

용접법의 우선순위 결정 방법

김종도*, 김광희**, 윤문철**,#

*충원대학교 산학협력단, **부경대학교 기계설계공학과

Decision-Making Method of Priority Welding Process

Jong-Do Kim*, Kwang-heui Kim**, Moon-Chul Yoon**,#

*Industru-Academic Cooperation Foundation, Jungwon Univ.,

**Dept. of Mechanical Design Engineering, Pukyong National Univ.

(Received 25 April 2016; received in revised form 20 May 2016; accepted 27 May 2016)

ABSTRACT

Nowadays, several welding processes are generally used to join parts together, and the materials are generally steel, aluminum, copper, stainless steel, and other difficult-to-weld materials. If a proper welding process is chosen, it is helpful for welding parts. However, there is no desirable technique for appropriately deciding on the welding process in the industry. Therefore, an appropriate method of selecting a welding process is needed for the novice worker in the industry. In this sense, a new analytic network process (ANP) technique is used for effective decision making in welding. By considering several criteria in ANP, a selection method is suggested to decide on the proper welding process. In the study, several criteria were considered for the proper welding of parts. By considering a matrix of prior interdependence effects among various welding processes, a decision-making method based on an ANP is accomplished using a weighting matrix, which is supposed to select an appropriate welding process. In addition, for appropriate decision criteria of the welding process, several factors, such as material, shape, precision, economics, and equipment, are used to accomplish the ANP algorithm. Moreover, the final weighting matrix is calculated following its ANP strategy. Furthermore, this decision-making technique is applied to both stainless razor spot joining and thick steel pipe joining. The results show its reliability and practicality, and the novice engineer and manager can use this technique to determine the best welding process.

Key Words : Analytical Hierarchy Process(분석 계층 프로세스), Analytic Network Process(분석네트워크 프로세스), Decision Making(의사결정), Welding Process(용접가공)

1. 서 론

부품들을 접합하는 방법에는 여러 가지 용접법이 사용되고 있다. 이 용접법은 현재 우주항공, 원자력, 미사일, 플랜트, 터어빈, 자동차, 공구 및 금형제작 분야에서 이 널리 사용되고 있다^[1,2].

용접법은 나노용접 등 고정도의 정밀하고 복잡한 형태의 공작물 용접분야에도 적용되고 있다. 그러나 다양한 용접법 중에서 가장 적절한 용접법을 빨리 선택하는 것은 용접법의 특성을 잘 아는 숙련자라도 의사 결정에 시간이 걸릴 수 있다. 초보 관리자가 그 지식을 습득 후 적절한 용접법을 선택하였는지 상당한 시간이 소요되어 효율적인 현장관리가 어렵다고 할 수 있다. 따라서 초보 관리자도 수월하게 용접법을 선택하도록 적절한 용접

Corresponding Author : mcyoon@pknu.ac.kr

Tel: +82-51-629-6160, Fax: +82-51-629-6150

법을 사전에 확인하여 용접하면 뒤늦게 용접법을 바꾸어 재 용접하게 되어 발생하게 되는 비용을 줄일 수 있다. 일반적으로 용접법의 종류는 다양하며 보통 용도와 수월성을 고려하여 숙련자의 경험에 의하여 그 용접법을 선정하고 있다. 본 논문은 이러한 선택하는데 어려운 문제점을 해결하고자 수행이 되었다. 이와 관련된 연구로는 우선 Cogun^[3]이 AHP(analytical hierarchy process : 분석 계층 프로세스)를 제조법 중 특수가공법에 적용하여 여러 특수가공법의 가공과정 순위를 대화식으로 생성하는 16 자리 숫자의 분류 코드를 사용하여 새로운 차원의 가공 프로세스를 선택하는 방법을 제시하였다. Chakraborty^[4-7]도 서로 다른 기준과 하위 우선순위 값을 고려하여 적절한 특수가공법을 분석적 계층 프로세스와 품질기능 전개법(QFD)등을 이용하여 시스템을 구성하여 의사결정을 하였다. 그러나 다양한 기준에 의한 용접법을 결정하여야 하는 경우에도 그 결정하는 방법을 수월하게 할 필요가 있다. 임의의 여러 기준에 의한 의사 결정법으로 보편적으로 많이 사용하는 방법은 분석 계층 프로세스(AHP)와 분석 네트워크 프로세스(ANP)가 많이 사용되고 있다. Saaty^[8]에 의하여 개발된 분석적 계층 프로세스는 의사결정의 한 가지 방법으로 사용되고 있으나 실시간의 복잡한 문제를 다루기에는 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 개발된 방법이 분석 네트워크 프로세스이고 이 기법은 전체 구조가 기준(criteria)과 요소(element)의 신경망으로 구성하여 복잡한 의사결정 문제를 비교적 정확하게 모델링할 수 있다는 것이 이미 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 이 분석 네트워크 프로세스의 이런 장점을 고려하여 주어진 다양한 기준을 고려하여 용접가공에 적용하여 여러 용접법 중 가장 적절한 용접법을 선정하는 보다 신뢰성 있는 의사결정 시스템을 구성하여 용접에 지식이 없는 관리자들이 현재 실무자가 사용하고 있는 용접법이 적절한지를 쉽게 판단할 수 있도록 하고자 한다.

