

부품 연관 관계 분석 기반의 조립 순서 생성 시스템 개발

박흥석¹ · 박진우^{2†}

¹울산대학교 기계공학부, ²울산대학교 대학원 기계자동차공학과

Development of Assembly Sequence Generating System Based on Parts Liaison Analyzing

Hong-Seok Park¹ and Jin-Woo Park^{2†}

¹School of Mechanical Engineering, Univ. of Ulsan

²Department of Automotive and Mechanical Engineering, Graduate School, Univ. of Ulsan

Received 24 September 2012; received in revised form 1 November 2012; accepted 7 November 2012

ABSTRACT

Nowadays in order to perform assembly process planning by using CAPP (Computer Aided Process Planning), researches to generate the assembly sequence automatically have come under constant interest by many researchers and they are devoted to optimize the assembly sequence. In this paper, the product on analyzing the relationship between assembled parts via contacting information such as common area, automatically based on the liaison graph of the product. To verify the validness and efficiency of the approach, the simple product is tested in the experimental way.

Key Words: Assembly sequence planning, Contacted area, Product liaison graph, Related ratio

1. 서 론

오늘날 설계와 제조 사이의 정보 교환 및 통합은 여전히 많은 시간과 비용을 요구하고 있다. 공정설계는 설계와 제조를 연결하는 작업으로써 신속한 공정설계를 수행하기 위해서 다양한 CAPP (Computer Aided Process Planning) 도구와 방법론들이 사용되고 있다. 특히, 자동차 엔진 등과 같은 조립군들은 가공과 조립의 단계를 거쳐 제조되어지고 있다. 그 중 CAPP를 활용한 조립 공정 계획에 있어 조립 순서를 최적화하고 자동으로 생성하

는 연구는 항상 끊임없이 관심 받아오고 있으며 많은 연구자들이 다양한 방법으로 조립 순서 생성을 위한 연구에 몰두하고 있다^[1-4].

조립 순서 생성 자동화와 관련된 연구 역시 꾸준히 관심 받아 온 주제이며 체결구를 기반으로 한 계층적 연관 그래프를 통한 조립 순서 계획 연구^[5], 부품들의 연결 관계를 하위 조립군으로 구분하고 AND/OR 그래프를 이용하여 전체 연관 그래프를 완성하여 조립 순서를 생성하는 연구^[6], STEP CAD 파일로부터 직접적으로 조립 순서를 자동 생성하는 연구^[7] 등이 제안되어져 왔다.

또한 조립 순서 생성의 최적화를 위해 기하학 기반의 추론 접근 방식이 여러 연구들을 통해 제시되었다. 유전자 알고리즘^[8], 인공 신경 회로망^[9]

[†]Corresponding Author, benesarang@ulsan.ac.kr
©2013 Society of CAD/CAM Engineers

고리즘^[6] 등을 통해 제품의 조립 순서 생성 및 최적화가 이루어지고 있다. 대부분의 최적화 알고리즘은 조립 순서의 조합을 최적화함으로써 프로세스의 효율성을 향상시키고 있지만 복잡한 제품에 대한 초기 조건, 매개 변수의 상대적인 영향에 따라 생성되는 조립 순서가 좌우되며 이에 따라 부분의 최적해에서 수렴되는 경향이 종종 일어나게 된다.

본 논문에서는 기존의 최적화 기법의 단점을 극복하면서도 조립 순서 생성의 자동화를 도출할 수 있도록 하는 방법을 소개한다. 즉, 조립 모델의 부품들 간의 연관 관계를 이들의 연관 비율을 바탕으로 분석하고 이에 따라 제품의 구성을 그래프로 표현하여 조립 순서를 생성하는 방법을 제안한다. 연관 그래프 생성을 위한 부품들 간의 접촉 면적 계산, 연관 비율 도출 및 이를 통한 그래프 생성 등과 같은 모든 절차는 시스템에 의해 자동으로 수행되게 된다. 그래프의 작성 절차를 요약하면 노드 추가, 노드 삭제, 노드 병합의 순서이며 구성되어지는 노드의 수가 조립 제품을 구성하는 부품들의 수와 같아질 때까지 반복 수행하게 된다. 이후 작성된 그래프를 통해 조립 순서를 도출한다.

