인 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 사용하였다. 1970년대 초 John Holland에 의해 본격적으로 연구되기 시작한 유전자 알고리즘은 자연의 유전학 및 자연도태의 원리에 근거한 최적화 알고리즘으로 개체간의 체계적인 정보교환을 통해 공간을 탐색해 나감으로써 주위환경에 가장 적합한 해를 구하게 된다.<sup>3,4)</sup>

본 연구에서는 유전자 알고리즘을 통해 고장력 강판과 아연도금강판을 접친 이종재 점용접부의 인장전단강도, 너깃사이즈, 압흔깊이가 KS규격을 만족하여 적정용접품질을 얻을 수 있는 최적의 용접조건을 찾기 위해 유전자 알고리즘을 수행하였고 용접조건을 최적화를 도출하였다.

\*Corresponding author, E-mail: yangsm@jbnu.ac.kr

## 2. 유전자 알고리즘

### 2.1 유전자 알고리즘의 구조 및 요소

GA(Genetic Algorithm)는 생태계의 진화과정 즉, 자연선택(Natural Selection)과 유전법칙을 모방한 확률적 최적해 탐색 기법이다. GA에서는 여러 개체로 이루어진 모집단(Population)을 운용하여 최적해를 탐색하며, 매 세대마다 모집단의 각 개체들의 적응도(Fitness)가 평가(Evaluation)되고, 이를 기준으로 좋은 개체들은 자연 선택되고, 다음 세대를 생산할 기회를 획득하게 된다.

기회를 제공받은 개체들은 서로 결합하여 서로의 유전형질이 교차(Crossover)된 새로운 자손 개체(Offspring)를 생산한다. 또한, 주어진 확률로 개체의 특정 인자(Gene)에 돌연변이(Mutation)가 발생되어 유전형질에 변화를 일으킨다. 이러한 과정 속에서, 세대교체(Replacement)가 이루어지고 새롭게 탄생한 개체들은 다시 평가된다. 이러한 과정이 특정 조건을 만족시킬 때까지 계속되어 모집단의 개체들은 진화하게 된다. 유전자 알고리즘의 기본적인 처리 과정은 Fig. 1과 같다. 초기의 개체군(Initial Population)은 주어진 문제의 해에 해당하는 n개의 염색체를 의미하며, 각 가능한 해를 개체(Individual)라 한다. 각 개체는 일반적으로 랜덤하게 발생된 0과 1의 조합으로 코드화 된 이진스트링이다.

본 논문에서는 용접변수를 이진스트링으로 하여 유전자 알고리즘을 수행하였다. 개체군의 각 염색

체 x에 대해서 적합도 함수f(x)를 계산한 후, 계산된 적합도 값에 따라서 개체군으로부터 두 개의 부모 염색체를 선택(Selection)한다.

선택 후에는 교배확률을 사용해서 새로운 자손 염색체의 각 위치에서 값을 변경한다. 이러한 과정을 거쳐 생성된 새로운 자손을 새 개체군에 포함시키며, 세대 반복을 위하여 새로운 개체군을 사용해 테스트를 반복하게 된다.

이때, 부모의 형질이 자손에게 적절히 계승되어야 하며, 교배점은 염색체 길이 내에서 랜덤하게 발생한다. 돌연변이는 부모 염색체 유전자의 일부를 임의로 바꾸어 새로운 정보를 갖는 염색체를 생성하는 것으로 돌연변이 확률에 따라 랜덤하게 발생한다.<sup>5,6)</sup> 또한, 본 연구에서는 적합도 비례선택 방법(Proportionate Selection)을 이용하였다.<sup>7)</sup> 이러한 선택법은 개체군의 다양성이 급속도로 저하되는 것을 방지함으로써 좋은 해를 얻기 전에 조기수렴(Premature Convergence)하는 것을 피할 수 있다.

### 2.2 적합도 함수

각 개체의 적합도를 평가하는 적합도 함수는 일반적으로 풀고자 하는 최적화 문제의 목적 함수(Object Function)나 다른 주관적 평가 함수를 기반으로 결정한다. 목적 함수의 값의 범위는 문제마다 다르기 때문에, 정해진 구간 사이의 양수 값을 갖도록 표준화된 값을 적합도로 사용한다. 엄격히 구별하자면, 표준화하기 전의 적합도 값을 Raw Fitness라고 하며, 표준화되어 실제 개체 선택의 기준이 되는 함수를 적합도 함수(Fitness Function)라고 한다.