2. 분석 네트워크 프로세스

2.1 AHP와 ANP

분석 네트워크 프로세스는 분석 계층 프로세스와 마찬가지로 의사결정의 대상에 대한 모형을 설정하고 적절한 상호 비교를 하는 것으로 각 요소와 기준간의 가중치를 구하게 되어 있다. 가중치를 구한 후 계산된 요소별 가중치를 초행렬(Super Matrix)의 각 열에 대입하고 초행렬의 반복 연산을 통하여 최종 중요도를 얻는 과정을 거친다. AHP의 경우, 계층적으로 평가항목과 기준간의 독립성이 있다는 가정 하에 사용되고 있다. 실제로는 기준 간 또는 평가항목 간에는 상호 의존성(Dependence)이 존재한다. 따라서 이를 고려하여 기준 간 또는 평가항목 간에 피드백을 허용하고 이를 계층화하여 네트워크 개념으로 ANP를 사용하게 되었다. 이러한 ANP는 내외부 종속관계와 피드백을 갖는 구조를 가지게 되며 AHP의 확장 방식이다. ANP의 피드백을 고려하는 구조는 의사결정시 발생할 수 있는 상호작용의 복잡한 관계를 보다 효과적으로 나타낼 수 있으며 원하는 방법으로 요소간의 상호 관계를 갖고 있어 주어진 구조를 바탕으로 각 요소와 요소가 묶여있는 그룹 간에 미치는 영향을 파악할 수 있다.

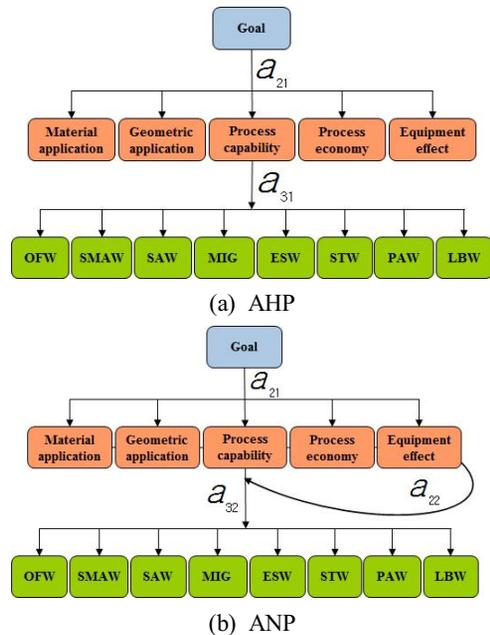


Fig. 1 Comparison of AHP and ANP

ANP 신경망의 모든 요소는 임의의 방법으로 연결되어 피이드백 형태로 표현되어 그룹 요소 간에 영향을 줄 수 있도록 변환 초행렬(super matrix)로 나타낼 수 있다. 즉 상대적인 가중치를 나타내는 고유벡터를 슈퍼매트릭스를 구성하기 위해 각각의 상대적인 가중치를 나타내는 매트릭스 형태로 표현된다. 이 ANP는 두 가지 구성 요소 즉 제어 계층 구조 그룹간의 네트워크로 구성되고 그 구조는 Fig. 1과 같이 표현된다. Fig. 1(a),(b)는 AHP와 ANP의 슈퍼매트릭스를 구성하기 위한 각각의 매트릭스 상호간의 관계를 나타내고 있다. 우선순위를 종합적으로 다루기 위해서는 비교매트릭스의 각 열을 합한 후 정규화(normalizing) 한 후 이들을 묶어 슈퍼 매트릭스를 구성한다. 분석 네트워크 프로세스에서 사용된 융접법의 의사결정은 융접법의 선정기준을 고려하였고, 의사 결정에 필요한 주요 기준은 다음의 5가지 기준을 고려하였다.

본 연구에서는 우선 의사결정 시스템의 구성에 ANP를 기반으로 구성하였으며 고려한 융접기준으로는 융접 시 주어진 융접모재 기준(Material application : MA), 융접비드의 크기와 융접속도 기준(Geometric bead size : GBS), 융접 정밀도기준(Geometric precision capability : GPC), 경제성(process economy : PE) 기준 및 융접설비 기준

Table 1 Basic decision making criterion for welding

critierion	contents
Welding material (Material application : MA)	Applying welding materials: Steels, Stainless steel, Titanium, Cast iron, Aluminium, Magnesium, Nickel, Copper etc.
Welding speed (Geometric bead size : GBS)	Welding speed and its capacity for welding bead size
Welding precision (Geometric precision capability : GPC)	Geometric precision level of bead: surface roughness, clearance deformation, distortion
Welding economics (Process economy : PE)	Cost for welding such as investment, operating and material cost
Welding equipments (Equipment operating effect : EOE)	Availability, portability and skill of welding equipment

Table 2 Fundamental Scale

1	weak importance
3	moderate importance
5	average importance
7	strong importance
9	extreme importance
2,4,6,8	intermediate values
Use reciprocals for inverse comparisons	