2. 조립 상호 연관성 추론

2.1 조립 연관 관계 파악을 위한 아이디어

하나의 부품에 존재하는 조립 특징 형상과 결합되는 타 부품의 조립 특징 형상은 항상 맞물려 있다는 것으로부터 시작한다. 그러나 이러한 조립 특징 형상의 수는 종종 복잡하고 다양한 차원을 포함하기 때문에 그 수가 불확실하여 정확한 조립 순서 도출에 어려움을 준다. 따라서 조립 특징 형상에 대한 활용 정보를 단순화 할 필요가 있다. 조립된 부품들은 항상 맞물려 있다는 것과 이에 해당되는 기하학적 정보들로부터 두 부품이 접촉되어 있다는 것은 공통의 면적이 발생한다는 것을 알 수 있다. 이를 통해 본 논문에서는 조립 순서 도출을 위해 ‘두 부품이 조립되어 있다는 것은 두 부품 간에 공통 면적 및 공통 부피가 존재함’을 정의한다.

2.2 상호 연관 관계 분석

본 논문에서는 상호 연관성 결정을 위해 부품

간의 연관율(RR: Related Ratio)을 정의하며 연관율을 공통 면적 비율(CAR: Common Area Ratio) 및 공통 부피 비율(CVR: Common Volume Ratio)로 구분된다. 즉, 부품 간의 연관율은 각 부품의 총 면적(총 부피)과 공통 면적(공통 부피)의 상대적 비율의 합으로 산정할 수 있다. 이는 식 (1)과 식 (2)에 나타내어져 있다.

연관율 산정에 있어 공통 면적 및 공통 부피 비율을 사용하는 목적으로는 공통 면적 및 비율은 부품의 결합도를 파악할 수 있고 한 부품과 상태 부품들 간의 우선순위를 추론할 수 있기 때문이다. 또한 공통 부피 및 공통 부피 비율을 사용하는 목적으로는 접촉 조립 및 끼움 조립의 우선순위를 고려할 수 있기 때문이다.

$$RR_{CAR}(\%) = \frac{A와 B의 공통면적}{A의 전체면적} + \frac{A와 B의 공통면적}{B의 전체면적} \times \frac{100}{2} \quad (1)$$

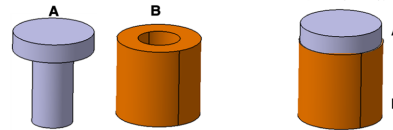
$$RR_{CVR}(\%) = \frac{A와 B의 공통체적}{A의 전체체적} + \frac{A와 B의 공통체적}{B의 전체체적} \times \frac{100}{2} \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)에 의해 연관율이 크다는 것은 부품 간 결합도가 크다는 것을 파악할 수 있다. 이러한 연관율을 구성되어진 모든 부품들에 대해 분석을 수행하고 이와 동시에 각 부품의 부피, 공통 부피 및 해당 부품이 보유하고 있는 연결된 부품들의 개수를 파악하게 된다. 부품 간의 연관율은 이후 연관 그래프 작성에 사용되는 조립 순서 가중치 계산에 활용되어진다. 이후 부피가 가장 크고 연결된 부품이 가장 많은 부품이 베이스 파트로써 지정된다. Fig. 1은 연관율에 따른 부품의 결합 상태에 대한 비교를 나타낸다.

2.3 조립 순서 가중치 계산

조립 순서 도출을 위한 사전 준비로써 시스템은 제품 연관 그래프를 작성하며 이때 요구되는 정보

(a) 두 부품이 떨어져 있는 경우 (b) 두 부품이 결합되어 있는 경우



* $A \cap B$ 연관율 = 0% (면적비율) * $A \cap B$ 연관율 = 30% (면적비율)

Fig. 1 Combined state of the parts based on related ratio

로는 조립 순서 결정을 위한 가중치이다. 가중치 계산은 식 (3)을 통해 도출될 수 있다. 식 (3)은 실험 및 경험을 기반으로 작성되었으며 CA(Common Area : 공통 면적), RR_{CAR}(Related Ratio of Common Area : 공통 면적 연관율), CV(Common Volume : 공통 부피), RR_{CVR}(Related Ratio of Common Volume : 공통 부피 연관율), CCP(Count of Connected Parts : 부품과 연결된 상대 부품의 연결 부품 수)로 구성되어 있다.

$$wf = \frac{e^{\frac{\log_{CA}RR_{CAR} + \log_{CV}RR_{CVR}}{CCP}}}{e^{\frac{\log_{CA}RR_{CAR}}{CCP}} + e^{\frac{\log_{CV}RR_{CVR}}{CCP}}} \quad (3)$$

본 연구에서는 조립 순서 도출을 위한 연관 그래프 작성에 사용되는 가중치 계산을 위해 다음과 같은 영향들을 파악 및 반영되었다.

