

# 생산효율의 향상을 위한 설계정보의 재사용이 가능한 CAD/CAM 시스템 개발

## Development of CAD/CAM System with Reusable Design Information for Improving Production Efficiency

강봉구<sup>1</sup>, 이종항<sup>2,✉</sup>  
Bong Ku Kang<sup>1</sup> and Jong Hang Lee<sup>2,✉</sup>

1 한국산업기술대학교 대학원 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Korea Polytechnic Univ.)

2 한국산업기술대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Korea Polytechnic Univ.)

✉ Corresponding author: ljh@kpu.ac.kr, Tel: +82-31-8041-0403

Manuscript received: 2014.4.23 / Revised: 2014.5.30 / Accepted: 2014.6.3

*High efficiency production requires the improved performance of CAD/CAM system. Although the CAD and CAM have been significantly developed over the last three decades, they must still study on the reuse of information during process. In this study, we developed a new integrated CAD/CAM system which can reuse the information generated in previous processes, in order to improve its performance. In addition, the developed system was verified by comparing with working-time, and system reproducibility was also examined with tolerance in the unmanned operation. Experimental results showed 58% reduction in working-time of 2D Auto-CAM module, 80% in case of 3D Auto-Exchange module, and 54.5% in case of Auto-Design module.*

Key Words: CAD/CAM System (CAD/CAM 시스템), Production Efficiency (생산효율), Reusable Design Information (설계정보의 재사용), 2D Auto-Design & CAM (2 차원 자동설계 및 가공), Verification (검증)

### 1. 서론

오늘날 제조 분야의 공통적인 이슈는 정확한 납기의 준수이다. 따라서 업체에서는 효율적인 생산시스템을 구축하고자 고성능 생산장비, CAD/CAM시스템의 도입과 인적 인프라의 확보를 통하여 좀더 빠르고 정밀하게 제품을 생산하고자 많은 노력들을 해왔다.

이에 부응하기 위하여 CAD/CAM 소프트웨어 개발<sup>1,2</sup>도 활발히 이루어져 왔고, 각 모듈에 편의 기능은 물론, 필요한 각종 지식 또한 참조하여 재사용하는 지능형 CAD/CAM으로 발전하게 되었다. 여기서 지식은 공정에 필요한 정보를 자료 형태로

정의된 것을 말한다. 이러한 지식을 관리 및 활용하는 시스템을 지식기반공학 시스템 (Knowledge Based Engineering System)<sup>1</sup>이라 한다.

지식기반공학 개념이 접목된 CAD/CAM 관련 연구는 다음과 같이 다양하게 수행되어 왔다. 김석렬<sup>3</sup> 외는 몰드 베이스 설계에 관한 연구에서 CAD시스템의 운영 효율성을 제고시키기 위하여 지식기반공학 시스템을 도입하였다.

조용무<sup>4</sup>외는 CAD/CAM/CAE 각 소프트웨어 간 데이터 호환성 문제점 해결과 프로세스의 진행 시 사용자에게 쉽게 정보를 제공하는 편의기능과, 통합 운용시스템의 개발에 초점을 맞추어 연구 하였다. 그러나 이 연구는 AutoCAD 단일 프로그램에

적용된 연구로서 지식의 재사용 측면은 미흡하다.

한순홍<sup>5</sup>은 2차원 도면에서 3D 모델로의 재 구성에 관한 연구를 수행하였다. 그는 도면상에 나타나는 2차원 형상 엔티티만으로는 3차원 모델을 복원하는데 충분한 정보를 얻을 수 없기 때문에 물체를 복원하는 과정에서 생길 수 있는 애매 모호한 부분을 해결하고자 전문가 시스템을 도입하였다.

손영지<sup>6</sup>는 DCL을 이용한 가공정보의 DB 구축 및 CAM용 프로그램 개발에 관한 연구를 수행하였다. 그는 이원화된 CAD/CAM 사용의 문제점을 개선하고자 AutoCAD를 바탕으로 설계와 NC코드를 동일 시스템에서 사용되는 프로그램을 개발하였다.