(Equipment operating effect : EOE) 등의 요구 조건을 선정하였고 이런 기준에 대한 자세한 내용은 Table 1에 설명 되어 있다. ANP에서는 A 매트릭스의 a_{ij} 항에서 j열이 정해지면 행에 따라 서로 비교하여 평가 값을 갖게 할 수 있고 행에 따른 비교행렬 (comparison matrix)을 행렬의 열에 나타낼 수 있다. 이 때 행의 평가 값은 항상 양의 값이 되게 한다. a_{ij} 가 $a_{i+1,j}$ 보다 높은 (낮은) 평가를 받는다면 $a_{i+1,j}$ 항에 큰 수치가 주어지게 되고 이러한 방법으로 j열의 전체 행을 완성한다. j 열도 $1 \leq j \leq N$ 의 전체 범위에서 모두 비교 값을 부여하여 채울 수 있고 대각항의 크기가 1이 되도록 하면 아래 매트릭스와 같이 구성할 수 있다.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12}(=\alpha_{12}) & a_{13}(=\alpha_{13}) \\ a_{21}(=1/\alpha_{12}) & 1 & a_{23}(=\alpha_{23}) \\ a_{31}(=1/\alpha_{13}) & a_{32}(=1/\alpha_{23}) & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

이를 바탕으로 각 항목별 점수를 부여한 후 ANP 방법의 가중치를 Table 2와 같이 나타낼 수 있고 각 변수 항 사이의 비교를 통해 중요도를 부여한 후 열의 합을 구한 이후 각 항의 값을 열의 합계로 나누어 새로운 정규화 값으로 표현할 수 있다. 이렇게 나온 정규화한 값이 각 변수항의 가중치가 된다.

2.2 비교 매트릭스의 일관성 측정

기본 기준을 고려하여 상호 비교 매트릭스의 각 행과 열에 신뢰성 있는 값을 입력하여야 하며 전문가에 의하여 입력 값으로 구성된 비교 매트릭스의 일관성이 검토되어야 한다. 일관성 문제는 고유치와 고유벡터를 나타내는 일반식의 특수한 형태이고 고유벡터는 가중치 벡터에 해당되고 이 가중치가 신뢰할 수 있는지 확인하기 위하여 일관

성지수(Consistency Index)가 계산된다. 이를 위해 최초의 비교 매트릭스의 행렬과 각 변수의 가중치를 이용하여 고유치를 곱한 λA 값을 계산한다. 계산한 각 항의 값을 각 변수의 가중치로 나눈 뒤 그 합을 합하여 평균을 계산하여 λ_{max} 값을 얻는다.⁹⁾

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \left(\frac{\sum row_1}{weight_1} + \frac{\sum row_2}{weight_2} + \dots + \frac{\sum row_n}{weight_n} \right) \quad (2)$$

λ_{max} 를 이용하여 일관성비 CR (consistency ratio)은 식(3)과 같이 정의되고 매트릭스 구성의 일관성 정도를 판단할 수 있다.

$$CR = \frac{1}{RI(random \in dex)} \times \frac{(\lambda_{max} - n)}{n - 1} \quad (3)$$

여기서, $CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{n - 1}$ 이고 n 은 열방향의 입력 값의 수이고 일반적인 RI (random index)는 Table 3과 같다. 네트워크 프로세스는 분석 계층 프로세스와 마찬가지로 의사결정의 대상에 대한 모형을 설정하고 적절한 상호 비교를 하는 것으로 각 요소와 기준간의 가중치를 구하게 되어 있다.

각 행렬의 일관성은 일관성비(CR : Consistency ratio)를 계산하여 그 값이 0.1 보다 작으면 일관성이 있으므로 식 (3)을 이용하여 각 행렬의 일관성비를 계산하여 확인하여야 한다. 본 연구에서는 Table 4의 경우 일관성비의 값을 구한 결과 0.0323으로 계산되어 행렬의 일관성이 있게 구성된 것을 알 수 있었다.

Table 3 General RI(n) values by Wharton

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

Table 4 Pair-wise comparison matrix for different criteria

Criteria	MA	GBS	GPC	PE	EOE	Priority weight
MA	1	1/2	1/2	5	3	0.2130
GBS	2	1	1	6	4	0.3442
GPC	2	1	1	3	3	0.2915
PE	1/5	1/6	1/3	1	1/2	0.0602
EOE	1/3	1/4	1/3	2	1	0.0912
Sum of column	-	-	-	-	-	1

또한 Table 5 ~ Table 15의 모든 행렬의 일관성비를 계산하여 본 결과 일관성비는 모두 0.1 보다 작게 계산되어 가중치를 선택한 주어진 행렬의 구성은 모두 일관성 있게 잘 선택된 것을 확인할 수 있었다.

3. ANP법의 용접가공에 적용과 분석

본 연구에서 고려한 용접가공법은 많이 상용되고 있는 용접법 중 유사성이 있는 것을 제외하고 특성이 서로 다른 아래 1) ~ 8)의 8가지를 적용하였고 4단계의 임의의 추가 조건 행렬을 구성하기 위하여 각각의 용접법이 주어지며 상호 종속 행렬을 구성하는 요소로 사용되었다.