본 연구에서는 인장전단강도, 유효너짓 사이즈, 압흔깊이를 이용하여 적합도 함수를 만들었으며, 용접 실험 후 얻어진 용접특성을 측정하여 각 용접 조건에 대한 적합도를 산출하였다.<sup>8)</sup>

## 3. 점용접 실험

### 3.1 시험재료 및 시험편

본 연구에서 사용된 시험편은 자동차 차체 제작용으로 널리 사용되는 두께 1.4mm EZNCEN과 HS40R이다. 점용접물의 인장-전단강도 평가를 위한 시험편은 Fig. 2와 같이 HS40R×EZNCEN로 제작하여 1

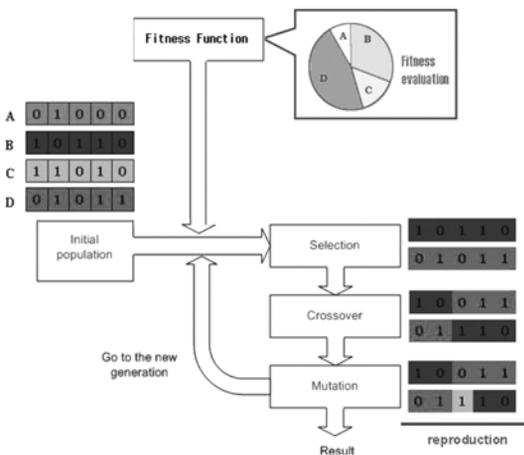


Fig. 1 General procedure of genetic algorithm

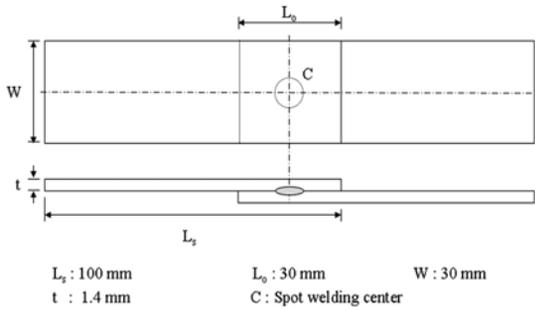


Fig. 2 Tensile-shear specimen by spot welding

Table 1 Chemical compositions (wt %)

Steel	C	Si	Mn	P	S	Ni	Al	Fe
HS40R	.087	.006	.740	.124	.003	.009	.357	Bal.
EZNCEN	.12	.	.11	.14	.05	.	.3	Bal.

Table 2 Mechanical properties of base metals

Material	Tensile stress (MPa)	Yield stress (MPa)	Elongation (%)
HS40R	416.5	286.1	39
EZNCEN	296.0	169.5	45

Table 3 Welding conditions

Welding current (kA)	Electrode force (kg)	Squeeze time (cycle)	Welding time (cycle)	Holding time (cycle)
6~11	300	30	15	10

점 점용접하였다. Table 1~3은 각각 HS40R과 EZNCEN 강판의 화학적 조성, 기계적 성질 및 점용접에 사용된 용접조건을 나타낸다.

### 3.2 점용접 및 실험방법

점용접 시험편 제작을 위한 용접기는 단상교류식 단타점(Single Point) 공압으로 작동하는 정치식(150KVA) 용접기이다. 용접에 사용된 전극은 크롬동(Cu-Cr)으로 제작된 선단경 6mm R형 dome식 전극(RWMA II)을, 점용접물의 인장전단강도 평가시험은 용량 15ton의 인장시험기를 사용하여 시험속도 2mm/min로 수행하였다. 또한 너깃 사이즈와 압흔깊이는 시험편의 중앙단면을 절단한 후 5% Nital Etching Test에 의해 측정하였다.

### 3.3 점용접 실험 결과

실험을 통한 KS 용접품질규격을 만족하기 위한 EZNCEN의 적정용접조건은 Fig. 3과 같이 300kg, 15cycle, 8.6 ~ 10kA, HS40R은 300kg, 15cycle, 7.2 ~ 8kA으로 나왔다.

또한 이중재는 가압력 300kg, 용접시간 15cycle, 용접전류 6 ~ 11kA의 용접조건에서 점용접을 실시한 결과 KS에서 권장하는 유효너깃직경 범위를 만족하는 적정 용접전류 범위는 Fig. 4와 같이 6.8 ~ 9.3kA임을 알 수 있었다.