- 면적 비율과 부피 비율에 의해 알고리즘 상 끼움 조립의 우선순위가 높음. 이는 논리적인 조립 순서 생성에 유리한 방향으로 작용함. 경우에 따라 상호 간 순서가 바뀔 위험이 있으므로 이의 보완을 위해 체결구의 개념을 도입함
- 한 부품과 다른 상대 부품들 간의 연결 우선순위 고려를 위해 log를 도입
- 공통 부피가 0에 가까울 경우 log_{CA}CAR의 영향이 커지는 것을 알 수 있음. 즉, 연결된 부품들은 공통 면적이 항상 존재하지만 공통 부피가 항상 발생하지는 않으며 공통 부피가 발생하는 순간 끼움 조립의 가능성이 높아진다는 것을 의미함
- 일반적으로 다수의 부품들과 연결된 부품이 중요도가 높음
- 공통 면적 비율에 비해 공통 부피 비율의 작용력이 순서 생성에 큰 영향을 미치므로 이에 따라 순서가 왜곡될 수 있으므로 공통 부피 비율의 영향력을 상쇄하기 위해 지수 (e) 도입

도출된 조립 순서 가중치는 향후 조립 제품 연관 그래프 작성 시 노드의 추가, 삭제 및 병합의 단계를 수행할 시에 활용되게 되며 작성된 그래프에서 조립 순서를 도출할 경우에 역시 활용된다.

3. 조립 제품 연관 그래프 작성 방법

3.1 가중치 기반의 부품 연관성그래프 생성

조립 순서를 생성하기 위해 앞서 분석된 정보들(부품 연관 개수, 연관율)을 바탕으로 제품을 구성하고 있는 연결 관계를 그래프로 나타낼 필요가 있다. 그래프를 작성하는 방법은 1. 노드추가, 2. 노드 삭제, 3. 병합, 링크 삭제의 순서로 이루어진다. Table 1에는 그래프 작성 설명을 위한 임의의 7개 노드들에 대한 정보와 상대 연결 부품 번호 정보들이 작성되어져 있다. 연결된 상대 부품 번호들은 가중치가 높은 순서대로 나열되어져 있다고 가정한다.

베이스 파트로 지정된 부품을 중심으로 연관율이 높은 순으로 이와 연결된 부품들을 방사형으로 나열하여 이어주고 상위 레벨에 이미 존재하는 노드들은 삭제한다. 즉 가중치가 높은 노드들이 상위 레벨의 후반부에 존재할 때에는 상위 레벨의 후반부에 존재하는 중복 노드 및 이의 하위 레벨

Table 1 Interconnection information of the connected parts for description of liaison graph drawing

부품 번호	상대 연결 부품 번호
1	2
	3
	4
	5
	6
2	1
	3
	4
3	1
	2
	5
4	1
	2
	7
	8
5	1
	3
6	1
7	4
8	4

