

제품개발 초기단계의 제품설계와 공정설계의 통합을 위한 특징형상과 의도기능 및 가공 공정간의 상관 관계에 관한 연구

임진승*(성균관대학교 대학원, 기계공학과), 김용세(성균관대학교 기계공학부)

A Study on the relations among the Feature, Function, and Manufacturing Process
to integrate the Part Design and Process Planning in the Early Design Stage.

J. S. Lim (Dept. of Mech. Eng. SKKU), Y. S. Kim (School of Mech. Eng. SKKU)

ABSTRACT

The tight integration of the part design and process planning is very effective to high quality product development and cost effective manufacturing. Moreover, the integration in the early design stage, that is, the integration of the conceptual design and the conceptual process planning may take a big impact with the forecasting the alternative of the design and manufacturing. In this paper, the real field parts are studied about the relations among the Feature, Function, and Manufacturing Process taking the style of reverse engineering method, to found the base of the systematic computer system for the integrated product design and manufacturing process planning.

Key Words : Conceptual Design Stage (개념 설계 단계), Feature (특징형상), Function (의도기능), Manufacturing Process (생산 공정), Hydraulic Power Chuck (유압식 파워 척), Chuckbody (척바디)

1. 서 론

제품설계와 생산공정설계의 매끄러운 통합은 우수한 품질의 제품설계와 비용 효율적인 생산에 절대적으로 중요하다. 제품 개발 초기단계에서의 통합, 즉 개념적 단계에서의 제품설계와 공정설계의 통합은, 보다 폭 넓은 설계와 생산 상의 대안을 추구하고 평가 할 수 있기 때문에 더욱 큰 효과를 줄 수 있다.⁽¹⁾ 따라서 제품설계와 생산공정설계의 통합을 위한 컴퓨터 원용 지원 시스템의 개발이 요구된다. 제품개발 초기 단계에서의 설계는 대개 다음과 같이 분류될 수 있다. 우선 제품에 대한 기능적 요구조건(Functional Requirements)이 개념화(Conceptualization)되어, 기능적 요구조건에 대한 대략적인 형상(Form)과 공간적 제약조건(Spatial Constraints)이 도출된다. 도출된 형상과 제약 조건들이 제품으로서의 기능을 수행할 수 있도록 하기 위하여 통합(Synthesis)되는 단계를 거치게 되는데 이 단계에서는 부품의 외형, 크기, 및 설계 변수 등과 같은 보다 세부적인 정보들을 포함하게 된다. 이렇게 설계된 부품에 대한 초기 단계의 생산성과

생산비용에 대한 평가를 수행하기 위하여, 생산공정에 대한 설계가 수행된다.⁽²⁾⁽³⁾ 대부분의 생산비용과 제조방법은 초기설계 단계에서 결정이 됨에도 불구하고, 많은 CAD 시스템과 CAPP 시스템이 상세설계와 상세 제조 방법에 대해서는 매우 많은 발전을 가져왔지만, 두 시스템간의 연계와 그리고 무엇보다도 초기 개념단계에서의 상호 통합과 관련된 기능은 매우 빈약한 것이 사실이다.⁽¹⁾

숙련된 설계자는 설계와 생산공정에 대한 많은 경험과 지식을 바탕으로 하여 제품 개발 초기단계에서 성공적인 설계를 수행할 수 있지만, 미 숙련 설계자는 설계와 생산분야에 대한 경험 및 지식의 부족으로 인하여 설계를 위한 보다 많은 주변으로부터의 정보를 필요로 하게 된다.⁽¹⁾ 이러한 초기단계 설계의 어려움을 해결하고자 부품의 형상이 의도하는 기능(Function)에 대한 세분화와 이를 표준화함으로써 초기단계에서의 설계의 용이성과 일관성을 얻고자 하는 많은 연구가 있어왔다. 그 중 Ullman⁽⁴⁾은 제품을 이루는 부품의 기능 및 부품의 특징형상(Feature)의 기능에 대한 세부적 기술 보다는 제품의 전반적인 기능 및 그에 따르는 많은 제약 조건들에