- 1) 산소아세틸렌용접(OFW: Oxyfuel gas welding)
- 2) 막대용접(SMAW: Shielded metal arc welding)
- 3) 서브머지용접(SAW: Submerged arc welding)
- 4) GMAW(MIG: Gas metal arc welding)
- 5) 전기 점용접(ESW: Electric spot welding)
- 6) 스티드 용접(STW: Stud welding)
- 7) 플라즈마용접(PAW: Plasma arc welding)
- 8) 레이저빔용접(LBW: Laser beam welding)

3.1 첫 번째 조건 추가

5가지 기본 기준을 고려한 상호 비교행렬은 Table 4와 같고 이 행렬의 각 요소의 수치는 Table 2의 상호 중요도의 정도를 수치의 크기로 표현하게 되고 이것은 전문가의 경험에 의한 자료에 준하며 정확한 자료일수록 그 신뢰성은 높아진다고 할 수 있다. 임의의 1단계 추가 고려 조건을 부여할 수 있다.

Table 4에서는 보는 바와 같이 ‘비드크기 및 용접속도기준(GBS) \geq 정밀도 기준(GPC) \geq 모재기준(MA) \geq 설비기준(EOE) \geq 경제성기준(PE)’의 순으로 변수의 우선순위가 결정되었다. 분석네트워크 프로세스를 적용할 시 조건에 맞는 적절한 용접법을 선정하기 위하여 우선 상호 중요도를 고려하여 5가지 기본 기준을 고려한 비교 행렬을 구하였고 1단계 조건을 고려한 행렬의 정규화 된 가중 행렬 $w_l = (0.2130, 0.3442, 0.2915, 0.0602,$

0.0912)은 Table 4와 같이 구하여진다.

3.2 두 번째 조건 추가

본 연구에서 여러 용접법으로 가공하는 재료의 예로 면도날용 스테인레스강을 선정하면 이 재료를 가공할 시 각 5가지 기준의 상대적인 영향의 정도를 수치로 나타낼 수 있다. 이러한 2단계의 조건을 고려하여 비교 행렬을 구하면 Table 5의 상반부와 같이 주어질 수 있고 Table 5의 하반부는 이를 정규화한 가중행렬로서 각 열에서 추가 기준이 주어질 경우에 각각의 용접법의 영향을 나타내는 행렬을 보여주고 있다.

3.3 세 번째 조건 추가

기본적으로 면도날의 미소 용접부 용접할 때의 5가지 기준의 상호 가중치의 조건은 Table 6을 이용하여 5 기준의 상호중속 가중 행렬 $w_{31} = (0.1538, 0.1538, 0.0769, 0.3077, 0.3077)$ 을 얻을 수 있다. 또한 면도날의 용접 시 적용 용접의 경우에는 설비효과의 기준이 별 영향을 미치지 않는다고 할 경우의 조건을 부여하면 4개의 독립적인 기준만 영향을 고려하면 되고 이 경우 상호 영향의 정

Table 5 Performance of the welding processes with respect to five criteria

Welding process	Criteria				
	MA	GBS	GPC	PE	EOE
OFW	3	3	3	7	9
SMAW	3	3	3	7	9
SAW	3	3	3	7	3
MIG	3	3	3	5	3
ESW	5	7	3	7	5
STW	5	3	1	7	7
PAW	5	7	7	5	5
LBW	9	9	9	1	1
	w21	w22	w23	w24	w25
OFW	0.0833	0.0789	0.0938	0.1522	0.2143
SMAW	0.0833	0.0789	0.0938	0.1522	0.2143
SAW	0.0833	0.0789	0.0938	0.1522	0.0714
MIG	0.0833	0.0789	0.0938	0.1087	0.0714
ESW	0.1389	0.1842	0.0938	0.1522	0.1190
STW	0.1389	0.0789	0.0313	0.1522	0.1667
PAW	0.1389	0.1842	0.2188	0.1087	0.1190
LBW	0.2500	0.2368	0.2813	0.0217	0.0238

Table 6 Relative influence condition of five interdependent criteria for stainless steel

Criteria	MA	GBS	GPC	PE	EOE
MA	1	1	2	1/2	1/2
GBS	1	1	2	1/2	1/2
GPC	1/2	1/2	1	1/4	1/4
PE	2	2	4	1	1
EOE	2	2	4	1	1

Table 7 Four interdependent criteria degree of relative influence without equipment effect

Criteria	MA	GBS	GPC	PE
MA	1	1	2	1/2
GBS	1	1	2	1/2
GPC	1/2	1/2	1	1/4
PE	2	2	4	1

Table 8 Four interdependent criteria degree of relative influence without PE condition

Criteria	MA	GBS	GPC	EOE
MA	1	1	2	1/2
GBS	1	1	2	1/2
GPC	1/2	1/2	1	1/4
EOE	2	2	4	1

도를 나타내어 Table 7과 같이 표현 할 수 있으며 이러한 추가 조건이 부여된 경우 상호중속 가중행렬은 $w_{32} = (0.2222, 0.2222, 0.1111, 0.4444)$ 로 계산이 된다.