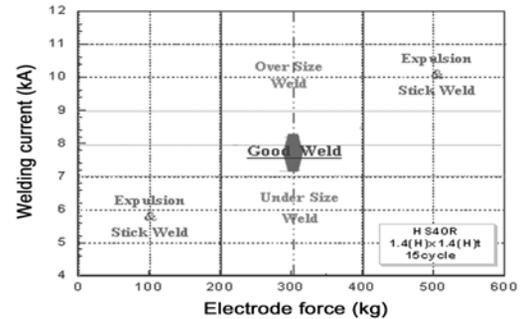
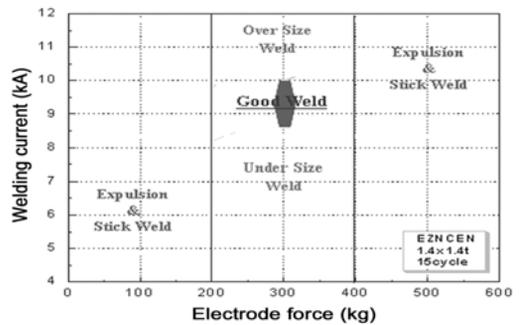


Fig. 3 The optimum welding zone of 2-lap EZNCEN×EZNCEN, HS40R×HS40R

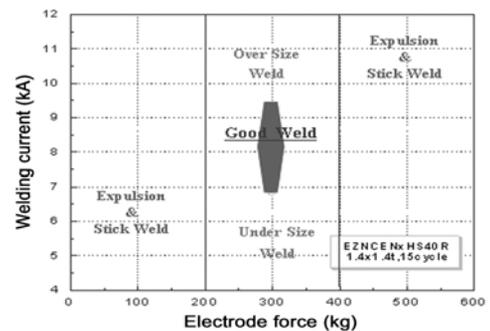


Fig. 4 The optimum welding zone of 2-lap EZNCEN×HS40R

#### 4. 유전자 알고리즘에 의한 용접조건 최적화

본 연구에서는 점용접 실험을 통하여 얻은 적정 용접조건범위에서 유전자 알고리즘을 수행한 후, 최적의 용접조건을 찾아보았다.

이때 이중재 시험편을 점용접하여 인장-전단강도, 압흔 깊이 및 너깃 사이즈 등을 측정하여 용접변수 변화에 따른 유전자 알고리즘의 목적함수로 사용하였다.

##### 4.1 용접조건 생성

용접조건을 생성하기 위한 유전자 알고리즘은 Visual Basic을 이용하였으며, 용접조건인 가압력, 용접전류, 용접시간 등의 유전자 항목과 평가기준이 되는 인장전단강도, 압흔깊이, 너깃 사이즈의 유전자 등의 항목을 Table 4와 같이 각각에 할당하여 총 38bit로 정의하고, 각 세대는 24개의 개체를 생성한다. 초기에 랜덤하게 생성된 유전자들은 연산을 통하여 목적함수를 만족하는 새로운 세대로 진화하게 되며, 유전자 진화과정을 거쳐서 N세대 후에는 용접규격을 만족하는 용접유전자 알고리즘을 생성하게 된다.<sup>9)</sup>

본 연구에서는 용접품질에 영향을 주는 인장전단강도, 압흔깊이, 너깃사이즈를 실험에 의해 측정하였다. 그 데이터들을 목적값으로 사용하여 점용접 실험 결과 적정용접조건범위를 산정하였고, 그 범위내에서 유전자 알고리즘을 수행하였다. 즉 유전자 알고리즘 수행 범위는 가압력 300kg, 용접시간 15cycle, 용접전류 7~11kA이다.

유전자 알고리즘은 기본적으로 휴리스틱이며 최적해를 보장하지 못한다.<sup>10)</sup> 본 연구에서는 알고리즘 자체를 수회 반복 수행하였고 그 중 가장 좋은 해를 선택함으로 유전자 알고리즘이 갖는 한계를 극복하고자 하였다.

Table 4 Definition of chromosome

Electrode force	Welding time	Welding current	Tensile stress	Indentation depth	Nugget size
4bit	3bit	3bit	10bit	10bit	8bit

##### 4.2 최적화 과정

GA를 통해 구한 용접조건 중 최적의 조건을 얻기

위해 KS B 0850의 압흔율 10% 이하, 너깃직경이( $4.3\sqrt{t} \sim 5\sqrt{t}$  (t: 두께))를 만족하는 용접조건을 선정 한 후 최적의 용접조건을 찾기 위한 유전자 알고리즘을 적용하였다. 또한 용접조건에 따른 인장·전단강도, 압흔깊이 및 전극가압력을 점수화하여 최적의 용접조건을 선정하였다.<sup>11)</sup>

최적의 용접조건 선정 시, 고려되어야 할 사항은 품질과 생산성이며 이를 위해 다음과 같은 사항을 고려하였다.<sup>12,13)</sup>

- 연결부 강성 극대화 및 과단강도 최대화를 위한 인장전단강도 평가
- 비산(Expulsion) 발생 억제를 위한 가압력 증가
- 압흔 자국에 의한 차체 품질의 저하를 막기 위한 압흔깊이 감소

따라서 본 연구에서는 인장전단강도, 압흔깊이, 가압력의 항목에 대한 점수 함수를 Fig. 5와 같이 정하고 용접조건을 만족하는 용접변수에 따라 점수를 부여하였다.