대한 연구를 수행하였다. Pahl and Beitz⁽⁵⁾는 개념단계에서의 기능을 “목적을 수행하는 어떠한 시스템에서의 입력과 출력과의 상호 관계”라고 정의하였다. 또한 시스템의 복잡도에 따라서 입력과 출력의 흐름이 명확화 될 때까지 세부 기능으로 분류될 수가 있다고 하였다. Collins⁽⁶⁾ 등은 헬리콥터 부품의 파손 분석에 있어 기본적인 기계적 기능들에 대한 분류화를 수행하였다. 또한 Clemson University 의 G. Fadel 연구그룹의 Kirschman⁽⁷⁾ 등은 제품설계에 사용되는 부품의 선정에 있어 가장 수월한 방법이 “기초적인 기능의 묘사”라고 판단하였으며, 그에 따라 4 개의 큰 기능과 그 각각에 대한 세부적인 기능들을 구성하였으며, 그에 따른 Computer 시스템을 개발하였다. 본 연구에서는 Kirschman⁽⁷⁾ 등이 수행한 Function-Based Taxonomy 에 기초하여 실제 산업현장에서 사용되고 있는 제품의 기능을 구분하고, 그러한 기능을 수행토록 하는 부품의 특징형상과 가공공정간의 상관 관계를 연구하였다.

2. 유압식 파워 척

2.1 유압식 파워 척의 구성 및 기능

Kirschman⁽⁷⁾ 등의 연구에 따르면 제품 및 부품의 기능은 Motion, Control, Power/Matter, 그리고 Enclose 의 “기초 기능”들로 분류가 될 수 있으며, Table 1 의 우측 항에 표시된 단어들의 조합으로 기계 제품의 기능을 묘사할 수 있다고 하였다. 본 연구에는 Kirschman⁽⁷⁾ 등이 제시한 Enclose 기능과 더불어 부품이 포함될 수 있는 공간을 제공하는 기능을 나타내는 Hold⁽²⁾ 개념을 도입하여 Assembly 단계에서의 부품의 의도기능 및 각 부품이 갖는 특징형상들의 의도기능에 대한 분류를 수행하였다.

Table 1. Basic Function Groups⁽⁷⁾

| Function | Description |
|--------------|---|
| Motion | -Rotary, Linear, Oscillatory, Other -Create, Convert, Modify, Transmit -Flexible, Rigid |
| Control | -Power, Motion, Information -Continuous, Discreet -Modification, Indication |
| Power/Matter | -Store, Intake, Expel, Modify, Transmit -Electrical, Mechanical, Other |
| Enclose | -Cover, View, Protect -Removable, Permanent -Support, Attach, Connect, Guide, Limit |

본 연구의 대상 제품으로는, 피삭재의 회전으로 절삭력을 발생시켜, 절삭가공을 수행하는 선반의

중요 요소인 유압식 파워 척(Hydraulic Power Chuck, 이하 유압척)을 선정하였다. 피삭재(workpiece)의 형상 및 크기에 따라, 유압척의 크기 및 구성 부품이 변경되기는 하지만, 그 의도기능을 구현하기 위한 부품들간의 유사성이 매우 밀접하기 때문에, 부품군의 정립이 비교적 용이한 기계 요소이다. 따라서 본 연구를 수행함으로써 관련 제품 및 부품에 대한 추가적인 연구 수행에 많은 효율성을 가져올 것으로 기대된다. Figure 1 에는 유압척을 이루는 구성 부품들이 Assembly 단계에서 보여지고 있다. 본 연구 대상의 유압척은 10 여 개의 주요 부품들로 이루어지고 있으며, 이들 중 척바디(Chuck body)는 나머지 구성 부품의 조립에 가장 중요한 역할을 하는 몸체로서의 역할을 수행한다. 기능의 중요도가 높은 부품은 붉은색으로 그리고 상대적으로 그 중요도가 낮은 부품은 푸른색으로 표현하였다. Adapter 는 형상이 표준화된 부품으로서, 척의 회전력을 발생시키기 위한 유압 시스템과 유압척을 연결하는 기능을 수행한다. Pilot Bush 는 Draw Screw 의 수평운동에 대한 제한 또는 안내하는 기능과 함께 이물질 유입 방지의 기능을 수행한다. 그리고 Soft Jaw 는 피삭재를 파악하여 고정시키는 역할을 수행하게 되며, Jaw Nut 를 통해 볼트로 체결되어 있는 Master Jaw 와 일체되어 운동을 하게 된다.