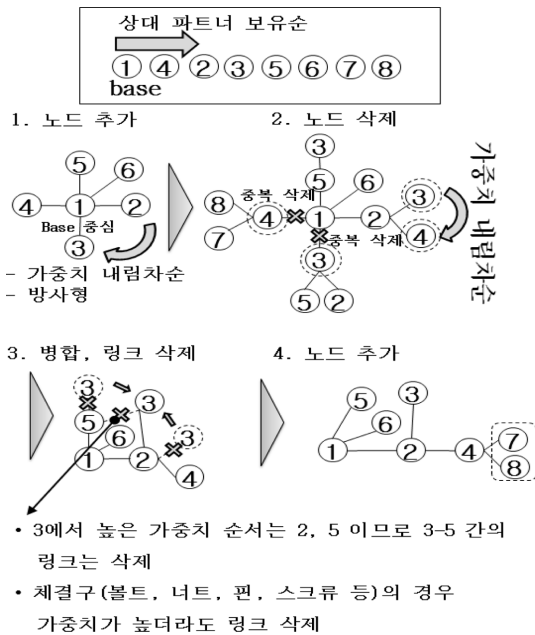


Fig. 2 Methods of the liaison graph drawing

을 모두 삭제한다. Fig. 2에서 이를 확인할 경우 최초 베이스 파트 노드 1이 최상위 레벨 (Level 1)에 추가된 후 가중치에 따라 2, 3, 4, 5, 6이 Level 2에 방사형으로 이어서 추가되어진다. 이후 Level 1과 중복되는 노드를 Level 2에서 검사하게 되는데 이때에는 Level 1과 중복되는 Level 2의 노드가 없으므로 삭제 및 병합은 진행되지 않는다. 추가, 삭제, 병합의 과정이 진행된 이후 Level 3에 대한 노드들을 Level 2을 대상으로 추가하게 된다. 즉, Level 2의 노드 2에 노드 3, 4가 추가되고, Level 2의 노드 3에 노드 2, 5가 추가된다. 또한 Level 2의 노드 4에 노드 7, 8이 추가, Level 2의 노드 5에 노드 3이 추가되며 마지막 Level 2의 노드 6에는 연결 부품이 1만 존재하므로 다른 노드는 추가되지 않는다. 추가된 노드들은 Level 3에 해당되며 Level 2에 존재하는 공통 노드들에 대한 중복 검사를 수행하며 중복되는 노드들의 삭제 작업이 진행된다. 즉 Level 3의 노드 3은 Level 2에 포함되어 있으므로 Level 2의 노드 3과 이에 해당하는 Level 3의 노드 2, 5를 모두 삭제한다. Level 3의 노드 4에 대한 작업도 같은 방법으로 진행되어진다. 중복 노드들이 모두 삭제된 이후 병합의 단계가 수행되어진다. Fig. 2의 병합 단계에서 보여지는 바와 같이 Level 3의 노드 3은 Level 2의 노드

2와 노드 5에서 공통으로 보유하고 있다.

이 상황에서 노드 3에서 높은 가중치 순서는 2, 5이므로 Level 2의 노드 5에 해당되는 Level 3의 노드 3은 삭제되게 된다. 이때 체결구(볼트, 너트, 핀, 스크류)의 경우는 가중치가 높더라도 링크를 삭제한다. 병합의 단계를 종료함과 동시에 다시 노드를 추가하게 되며 Fig. 2에서는 Level 3의 노드 4에 대하여 Level 4의 노드 7, 8을 추가하게 되며 노드 삭제 및 병합을 반복한다. 만약 노드들의 수가 구성되어진 모든 부품들의 수와 같아질 경우 그래프 그리기는 종료된다.

3.2 조립 순서 생성 규약

구성되어진 제품 구성 그래프를 통해 조립군의 구분도 가능하게 된다. 그래프 작성 시 사용되는 가중치는 기존 분석된 연관율을 사용한다. 작성된 그래프는 조립 순서 생성에 활용되어지며 조립 순서 생성 방법은 다음의 순서로 요약된다.

- I. 선정된 Base Part가 조립 순서의 시작 부품
- II. 상관성에 의한 가중치에 의해 조립 순서가 진행됨
- III. 분기점에서는 가중치가 높은 방향으로 진행됨(예외 : 체결구(볼트, 너트, 핀, 스크류 등)는 후 순위)
- IV. 순서 진행 중 체결구가 선정될 시는 다른 방향으로 진행
- V. 순서 진행 중 해당 부품이 다수의 상대 파트너를 가질 경우 해당 부품을 조립하고 아울러 지나친 체결구 노드를 추가
- VI. 모든 부품이 사용된 후 조립 순서 종료

4. 부품 연관 관계 분석 기반의 조립 순서 생성 시스템의 설계 및 구현

4.1 시스템 아키텍처

개발 시스템의 구조가 Fig. 3에 나타내어져 있다. 시스템 구조는 기하학 정보 추출, 상호 연관관계 분석, 부품 연관성 그래프 생성, 조립 순서 생성 등의 네 가지 인터페이스로 구분되며 이들은 각각 세부적인 모듈로 구성되어 있다.

기하학 정보 추출 모듈은 사용자가 조립 부품을 로딩할 수 있도록 하며 STEP file로 구성된 조립 제품이 그 대상이다. 파일이 로딩되면 기하학정보 추출 모듈은 조립을 구성하고 있는 모든 부품들에