상기의 기존 연구들을 살펴보면, 조용무를 제외한 대부분의 연구들은 설계와 가공이 연계되어 시스템이 운용되는 통합시스템이 아닌 것을 알 수 있다. 그리고 조용무는 본 연구와 유사하게 지식의 재활용에 대한 연구이지만, 제조업에서 중요하게 여기는 가공 소프트웨어와의 연계 운용면에서 여전히 미흡하다.

따라서 CAD/CAM시스템의 효율을 높이기 위해서는 각종 정보들이 공유되어 재사용되어야 하며, 특히 이 정보들이 CAM에도 접목된 통합형 CAD/CAM시스템의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 생산효율을 향상시키기 위하여 앞 공정에서 생성 및 활용되었던 정보들이 다음 공정에서도 재사용될 수 있는 통합형 CAD/CAM 시스템을 개발하였다. 또한, 개발된 모듈들의 생산효율을 검증하고, 무인가공을 통해서 재현성도 조사하였다.

## 2. CAD/CAM 시스템의 모듈 개발

### 2.1 통합형 CAD/CAM 시스템

통합형 CAD/CAM 시스템은 Fig. 1과 같다. 각 모듈은 ①과 같이 생산정보들이 구축된 데이터 베이스 모듈과, ②의 지식기반공학 모듈을 통하여 제품특성이 반영된 정보들이 2D Auto-Design, 3D Auto-Exchange, 2D Auto-CAM 모듈에 반영된다. 특히, 2D Auto-CAM 모듈은 터치프로브를 이용한 가상측정 기능이 추가되어 무인가공이 가능하도록 개발되었다.

이와 같이 통합형 CAD/CAM시스템은 Fig. 1의 ①과 ②를 기반으로 정보들이 가공, 갱신, 그리고 재활용되어, 2차원 설계, 3차원 모델링, 가공 및 측

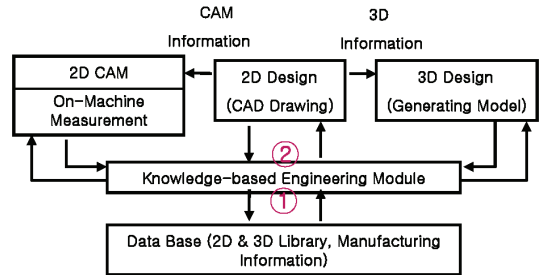


Fig. 1 Configuration of CAD/CAM system

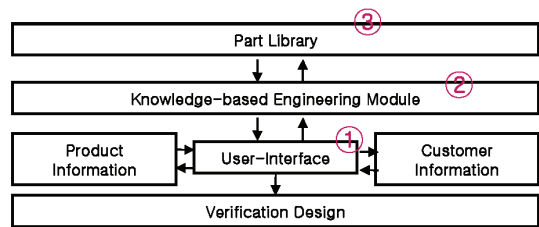


Fig. 2 System configuration of 2D Auto-Design module

정이 하나의 시스템에서 순차적 또는 동시에 이루어진다.

### 2.2 2D Auto-Design 모듈

Fig. 2는 2D Auto-Design 모듈로서 사용자 인터페이스 ①에 제품과 고객정보를 입력하면 지식기반공학 모듈 ②에 의해 각 부품이 결정된다. 특히, ②모듈은 계산식만으로는 효율적인 설계가 불가능할 경우를 대비하여 경험치를 기반으로 한 설계(예, 사출물의 빠기 구배가 고려된 치수보정 등)가 가능하도록 하였다. ①의 입력정보는 사용자가 조작가능하며, ①을 실행할 때 입력된 오류정보들이 ②에 의해 부품들 사이의 Assembly 관계가 검증되어, 자동적으로 정보들이 갱신된다. 이때 참조되는 각 부품은 “.dwg” 파일로 고유 이름이 부여되어 저장되고 파트 라이브러리 ③에서 관리되어 설계시 참조된다.

### 2.3 3D Auto-Exchange 모듈

3D Auto-Exchange 모듈인 Fig. 3은 두 가지 영역으로 나뉜다. 첫 번째는 2D 서브모듈(A)로서 2D Auto-Design 모듈에서 생성된 설계도면의 각 파트 정보를 읽어 3D 모델 정보 ①을 얻고, 이를 모델 파라미터 시트 ②에 “.XLS”로 저장된다.