면도날의 용접 시 제품의 용접재료나 비드의 크기, 변형, 뒤틀림 등에 의한 형상공차의 정밀정도가 상당히 중요하게 고려되어하고 용접경제성(PE)은 그다지 영향을 주지 않는 조건에 대응하기 위해서는 비교행렬의 구성에서 용접경제성의 기준은 제외하고 Table 8과 같은 4기준만을 고려한 비교행렬이 구성될 수 있고 이 경우 상호중속 가중행렬은 $w_{33} = (0.2222, 0.2222, 0.1111, 0.4444)$ 로 계산된다.

여기에 용접비드의 크기나, 형상공차의 정밀정도가 상당히 중요하게 고려되어야 하고 용접경제성(PE)과 설비의 특성은 그다지 영향을 주지 않는 조건을 부여하고 싶은 경우, 이 조건에 대응하기 위해서는 비교행렬의 구성에서 경제성과 설비의 기준은 제외하여 Table 9와 같은 3 기준을 고려한

Table 9 Three interdependent criteria degree of relative influence without PE and EOE condition

Criteria	MA	GBS	GPC
MA	1	1	2
GBS	1	1	2
GPC	1/2	1/2	1

Table 10 Three interdependent criteria degree of relative influence for severe effect of EOE condition

Criteria	MA	GPC	EOE
MA	1	2	1/7
GPC	1/2	1	1/5
EOE	7	5	1

비교 행렬이 구성될 수 있고 이 경우 상호중속 가중행렬은 w_{34} 는 $w_{34} = (0.4000, 0.4000, 0.4000)$ 이다. 자동화를 요하는 경우 용접속도를 높여야 하고 용접법이 설비효과에 의한 상대적인 영향을 크게 받는 경우이다. 이때는 Table 10과 같은 설비조건외 비교 행렬을 부여할 수 있고 3개의 기준만 고려한 경우의 상호 중속 가중 행렬은 $w_{35} = (0.1580, 0.1109, 0.7311)$ 이고 이 경우는 앞의 단계1 ~ 단계3의 조건 외에 추가로 조건을 부여한 경우가 된다.

Table 10과 같은 비교 행렬이 추가 되면 서로 다른 기준에 의한 상호 중속 우선정도를 나타내는 가중 벡터 w_c 는

$$w_c = A_3 \times w_l = \begin{bmatrix} 0.1588 & 0.2222 & 0.2222 & 0.4000 & 0.1580 \\ 0.1588 & 0.2222 & 0.2222 & 0.4000 & 0 \\ 0.0769 & 0.1111 & 0.1111 & 0.2000 & 0.1109 \\ 0.3077 & 0.4444 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3077 & 0 & 0.4444 & 0 & 0.7311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.2130 \\ 0.3442 \\ 0.2915 \\ 0.0602 \\ 0.0912 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2125 \\ 0.1981 \\ 0.1092 \\ 0.2185 \\ 0.2617 \end{bmatrix}$$

로 구해진다.

3.4 네 번째 조건 추가

면도날 용접에서 재료관련 추가 기준을 고려하여 각 용접법 상호간의 중속 정도를 1 ~ 9 크기의 정도로 표현하여 용접법 상호간의 가중행렬을 적용하면 Table 11과 같이 가중 행렬로서 상반부와 같이 나타낼 수 있다. 또 아래 하반부의 데이터는

Table 11 Process weight matrix(A41) for material application

Process	OFW	SMAW	SAW	MIG	ESW	STW	PAW	LBW
OFW	1	1	1	1	1	1	1/2	1/3
SMAW	1	1	1	1	1	1	1/2	1/3
SAW	1	1	1	1	1	1	1/2	1/3
MIG	1	1	1	1	1	1	1/2	1/3
ESW	1	1	1	1	1	1	1/2	1/3
STW	1	1	1	1	1	1	1/2	1/3
PAW	2	2	2	2	2	2	1	2/3
LBW	3	3	3	3	3	3	3/2	1
OFW	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
SMAW	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
SAW	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
MIG	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
ESW	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
STW	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
PAW	0.1818	0.1818	0.1818	0.1818	0.1818	0.1818	0.1818	0.1818
LBW	0.2727	0.2727	0.2727	0.2727	0.2727	0.2727	0.2727	0.2727

Table 12 Process weight matrix(A42) for GBS

Process	OFW	SMAW	SAW	MIG	ESW	STW	PAW	LBW
OFW	1	1	1	1	1/5	1/3	1/7	1/9
SMAW	1	1	1	1	1/5	1/3	1/7	1/9
SAW	1	1	1	1	1/5	1/3	1/7	1/9
MIG	1	1	1	1	1/5	1/3	1/7	1/9
ESW	5	5	5	5	1	5/3	5/7	5/9
STW	3	3	3	3	3/5	1	3/7	1/3
PAW	7	7	7	7	7/5	7/3	1	7/9
LBW	9	9	9	9	9/5	3	9/7	1
OFW	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357
SMAW	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357
SAW	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357
MIG	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357
ESW	0.1786	0.1786	0.1786	0.1786	0.1786	0.1786	0.1786	0.1786
STW	0.1071	0.1071	0.1071	0.1071	0.1071	0.1071	0.1071	0.1071
PAW	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500
LBW	0.3214	0.3214	0.3214	0.3214	0.3214	0.3214	0.3214	0.3214