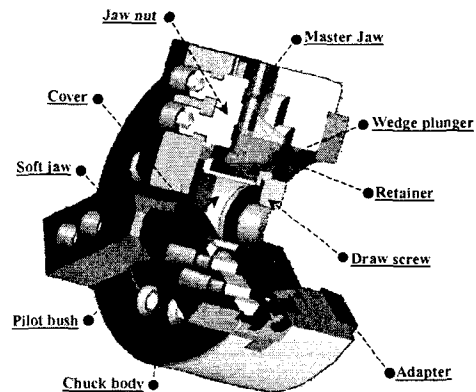


Figure 1. Assembly of Hydraulic Power Chuck

Figure 2 는 피삭재를 유압척에 고정시키는 기능을 수행하기 위한 부품간의 상대운동을 도시한 것이다. 피삭재의 탈부착은 유압척의 회전이 정지된 상태에서 진행되며, 유압에 의해 구동 되는 유압 실린더의 수평 왕복운동을 Master Jaw 의 수직 왕복운동(여기서 “수직”이라 함은 유압 실린더의 운동방향에 직교되는 방향을 의미)으로 변환하여 이에 체결되어 있는 Soft Jaw 가 피삭재를 파악 또는 해지

그리고 Master Jaw 와 Pilot Bush 의 일부분을 감싸는 공간을 제공하게 되며, 이의 원통형 표면(S6, S7)은 Wedge Plunger 와 Retainer 운동의 제한 및 안내 기능을 담당한다. 이 두 개의 체적형 특징형상은 원통형 외형과 함께 척바디의 가장 중요한 기능을 담당하는 특징형상이라고 할 수 있다. Table 3 에는 Figure 4 에서 도시된 특징형상을 Table 1 에서 제시된 분류 방식에 따라 의도기능과 함께 정리한 것이다. 대부분의 특징형상이 다른 부품의 운동의 제한/안내 또는 부품을 포함하는 기능을 수행하기 위한 것임을 알 수 있다. 이는 Table 2 에서 보여진 척바디의 의도기능을 뒷받침하는 것으로, 특징형상의 의도기능이 그 특징형상을 포함하는 부품의 의도기능을 수행할 수 있도록 가공됨을 알 수 있다.