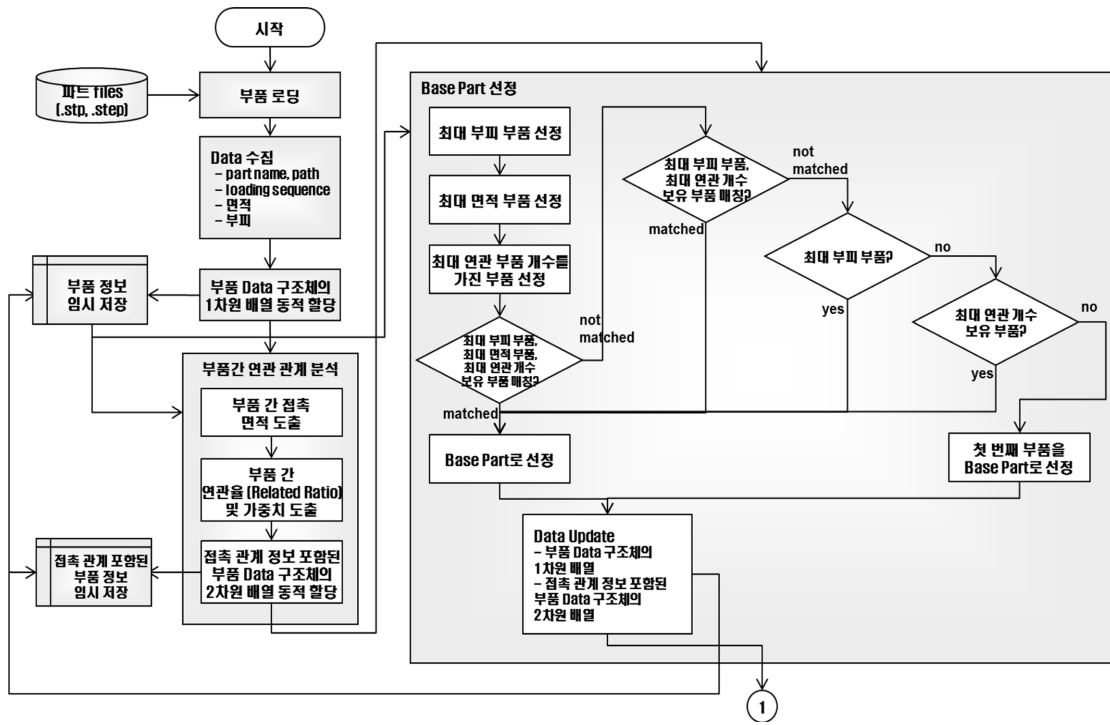


Fig. 4 Algorithm for the relationship analyzing between parts and for the base part selecting

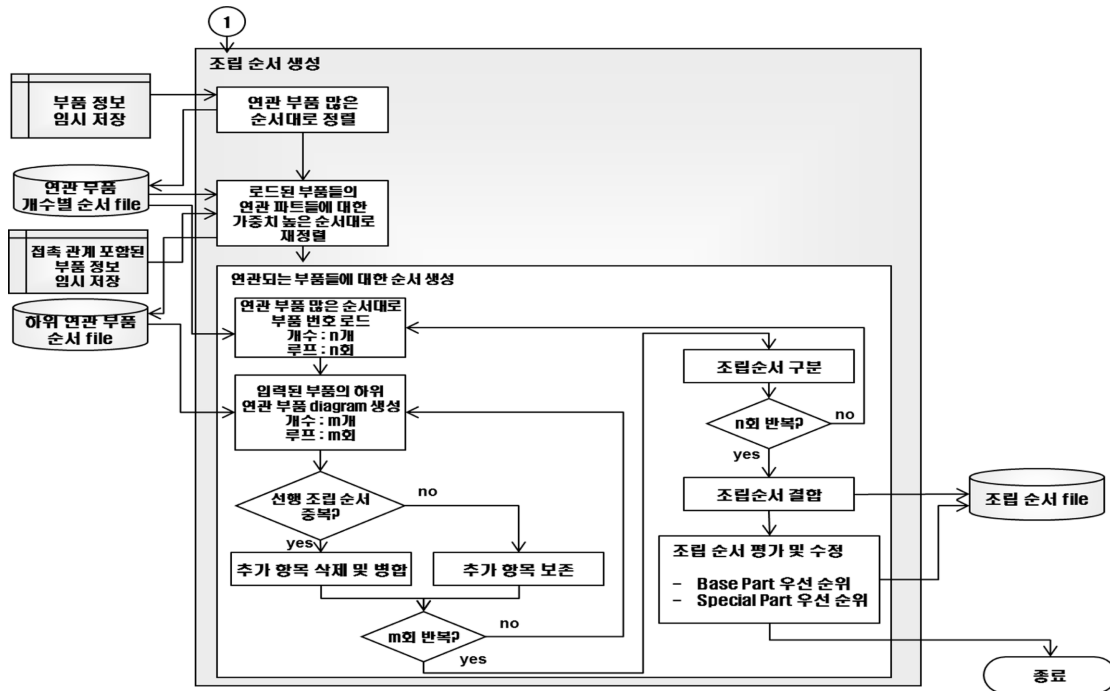


Fig. 5 Algorithm for the liaison graph drawing and for the assembly sequence generating