두 번째는 3D 모델링 모듈(B)로서 생성된 모델 파라미터 시트 ①에 접근하여 생성할 파트 정보와

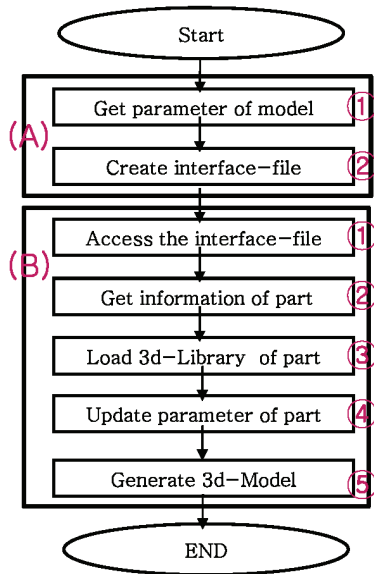


Fig. 3 Flow chart of 3D Auto-Exchange module

	A	B	C	D	E	F	G
1	<b>&lt;MOLD BASE PARAMETERS&gt;</b>						
2	SYSTEM	YUEN					
3	DATUM						
4	INSULATION	0					
5	PLATE_TYPE	1					
6	SPACE_TYPE	1					
7	PLATE_X*Y	450	450	500	500		
8							
9							
10	<b>INDEX</b>	<b>CT_XLT</b>	<b>CT_XRT</b>	<b>CT_YLT</b>	<b>CT_YRT</b>	<b>PT</b>	<b>CT_CPT</b>
11	Insulation Plate						0
12	Clamping Plate	50	50	0	0	70	35
13	Spacer Plate	50	50	0	0	70	
14	Holding Plate	50	50	0	0	40	
15	Cavity Plate	50	50	0	0	150	
16							
17		CT_XLT	XL	XR	CT_XRT		
18					CT_YRT		
19					YR		
20					YL		
21					CT_YLT		
22							
23							
24							
25							
26		IT_PT			CT_CPT		
27		Clamping			CT_PT		
28		Spacer			ST_PT		
29		Holding			HT_PT		
30		Cavity			CAT_PT		

Fig. 4 Interface sheet of 3D modeling

3D 모델 파라미터 ②를 얻는다. 이후 3D 파트 모델을 로드③ 시킨 후, 파트 모델의 파라미터를 업데이트④ 하여 3D 모델을 완성⑤ 시킨다.

Fig. 4는 2D 서브모듈(Fig. 3(A))을 이용해서 생성된 3D 모델링 인터페이스 시트로서 각 부품 정보 및 3D 모델링 파라미터 정보들이 기록된 것을 볼 수 있다.

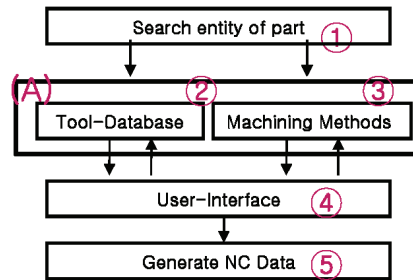


Fig. 5 Flow chart of 2D Auto-CAM module

HEATER		①	②	③	④	⑤
Machining Method	Tool Name	Depth of Cut (Z)	Tool Entrance Position (Z)	Machining Process Identifier	Machining Sequence (N1,2,3+)	G00 G01 (Branch)
		Z	K	A		J
SLOT	8.5EM	-3.55	-3.55	R	N101	J01
SLOT	6.8EM	-7.7	-4.8	F	N105	J01
SLOT	8.5(A)EM	-3.65	-3.65	C	N109	J01

Fig. 6 Template sheet of machining methods

Tool No.	Tool Name	RPM	FEED	M-CODE	CUT d/g	TOOL DIA (Address)	Priority
NC		#811	#812			#814	
1	8.5EM	4496	0.25	M08M50		#61001	40
2	6.8EM	5617	0.25	M08M50		#61002	41
3	8.5(A)EM	5617	0.25	M08M50		#61003	42