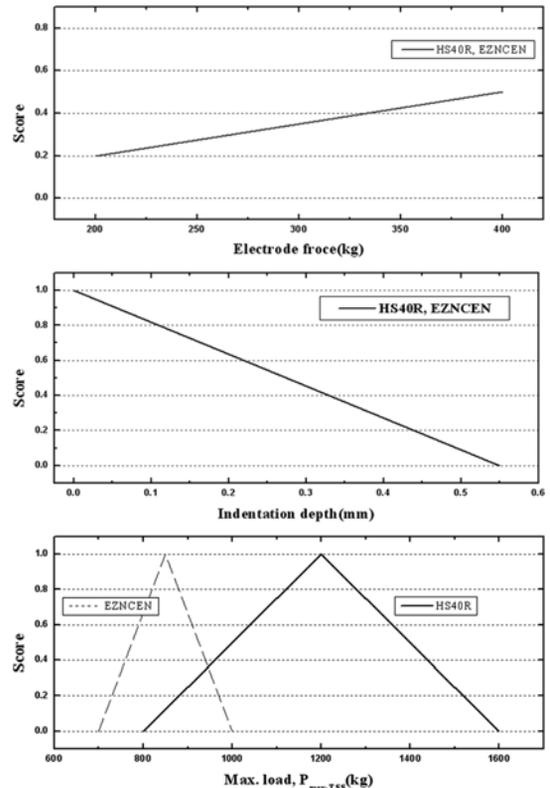


Fig. 5 Score function for optimum welding conditions

### 4.3 용접조건 최적화 선정

이종재에 대한 유전자 알고리즘을 수행한 결과 Fig. 6과 같이 용접변수에 따른 24개의 용접조건을 구하였다.

본 논문에서는 이종재의 유전자 알고리즘을 수행하기 위하여 사전에 동종재료의 유전자 알고리즘을 수행하였고, 그 결과 중 앞에서 언급한 이종재의 용접조건과 비교하기 위하여 동종재료의 최적용접조건들을 Table 5에 정리하였다.

Table 5를 보면 실험결과 적정용접범위 안에서 유전자 알고리즘을 수행한 결과 EZNCEN의 경우 300kg,

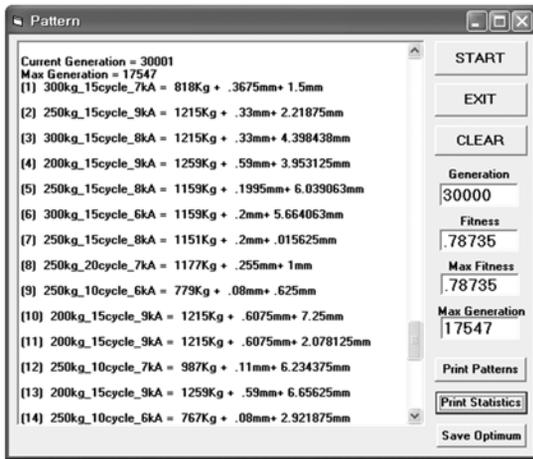


Fig. 6 Result of welding condition by genetic algorithm

Table 5 List of the optimum welding condition for HS40R and EZNCEN spot welded joint

Material	Electrode force (kg)	Welding time (cycle)	Welding current (kA)
EZNCEN	300	15	9
HS40R	300	15	8

Table 6 List of the optimum welding condition for HS40R × EZNCEN spot welded joint

Material	Grade	Electrode force (kg)	Welding time (cycle)	Welding current (kA)
HS40R × EZNCEN	1	300	15	8
	2			7
	3			9

15cycle일 때 8.6 ~ 10kA 용접전류 중 9kA가 최적으로 나왔다. 또한 HS40R의 경우는 300kg, 15cycle일 때 7.2 ~ 8kA 용접전류에서 8kA가 최적으로 나왔다.