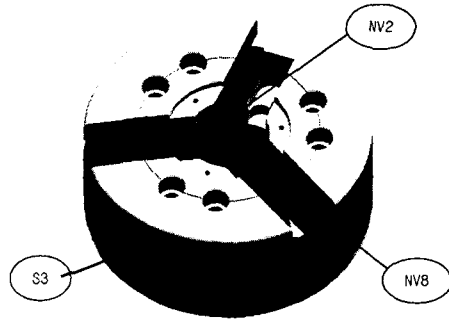


Figure 3. 3D Model of Chuckbody

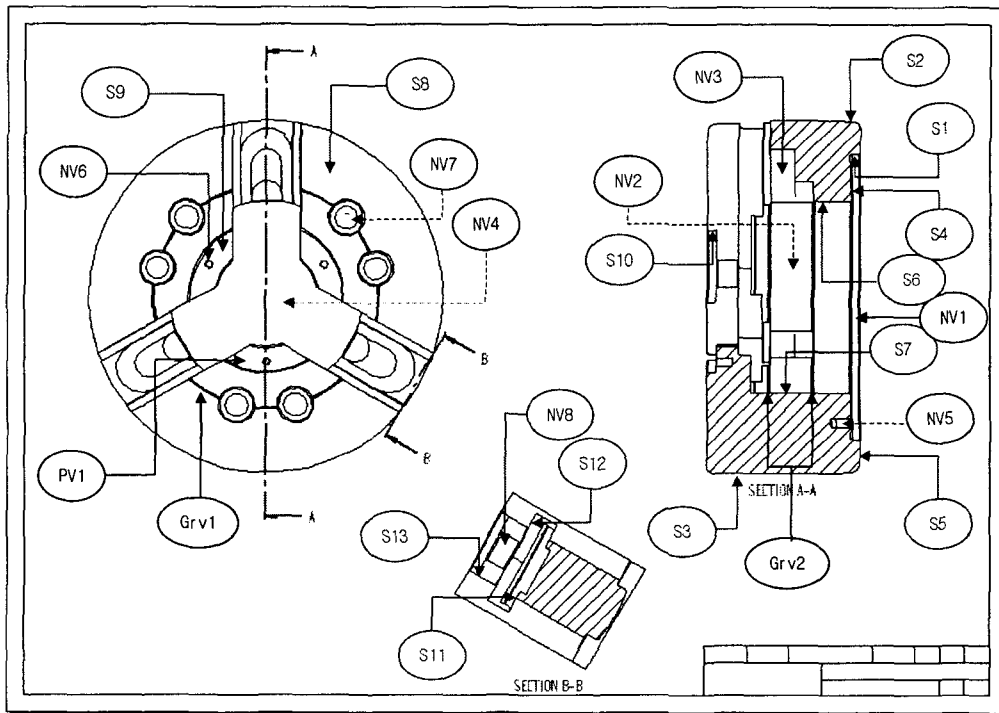


Figure 4. Drafting and Features of Chuckbody

Table 3. Function and Feature of the Chuckbody based on the Basic Function

| Feature | Detail Feature | Num. in Figure 2 | Function of Feature |
|------------------------------|---------------------|------------------|-----------------------------------|
| Machined Surface Feature (S) | Cylindrical surface | S1 × 1 | Support Adapter |
| | Cylindrical surface | S2 × 1 | (Outer Diameter of the Chuckbody) |
| | Cylindrical surface | S3 × 1 | (Outer diameter of the Chuckbody) |
| | Annulus surface | S4 × 1 | Support Adapter |
| | Annulus surface | S5 × 1 | - |

| | | | |
|----------------------------------|----------------------|----------|--|
| | Cylindrical surface | S6 × 1 | Limit Motion of Wedge Plunger and Retainer Guide Motion of Wedge Plunger and Retainer |
| | Cylindrical surface | S7 × 3 | Limit Motion of Wedge Plunger Guide Motion of Wedge Plunger |
| | Annulus surface | S8 × 3 | (Front Face of the Chuckbody) |
| | Annulus surface | S9 × 3 | Support Pilot Bush |
| | Cylindrical surface | S10 × 3 | Support Pilot Bush |
| | Planar surface | S11 × 6 | Limit Motion of Master Jaw Guide Motion of Master Jaw |
| | Planar surface | S12 × 6 | Limit Motion of Master Jaw Guide Motion of Master Jaw |
| | Planar surface | S13 × 6 | Limit Motion of Master Jaw Guide Motion of Master Jaw |
| Machined Volumetric Feature (NV) | Pocket | NV1 × 1 | Support Adapter |
| | Pocket | NV2 × 1 | Hold Wedge Plunger, Retainer, and Draw Screw |
| | Step | NV3 × 3 | Hold Master Jaw (This is just a space for avoiding the collision between Master Jaw and Chuckbody) |
| | Through hole | NV4 × 1 | Hold Pilot Bush |
| | Pocket | NV5 × 3 | Hold Bolt (to attach Adapter to Chuckbody) |
| | Pocket | NV6 × 3 | Hold Bolt (to attach mating part to Chuckbody) |
| | C.Bored through hole | NV7 × 6 | Hold Bolt (to attach Chuckbody to mating part) |
| | T Slot | NV8 × 3 | Hold Master Jaws |
| Volumetric Feature (PV) | Protrusion | PV1 × 1 | Support Pilot Bush Limit Motion of Wedge Plunger |
| Groove (Grv) | Groove | Grv1 × 2 | - |
| | Groove | Grv2 × 2 | Hold Lubricant |

2.3 척바디의 가공 공정

본 절에서는 2.2 절에서 분류된 의도기능을 수행하는 특징형상에 대한 가공공정을 조사하고, 특징형상, 의도기능, 가공공정 요소간의 상관 관계를 수립하고자 한다. 척바디는 구조용 강을 소재로 하여 내/외경을 가공한 후 구멍가공이 수행된다. 이어 T-Slot 의 가공이 수행되는데, 본 단계까지는 정밀한 수준의 표면 조도를 확보하지 못하게 되고 최종적으로 정밀한 표면 조도를 필요로 하는 특징형상에 대한 연삭 공정으로 가공을 마무리하게 된다. Table 4 에는 척바디의 가공공정과 대응되는 특징형상이 정리되어 있다.