위의 상반부 데이터를 정규화한 초행렬로 A_{41} 로 표현된다. 여기에 좀 더 실제적인 조건을 요구하면 추가로 용접모재 기준, 비이드 크기와 용접속도 기준, 용접 정밀도 기준, 경제성 기준, 용접설비운용 기준 등을 고려하여 추가로 부여할 수 있다.

용접하려는 제품의 상호 중속 정도를 또 달리 요구하면 추가 가중치 행렬을 적용하여 각각 Table 12 ~ Table 15와 같이 추가로 주어질 수 있다. 따라서 추가로 원하는 조건을 추가하면 보다 실제적이고 정확한 결론을 얻을 수 있게 된다. 따라서 Table 11 ~ Table 15의 5 가지의 추가 조건을 고려할 경우 용접법에 서로 영향을 주어 그 우

Table 13 Process weight matrix(A43) for GPC

Process	OFW	SMAW	SAW	MIG	ESW	STW	PAW	LBW
OFW	1	1	1	1	1/5	1	1/5	1/9
SMAW	1	1	1	1	1/5	1	1/5	1/9
SAW	1	1	1	1	1/5	1	1/5	1/9
MIG	1	1	1	1	1/5	1	1/5	1/9
ESW	5	5	5	5	1	5	1	5/9
STW	1	1	1	1	1/5	1	1/5	1/9
PAW	5	5	5	5	1	5	1	5/9
LBW	9	9	9	9	9/5	9	9/5	1
OFW	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417
SMAW	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417
SAW	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417
MIG	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417
ESW	0.2083	0.2083	0.2083	0.2083	0.2083	0.2083	0.2083	0.2083
STW	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417
PAW	0.2083	0.2083	0.2083	0.2083	0.2083	0.2083	0.2083	0.2083
LBW	0.3750	0.3750	0.3750	0.3750	0.3750	0.3750	0.3750	0.3750

Table 14 Process weight matrix(A44) for PE

Process	OFW	SMAW	SAW	MIG	ESW	STW	PAW	LBW
OFW	1	1	1	2	2	2	2	3
SMAW	1	1	1	2	2	2	2	3
SAW	1	1	1	2	2	2	2	3
MIG	1/2	1/2	1/2	1	1	1	1	3/2
ESW	1/2	1/2	1/2	1	1	1	1	3/2
STW	1/2	1/2	1/2	1	1	1	1	3/2
PAW	1/2	1/2	1/2	1	1	1	1	3/2
LBW	1/3	1/3	1/3	2/3	2/3	2/3	2/3	1
OFW	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875
SMAW	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875
SAW	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875
MIG	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938
ESW	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938
STW	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938
PAW	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938	0.0938
LBW	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625

선정도를 나타내는 각 프로세스의 행렬은 다음과 같이 구할 수 있다.

따라서 1 ~ 4 단계의 모든 조건을 고려한다면 1 및 3단계의 추가 조건을 만족하는 w_c 행렬과 2 및 4단계의 추가 조건을 만족시키는 w_p 행렬의 곱으로 나타낼 수 있다. 여기에서 얻게 되는 전체

Table 15 Process weight matrix(A45) for EOE

Process	OFW	SMAW	SAW	MIG	ESW	STW	PAW	LBW
OFW	1	1	2	1	1	1	1	2
SMAW	1	1	2	1	1	1	1	2
SAW	1/2	1/2	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1
MIG	1	1	2	1	1	1	1	2
ESW	1	1	2	1	1	1	1	2
STW	1	1	2	1	1	1	1	2
PAW	1	1	2	1	1	1	1	2
LBW	1/2	1/2	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1
OFW	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429
SMAW	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429
SAW	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714
MIG	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429
ESW	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429
STW	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429
PAW	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429
LBW	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714

가중행렬이 각 용접법의 우선정도를 나타내게 된다. 즉 전체효과를 나타내는 의사결정 최종 전체 행렬을 구하면 $A_{ANP} = w_p \times w_c$ 로 나타내고 다음의 매트릭스를 얻을 수 있다.