Fig. 7 Template sheet of tool & machining conditions

### 2.4 2D Auto-CAM 모듈

Fig. 5는 2D Auto-CAM 모듈로서 2D Auto-Design 모듈에서 생성된 설계도면의 각 파트 정보를 읽어 가공대상 및 가공영역을 자동 인식한다. 그리고, 이들 정보에 의해 공구 및 가공조건 (A)-②와 가공방법 (A)-③이 결정된다. 마지막으로 작업자가 ①, ②, ③의 정보들을 직접 수정④ 할 수 있도록 하였다. 또한, 수정된 정보들은 다시 ②와 ③에 의해 검증된 후, ⑤에서 최적화된 NC 데이터가 자동으로 생성된다.

Fig. 6은 가공방법이 정의된 파일(Fig. 5(A)-③)로서 ①은 가공깊이를, ②는 공구 진입위치 값을, ③은 NC데이터 출력 시 황삭, 중삭, 정삭 공정의 식별값을 나타낸다. 또한, ④는 공구를 기준으로 가공순서를 결정하는 구분자로서 불 필요한 공구교환을 줄여 가공시간을 단축하기 위해 사용된다. ⑤는 ②의 공구진입 시 이송방법 (G00 또는 G01)

을 결정해 준다.

Fig. 7은 공구와 절삭조건이 정의된 데이터 베이스시트(Fig. 5(A)-②)의 사례를 보여준다.

### 2.5 OMM 을 이용한 무인가공 모듈

무인가공을 실현하기 위해서는 자동으로 공급된 공작물에 가공원점의 설정과 가공 후 공작물을 기상에서 자동측정(On Machine Measurement, OMM)이 가능하여야 한다.

Fig. 8은 OMM을 이용한 무인가공 순서를 나타낸 것이다. 소재가 장비로 반입되면 터치 프로브에 의해 가공원점 ①(공작물 좌표계: Workpiece Coordinate System, WPC)이 설정된다. 그 다음에는 2D Auto-CAM 모듈에서 자동 산출된 가공 데이터에 의해 가공 ②가 실행된다. 정삭가공이 완료되면 터치 프로브에 의해 기상측정한 후 재가공 여부 ③을 판단한다. 마지막으로 측정결과가 리포트 ④된다.

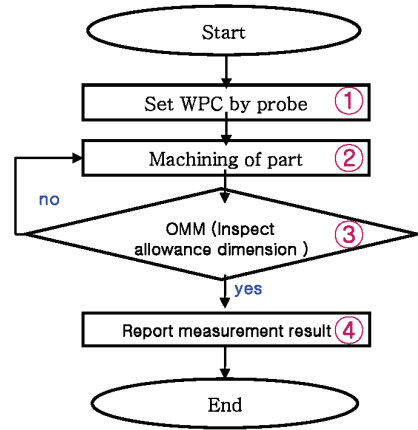


Fig. 8 Flow chart of unmanned machining by OMM



Fig. 9 Experimental apparatus in order to verify developed CAD/CAM system

## 3. 실험 장치 및 방법

### 3.1 실험 장치

개발된 모듈들의 검증실험에 이용된 상용프로그램들은 2D 설계는 AutoCAD, 3D 모델링은 Unigraphics (UG), CAM은 CAMWARE이다. 또한 실제 검증실험은 Fig. 9와 같이 Mazak(모델명: FJV 90/120)사의 머시닝센터를 활용하였다.

### 3.2 실험 방법

검증실험은 핫런너 금형을 대상으로 하여 기존방식과 개발된 모듈로 설계와 가공을 수행한 후 총 작업시간을 비교하였다.

Table 1은 2D Auto-Design과 3D Auto-Exchange 모듈, Table 2는 2D Auto-CAM 모듈을 검증하기 위한 실험조건이다. Table 3은 무인가공 모듈을 검증하기 위한 게이트 구멍의 치수이며, 가공조건은 기존조건을 그대로 적용하였다

개발된 통합형 CAD/CAM 시스템의 검증은 생산효율 측면과 시스템의 재현성 측면으로 구분하여 진행하였다. 생산효율은 개발된 각 모듈들을 2D Auto-Design, 3D Auto-Exchange, 2D Auto-CAM 으로 분리하여 각각의 작업시간을 측정하여 검증하였다. 이와 같이 모듈을 분리하여 측정한 것은 기존 시스템의 경우 공정과 공정 사이에 필요한 수작업 시간을 비교분석 시 제거하기 위함이다.