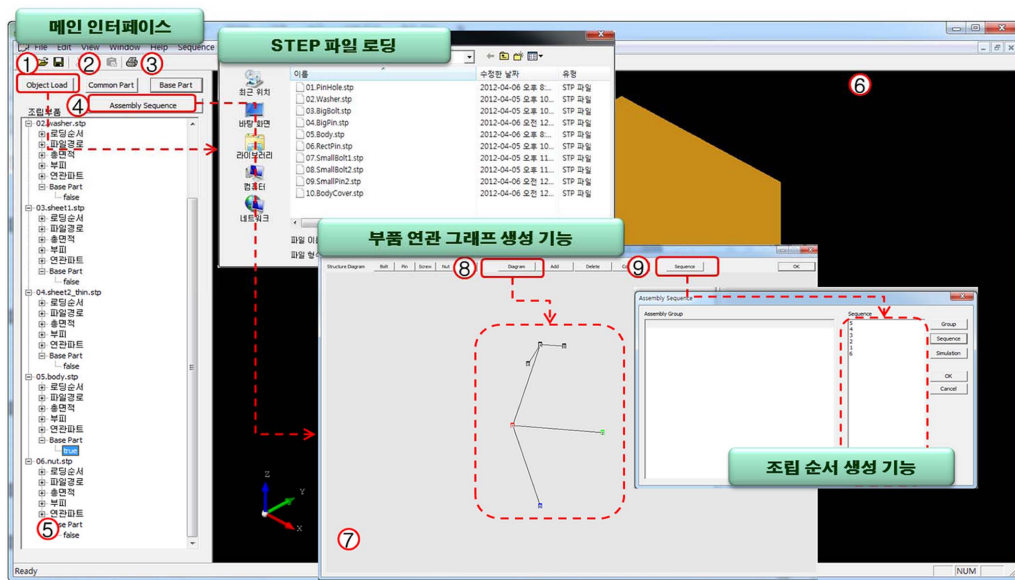


Fig. 6 Implementation of the assembly sequence generation system

4.3 사용자 인터페이스 및 구현

시스템의 인터페이스는 Fig. 6에 나타나어져 있다. 크게 ① 부품 로딩, ② 연관 부품 분석, ③ 베이스 파트 선정, ④ 조립 순서 생성, ⑤ 조립품 정보 트리, ⑥ 디스플레이 부, ⑦ 그래프 디스플레이 부, ⑧ 그래프 그리기, ⑨ 순서 추출 등으로 구성되어 있다.

사용자는 조립 부품들의 로딩을 위해 부품 로딩 버튼을 클릭하여 파일 로드 다이얼로그 박스를 생성시킨 뒤 STEP files를 불러온다. 로딩이 완료되면 디스플레이 뷰에는 불러온 부품들이 그려진다. 이후 연관 부품 분석 버튼을 클릭하면 디스플레이 뷰에 표시된 부품들의 색깔이 변경되어 부품별 분석 진행을 확인할 수 있다. 연관부품 분석이 완료되면 완료 메시지가 발생한다. 연관부품 분석이 끝난 뒤 베이스 파트 버튼을 클릭하여 베이스 파트 정보를 업데이트 시킨다. 조립 순서 버튼을 클릭할 경우 부품 연관성 그래프 생성 다이얼로그 박스가 생성된다. 부품 연관성 그래프 생성 다이얼로그는 상단 체결구 입력 버튼, 그래프 작성 버튼, 하단의 그래프 표시부로 구성되어 있다. 그래프 생성이 완료될 경우 완료 메시지가 발생하고 사용자는 조립 순서 버튼을 클릭하여 조립 순서를 생성하게 된다. 사용된 구현 도구는 VC++ 8.0 (VS2005), OpenCASCADE6.5.2 이다.

5. 개발 시스템에 의한 조립 순서 생성 검증

시스템 구동 테스트를 위해 사용된 조립품은 Fig. 7(a)와 같이 ① 볼트, ② 와셔, ③ 두꺼운 판 1, ④ 얇은 판, ⑤ 두꺼운 판2, ⑥ 너트로 구성되어진다.