이종재의 경우 실험을 통해 얻은 적정용접조건인 가압력 300kg, 용접시간 15cycle, 용접전류 6.8 ~ 9.3kA에서 유전자 알고리즘을 수행한 결과 최적의 용접조건을 Table 6에 순위별로 정리하였다. 즉, 가압력 300kg, 용접시간 15cycle에서 적정용접전류 범위 6.8 ~ 9.3kA에서는 차례로 8, 7, 9kA로 최적의 용접조건을 찾았다.

또한 이종재의 유전자 알고리즘을 통해 얻은 최적 용접조건은 HS40R 동종재료 용접조건인 8kA 일 때 가장 최적인 것으로 얻어진 결과로 보아 HS40R과 EZNCEN 이종재 용접에서는 동일 가압력과 용접시간일 때 고장력강의 용접조건을 적용하는 것이 최적의 용접품질을 얻는데 더욱 경제적이고 효과적이다.

## 5. 결론

본 논문에서는 고장력강판과 아연도금강판의 이종재 점용접시에 용접품질과 경제성 확보를 위해 점용접 실험을 통해 얻은 적정용접범위 내에서 효율적 방법인 유전자 알고리즘을 사용하여 최적의 점용접 조건을 구하였다.

본 연구의 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 고장력강과 아연도금강의 이종재 점용접시 적정 용접조건은 300kg, 15cycle 일 때 용접전류가 8, 7, 9kA 순이다. 고장력강 동종재간의 점용접의 최적 조건은 가압력 300kg, 15cycle, 전류가 8kA일 때이며, 아연도금강의 동종재간의 경우는 9kA일 때이다.
- 2) 유전자 알고리즘을 사용하여 점용접의 최적 용접조건을 얻은 결과, 이종재의 점용접은 아연도금강의 동종재간 점용접의 최적용접조건에 비해 고장력강의 점용접 최적조건에 더 많은 비중을 두어야 한다.

## 후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원에서 시행한 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구 결과임.

## References

- 1) D. K. Yun, Advanced Welding Engineering, Hakmunsa, p.337, 1982.
- 2) H. H. Kim, Fatigue Strength and Life Evaluation for Spot Weldment of High Strength Steel Sheet in Automobile, M. S. Thesis, Dept. of Precision Mechanical Engineering Graduate School of Chonbuk National University, 2006.
- 3) Y. H. Derek and D. Debasish, "A Genetic Algorithm Application for Sequencing Operations in Process Planning for Parallel Machining," Transaction of IIE, Vol.15, No.4, pp.388-394, 1996.
- 4) S. J. Lee, Y. S. An, D. W. Lee, S. S. Cho and W. S. Joo, "A Study on Optimal Design of Rocker Arm Shaft Using Improved Genetic Algorithm," Journal of KSME(A), Vol.29, No.6, pp.835-841, 2005.
- 5) C. R. Reeves, "Using Genetic Algorithms with Small Populations," Proc. of the Fifth Intern. Conf. on Genetic Algorithms, pp.92-99, 1993.
- 6) J. J. Grefenstette, "Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms," IEEE Syst. Man Cybern, Vol.16, pp.122-128, 1986.
- 7) D. E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, 1989.
- 8) K. S. Kim, Optimization of Spot Weldment and Fatigue Life using Genetic Algorithm, M. S. Thesis, Dept. of Precision Mechanical Engineering Graduate School of Chonbuk National University, 2006.
- 9) E. O. Lee, C. M. Lee, C. D. Kee, H. H. Yu and S. M. Yang, "Optimization Design for Dissimilar Weld in Automobile using Genetic Algorithm," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.1924-1929, 2006.
- 10) C. S. Oh, H. E. Im and W. G. Hwang, "Determination of a Duty Cycle for Tracked Vehicle Using Genetic Algorithm," Transactions of KSAE, Vol.13, No.3, pp.154-161, 2005.
- 11) D. W. Kim and K. Y. Kim, "Robot Arc Welding Task Sequencing using Genetic Algorithms," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol.16, No.1, pp.49-60, 1999.
- 12) K. Nakane and Y. Torii, "Study on Determination of Optimum Welding Condition in Resistance Spot Welding," Journal of Japanese Welding Society, Vol.42, No.3, pp.65-75, 1973.
- 13) H. H. Kim, J. H. Park, I. H. Kwon, H. H. Yu and S. M. Yang, "Strength Characteristics on Multi-Lap Spot Joint of High Strength Steel Sheet Welded by Various Welding Conditions," Fall Conference Proceedings, KSAE, Vol.3, pp.1159-1163, 2004.