$$w_{p1} = A_{41} \times w_{21} = \begin{bmatrix} 0.0909 \\ 0.0909 \\ 0.0909 \\ 0.0909 \\ 0.0909 \\ 0.0909 \\ 0.0909 \\ 0.1818 \\ 0.2727 \end{bmatrix}, \quad w_{p2} = A_{42} \times w_{22} = \begin{bmatrix} 0.0357 \\ 0.0357 \\ 0.0357 \\ 0.0357 \\ 0.1786 \\ 0.1071 \\ 0.2500 \\ 0.3214 \end{bmatrix}$$

$$w_{p3} = A_{43} \times w_{23} = \begin{bmatrix} 0.0417 \\ 0.0417 \\ 0.0417 \\ 0.0417 \\ 0.2083 \\ 0.0417 \\ 0.2083 \\ 0.3750 \end{bmatrix}, \quad w_{p4} = A_{44} \times w_{24} = \begin{bmatrix} 0.1875 \\ 0.1875 \\ 0.1875 \\ 0.0938 \\ 0.0938 \\ 0.0938 \\ 0.0938 \\ 0.0625 \end{bmatrix}$$

$$w_{p5} = A_{45} \times w_{25} = \begin{bmatrix} 0.1429 \\ 0.1429 \\ 0.0714 \\ 0.1429 \\ 0.1429 \\ 0.1429 \\ 0.1429 \\ 0.0714 \end{bmatrix}$$

$$A_{ANP} = W_p \times W_c =$$

0.0909	0.0357	0.0417	0.1875	0.1429] [0.2125] = [0.1093]	0.1981	0.1093
0.0909	0.0357	0.0417	0.1875	0.1429		0.1092	0.0906
0.0909	0.0357	0.0417	0.0938	0.1429		0.2185	0.0888
0.0909	0.1786	0.2083	0.0938	0.1429		0.2617	0.1353
0.0909	0.1071	0.0417	0.0938	0.1429			0.1030
0.1818	0.2500	0.2083	0.0938	0.1429			0.1688
0.2727	0.3214	0.3750	0.0625	0.0714			0.1949

이 우선 순위의 행렬을 막대그래프로 나타내면 Fig. 2와 같으며 전체의 우선순위 값을 고려할 때 면도날의 용접에는 레이저가공이 가장 적절하면 플라즈마가공법이 다음 순으로 적절하다는 것을 나타내고 있다. 각 막대그래프의 각 기둥은 각 5가지 기준을 고려하여 면도날의 용접부를 용접할 시 각 용접법의 기준에 따른 영향인자의 정도를 함께 나타내고 있다. Fig. 2에서 면도날의 용접 시에는 재료와 비드의 크기가 가장 중요한 기준이고 그 이유는 면도날의 용접부가 매우 작아 정밀하고 좁게 용접할 수 있어야 하며 비드 크기의 조건이 중요하게 주어져 나타난 결과라고 할 수 있다. 플라즈마 가공인 경우와 전기저항 점용접이 그 다음 순으로 되며 전문가의 정확한 기준을 부여 할 수 있으면 그 결과의 신뢰도는 더욱 높아진다고 할 수 있다.

이상과 같이 같은 예를 다른 제품의 용접에도 적용할 수 있다. Fig. 3은 두께가 1cm 정도의 비드 폭이 상당히 크게 형성되어야 하는 경우로 강의 두 파이프를 접합하고자 때의 우선순위의 행렬을 같은 방법으로 수행하여 막대그래프로 나타낸

에 이다. 전체의 우선순위 값을 고려할 때 파이프의 용접에는 비드의 크기와 용접속도가 중요한 기준으로 부여되어 서브머지용접이 가장 높게 나타났다. 각 막대그래프의 각 기둥은 각 5가지 기준을 고려하여 파이프 용접부를 용접할 시 각 용접 기준에 따른 영향인자의 미치는 정도를 나타내고 있다. 파이프 용접 시에는 재료와 비드의 크기가 가장 중요한 기준이다. 그 이유는 파이프의 두께가 두꺼워 비드가 커지게 되어 이런 비드부를 한번에 용접하기에는 곤란하고 여러 번에 걸쳐 나눠 용접하여야 한다. 이 경우 용접속도가 문제가 되고 따라서 용접속도의 기준을 높인 결과로 나타난 것이라고 할 수 있다. 파이프 용접의 경우 플라즈마 가공인 경우와 저항점용접이 그 다음 순으로 나타났으며 전문가의 정확한 기준을 부여 할 수 있으면 그 결과의 신뢰도는 더욱 높아진다고 할 수 있다.

개발된 의사결정 시스템을 두 가지 용접가공에 적용한 결과 개발 시스템은 적절하게 용접법을 결정 하였다. 따라서 분석 네트워크 프로세스를 기반으로 개발된 의사 결정 시스템은 적절한 용접법의 의사결정을 할 수 있었다. 우선순위가 높은 용접법이 수월하게 계산되었고 가장 적절한 용접법을 선택할 수 있었다. 개발된 의사결정 시스템은 신뢰성 있는 데이터자료가 구축되어 있어 이 자료를 이용하면 의사결정 신뢰도가 높아져 더욱 정확한 용접법이 선택될 수 있고 최적의 용접법을 제시할 수 있다.