베이스 파트로는 ⑤ 두꺼운 판 2(면적 14054.5 mm², 부피 84973.5 mm³)가 선정되었다. Fig. 7(b)와 같이 제품 구성 그래프가 작성되었으며 조립 순서 생성 규약에 따라 조립 순서가 도출된다. 연관성 그래프 생성을 위한 부품 간 연결 정보 및 가중치는 Table 2에 나타나어져 있다. 조립 순서 생성 규약 I에 따라 최초 베이스 파트인 ⑤ 두꺼운 판2가 조립 순서의 시작이 되며 이어서 규약 II에

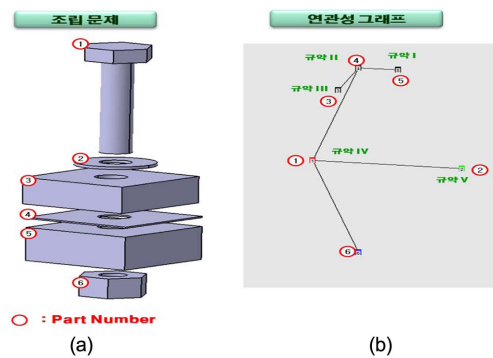


Fig. 7 Liaison graph of the assembled product for evaluating the developed system

Table 2 Connection information and the weights of the assembled 6 parts

부품 번호	연결부품 번호	가중치
5	6	1.157912286
	4	0.843103591
	1	0.727038092
4	5	0.843103591
	3	0.840463612
	1	0.610701379
3	2	1.054392711
	4	0.840463612
	1	0.743825521
2	3	0.829554356
	1	0.693442128
1	2	1.906162892
	6	1.790621593
	3	1.48652417
	5	1.385181471
	4	1.048446756
6	5	0.892178127
	1	0.834170187

따라 ④ 얇은 판이 순서에 추가된다. 이후 규약 III (분기점관련 규약)에 따라 ③ 두꺼운 판 1이 순서에 추가되며 규약 IV에 따라 ① 볼트를 순서에 추가하지 않고 분기점 이후의 노드를 검사하게 된다. 이어 규약 V에 따라 ② 와셔를 추가한 이후 기존 지나친 ① 볼트를 순서에 추가한다. 마지막으로 ⑥ 너트가 추가되면 모든 부품이 구성되어므로 조립 순서를 종료하게 된다. 따라서 생성된 그래프 및 조립 순서 생성 규약에 따라 도출된 최종 조립 순서는 ⑤→④→③→②(와셔)→①(볼트)→⑥(너트)이다. 이에 따라 개발된 시스템에서 제안된 조립 순서의 정확성을 확인할 수 있다.

제안된 조립 순서 생성 방법과 기존의 방법들의 비교는 Table 3에 나타내어져 있다. 기존의 방법들 즉, 상태 그래프, 다이아몬드 그래프, AND/OR 그래프를 기반으로 유전자 알고리즘 또는 신경망 알고리즘 등의 최적화 방법을 통한 조립 순서 생성은 CAD 파일의 기하 정보를 활용하여 가능한 모든 순서를 고려하기 때문에 많은 컴퓨터 저장 용량이 필요하다. 또한 이러한 많은 정보를 연산하는 데에 많은 시간이 소요되지만 본 논문에서 제안한 방법을 통한 조립 순서 생성 시에는 요구되

Table 3 Comparison of the developed method and the existing methods

	그래프 생성 방법	최적화 방법	저장 용량	순서 생성 시간	사용자 편의성
기존 방법	상태 그래프	유전자 알고리즘 / 신경망 알고리즘	높음	높음	보통
	다이아몬드 그래프				
	AND/OR 그래프				
개발 방법	가중치기반 연관성 그래프	조립순서 생성규약	낮음	낮음	높음

는 저장 용량이 낮으며 조립 순서 생성 규약에 따른 조립 순서 생성 시간이 상대적으로 짧다. 또한 기존 방법들을 활용하기 위해서는 사용자에게 요구되는 조립품들의 기하 정보를 수동으로 입력하여야 하고 이를 통해 기하학적 추론이 이루어지며 도출되는 가능한 조립 순서가 많아지게 된다. 때문에 가장 적합한 조립 순서는 사용자가 최종적으로 선택하여야 하므로 사용자 편의성이 그리 높지 않음을 알 수 있다. 개발된 방법은 시스템이 필요한 정보(접촉 면적, 부피 등)들은 자동으로 추출되어지며 그래프 생성 후 최종적으로 제안되는 조립 순서는 하나가 되게 된다. 도출되는 순서는 사용자에게 의해 검토되어지며 필요에 따라 수정이 이루어지므로 사용자 편의성이 향상될 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 기존의 여러 최적화 알고리즘과는 다른 방법으로 조립 순서를 생성하는 방법을 제안하였으며 그 내용으로는 다음과 같다.