Table 4. Manufacturing Process of Chuckbody

| Process | Feature |
|---------|------------------------------|
| 구조용 강 | Cylindrical Solid workpiece |
| Turning | Cylindrical surface (S2, S3) |
| | Pocket (NV1, NV2) |
| | Through hole (NV4) |

| | |
|----------|--|
| Drilling | C.bored through hole (NV7) Holes (NV5, NV6) |
| Milling | T-Slots (NV8) |
| Grinding | Cylindrical surface (S6, S7) Planar surface (S11, S12, S13) |

T-Slot 에 존재하는 6 개의 평탄한 면들 (S11, S12, S13)과 척바디 내부의 원통형 면 (S6, S7)은 각기 Master Jaw 와의 면 접촉에 의한 미끄럼 운동과 Wedge plunger 그리고 Retainer 와의 면 접촉에 의한 미끄럼 운동을 제한/안내하는 기능을 수행하기 때문에 표면이 정밀하게 가공되어야 한다. 또한 척바디가 회전 관성체의 역할을 하기 때문에 회전 시 편심의 방지를 위해 척바디 외경의 표면도 정밀하게 가공되어야 한다. 이 세 부분의 특징형상은 척바디의 가장 중요한 기능을 담당하는 부분으로서 의도기능을 위한 충분한 표면 조도 확보를 위하여 연삭 공정이 적용되게 되는 것이다.

3. 결 론

본 연구에서는 절삭가공 용 기계 중 피삭재의 회전에 의해 절삭력을 발생 시키는 선반의 중요 요소인 유압식 파워척에 대하여 각 부품들의 의도 기능을 Clemson University 의 G. Fadel 연구 그룹의 Kirschman⁽⁷⁾ 등이 제시한 Function-Based Taxonomy 방법에 의하여 분류하였다. 또한 파워척의 부품 중 가장 중요한 기능을 수행하는 척바디의 특징형상, 의도기능 및 가공공정에 대한 조사를 역 공학적인 방법에 의하여 수행함으로써 개념설계 단계에서의 제품의 의도기능에 대한 특징형상의 추론 및 그에 따른 부품의 외형을 추론해낼 수 있는 기초 자료를 확보하게 되었다. 본 논문에서의 연구에 이어 파워척의 잔여 부품에 대한 연구가 진행되고 있으며, 유압척과 같은 회전운동의 전달 부품에 대한 연구를 추가 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 한국 과학 재단의 목적기초연구 과제로 수행되었으며, 후원에 깊은 감사 드립니다.

참고 문헌

1. W. Nederbragt, R. Allen, S. Feng, S. Kaing, R. Sriram, and Y. Zang, "The NIST Design/Process Planning Integration Project," Proc. of AI and Manufacturing Research Planning Workshop, pp. 135 - 139, 1998.
2. Y. S. Kim and S. C. Feng, "Case Studies to Understand the Relations among Function, Form and Manufacturing Process for integration of Process Planning into Early Design Stage," Proc. of the ASME Computers and Information in Engineering Conference, DETC99/CIE-9121, 1999.
3. T. C. Chang, R. A. Wysk, and H. P. Wang, "Computer-Aided Manufacturing," (2nd Ed.), Prentice-Hall, 1998.
4. D. G. Ullman, "The Mechanical Design Process," (2nd Ed.), McGraw Hill, 1997.
5. G. Pahl and W. Beitz, "Engineering Design: A Systematic Approach," (2nd Ed.), Springer Verlag, 1996.
6. J. A. Collins, B. T. Hagan, and H. M. Bratt, "The Failure-Experience Matrix-A Useful Design Tool," Trans. of the ASME, Series B, Journal of Engineering in Industry, Vol. 98, pp. 1074 - 1079, 1976.
7. C. F. Kirschman and G. M. Fadel, "Classifying Functions for Mechanical Design," ASME Journal of Mechanical Design, Vol.120(3), pp. 475 - 482, 1996.