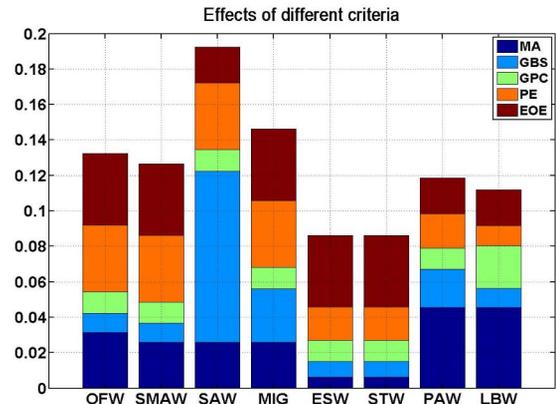
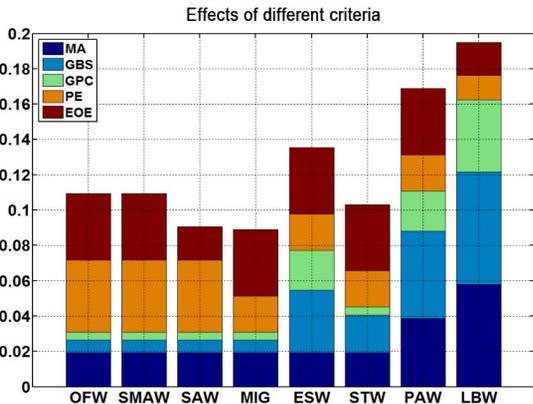


Fig. 2 Total effect of decision making for razor welding

Fig. 3 Total effect of decision making for pipe welding

4. 결 론

1. 용접법 선택에 대한 의사결정을 위하여 구성된 분석네트워크 프로세스 전문가 시스템은 실제 제시된 데이터를 기준으로 하여 분석한 결과 여러 용접법 중 가장 적절한 용접법을 선택할 수 있었다.
2. 용접법의 의사결정을 위하여 실제 제시된 데이터를 기준으로 하여 분석한 결과, 면도날의 용접에는 레이저용접 > 플라즈마용접 순으로 가장 적절한 것으로 나타났으며, 또한 두 개의 두꺼운 파이프관을 용접시에는 여러 용접법 중 서버머지용접 > 플라즈마용접 > MIG용접의 순으로 우선 순위가 판명되었다.
3. 개발된 용접 전문가 시스템을 이용하면 초보자도 수월하게 대체 용접법을 추측할 수 있었고 의사결정자에게 잘못된 의사결정 실수를 줄여 업무의 효율성을 높여 줄 수 있었다. 따라서 숙련 용접자가 선택한 용접법의 의사결정이 옳게 되었는지 아닌지를 초보 관리자가 의사결정 오차를 줄여 잘못된 의사 결정에 초과비용의 발생을 사전에 차단할 수 있으며 적절한 용접법을 판단하는데 유용하게 이용될 수 있다.

후 기

“이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2016년) 지원에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

1. Lim, Y. H., Nontraditional Machining, Gijun Press Co.(Seoul), 1990.
2. Kalpakjian, S., and Schmid, S., Manufacturing Engineering and Technology, 2006(Prentice Hall)
3. Cogun, C., “Computer aided preliminary selection of non-traditional machining processes,” International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 34, pp. 315-326, 1994.
4. Chakroborty, S. and Dey, S., “Design of an analytic-hierarchy-process-based expert system for non-traditional machining process selection,” International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 31, No.(5-6), pp. 490-500, 2006.
5. Chakroborty, S. and Dey, S., “QFD-based expert system for non-traditional machining processes selection,” Expert Systems with Applications, Vol. 32, No. 4, pp. 1208-1217, 2007.
6. Das Chakladar, N. Das, R. and Chakroborty, S., “A digraph-based expert system for nontraditional machining processes selection,” International Journal of Advanced Manufacturing Technology, DOI 10.1007/s00170-008-1713-0, 2008.
7. Chakroborty, S. and Banik, D., “Design of a material handling equipment selection model using analytic hierarchy process,” International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 28, pp. 1237-1245, 2006.
8. Saaty, T. L., Analytic hierarchy process, McGraw-Hill(New York), 1980.
9. H. B. Eun, “An Application of the AHP to the Selection of Airplane Type”, PhD thesis, Inha univ., 2001.
10. Lee, S. Y. and Lim, K. M., “A Comparative Analysis on National Greenhouse Gas Reduction Implementation Strategies Priority Using AHP and ANP,” Research paper of Korea Environment Inst., Vol. 14, No. 1, pp. 33-52, 2015.
11. Shim, Y. H., Byun, G. S. and Lee, B. G., “Deriving Strategic Priorities of Green ICT Policy using AHP and ANP,” Journal of internet Computing and Services, Vol. 12, No. 1, pp. 85-97, 2011.
12. Alonso, J. A. and Lamata, M. T., “Consistency in the Analytic Hiercrchy Process: A New Approach,” Int. J. of Uncertainty, Vol. 14, No. 4, pp. 445-459, 2006.
13. J. D. Kim, M. C. Yoon, “Decision-Making of Casting Process using Expert System,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 6, pp. 55-61, 2014.
14. J. Y. Lim, M. J. Yoon, S. Y. Kim and T. G. Kim, “Characteristics study of mechanical properties of Structural rolled steel ans Stainless steel for MIG welding,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 1, pp. 100-106, 2014.