1. 제품의 상호 연관 관계 분석은 부품 간의 연관 비율을 통해 정의되었으며 이는 부품 연관성 그래프 작성 시 요구되는 가중치 계산에 활용된다. 부품 연관성 그래프는 조립 순서 생성을 위해 추가, 삭제, 병합의 순서로 진행되어진다.

2. 3차원으로 구성된 제품을 2차원 그래프로 표현하였으며 이를 바탕으로 조립 순서를 생성하는 방법을 제안하였다. 또한 조립 순서 생성을 위해 요구되는 입력 정보들을 최소화시키고 조립 공정 계획에 요구되는 기반 순서를 제공함으로써 조립 공정 계획자의 업무 부담 저감이 가능할 것으로 사료된다.

3. 개발된 방법을 통한 조립 순서 생성의 결과는 기존의 상태 그래프, 다이아몬드 그래프, AND/OR 그래프를 기반의 유전자 알고리즘 또는 신경망 알고리즘 등의 최적화 방법을 통한 조립 순서 생성 방법들과 저장 용량, 순서 생성 시간, 사용자 편의성의 항목에 대해 개선되었음을 알 수 있다.

본 연구를 바탕으로 더욱 복잡한 제품에 대한 확장, 조립군 편성 및 이에 따른 순서 변경, 평가 등의 연구 수행이 향후 이루어져야 할 것이다. 특히 부품 연관성 그래프로부터 조립군을 편성하고 이에 따라 조립 순서의 복잡성을 증대시킨다면 산업의 실제 조립 제품에 대한 조립 공정 계획의 기초 자료로 충분히 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 ‘중소기업 생산성 극대화 및 제조공정라인 운영 합리화를 위한 맞춤형 보급형 제조 실행(C-MES) 플랫폼 기술개발’ 사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Dini, G., et al., 1999, Generation of Optimized Assembly Sequences Using Genetic Algorithms, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 48(1), pp. 17-20.
2. Guo, Y. W., et al., 2009, Application of Particle

Swarm Optimisation in Integrated Process Planning and Scheduling, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25(2), pp. 280-288.

3. Su, Q., Lai, S. J. and Liu, J., 2009, Geometric Computation Based Assembly Sequencing and Evaluating in Terms of Assembly Angle, Direction, Reorientation, and Stability, *Computer-Aided Design*, 41(7), pp. 479-489.
4. Kim, J. E., Jeong, S. H. and Jee, H. S., 2008, Part Assembly Sequences for Human Assembler Postures, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 13(5), pp. 391-402.
5. Yin, Z. P., Ding, H., Li, H. X. and Xiong, Y. L., 2003, A Connector-based Hierarchical Approach to Assembly Sequence Planning for Mechanical Assemblies, *Computer-Aided Design*, 35(1), pp. 37-56.
6. Su, Q., 2009, A Hierarchical Approach on Assembly Sequence Planning and Optimal Sequences Analysing, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25(1), pp. 224-234.
7. Weiler, K., 1986, *Topological Structures for Geometric Modeling*, Ph.D. Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute.
8. Marian, R. M., Luong, L. H. S. and Abhary, K., 2006, A Genetic Algorithm for the Optimization of Assembly Sequences, *Computers & Industrial Engineering*, 50(4), pp. 503-527.
9. Chen, W. C., et al., 2008, A Three-stage Integrated Approach for Assembly Sequence Planning Using Neural Networks, *Expert Systems with Applications*, 34(3), pp. 1777-1786.



박 흥 석

1979년 한양대학교 기계공학과 학사
 1987년 독) RWTH Aachen, Dipl.-Ing.
 1992년 독) University of Hannover, Dr. -Ing.
 1979년 삼성중공업
 1980년~1987년 한국과학기술연구소(KIST) 연구원
 1987년~1989년 독) 생산공학연구소(IFW) 연구원
 1993년~현재 울산대학교 기계자동차공학부 교수
 관심분야: ICT(Information & Communication Technology), Ontology, Intelligent Manufacturing system, System Design & Control, Digital Engineering, CAPP, Augmented Reality



박 진 우

2007년 울산대학교 기계공학과 학사
 2009년 울산대학교 기계자동차공학과 석사
 2010년~현재 울산대학교 기계자동차공학과 박사과정
 관심분야: Digital Manufacturing, CAPP, Augmented Reality