Table 1 Experimental condition for the verification of 2D Auto-Design and 3D Auto-Exchange module

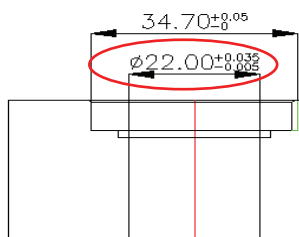
	Conventional Method	New method
Target	Part & Assembly drawing of Hot-runner mold with 6 point Gate	
Method	2D Design : LISP (AutoCAD)	2D Auto-Design module
	3D Modeling : Macro functions (NX 3.0)	3D Auto-Exchange module

Table 2 Experimental condition for the verification of 2D Auto-CAM module

	Conventional Method	New method
Target	Machining of Manifold and Moldbase	
Method	CAMWARE (Mazak)	2D Auto-CAM module

시스템의 재현성 검증은 Table 3의 게이트 구멍의 치수를 대상으로 하여 30개의 공작물을 무인가공 및 측정한 후, 기존의 수작업 방식과 비교하였다.

Table 3 Experimental condition for unmanned machining by OMM

Work-Piece	SM 45C
	Max. allowance dimension : 22.035mm Min. allowance dimension : 22.005mm
Gate Hole Dimension	

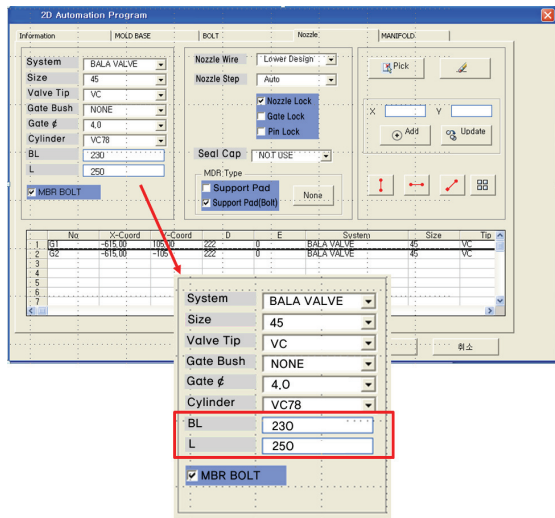


Fig. 10 Executing result of 2D Auto-Design for hot-runner nozzle

#### 4. 개발된 CAD/CAM 시스템의 유효성 검증 7

##### 4.1 2D Auto-Design 모듈 실험결과

Fig. 10은 Table 1의 핫트런너 부품 라이브러리와 설계정보를 2D Auto-Design모듈에 적용하여 노출길이를 산출한 결과이다.

이와 같이 핫트런너 설계 시 Table 1의 실험조건에서 개발된 모듈과 기존의 설계방식을 비교한 결과, Fig. 11과 같이 총 54.5%의 작업시간이 단축되었다.

이러한 작업시간의 단축은, 기존방식에서는 소프트웨어로 도면을 작성한 후 경험치들을 고려하여 설계도면을 수정하는 것에 비해, 2D Auto-Design 모듈에서는 Fig. 10과 같이 설계 경험치들이 자동

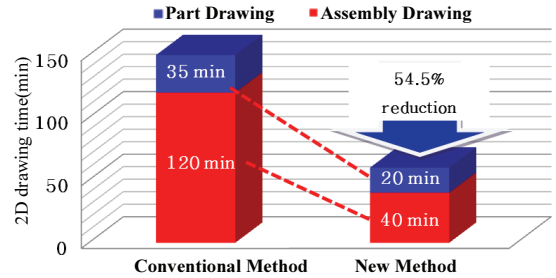


Fig. 11 Drawing time reduction of 2D Auto-Design module

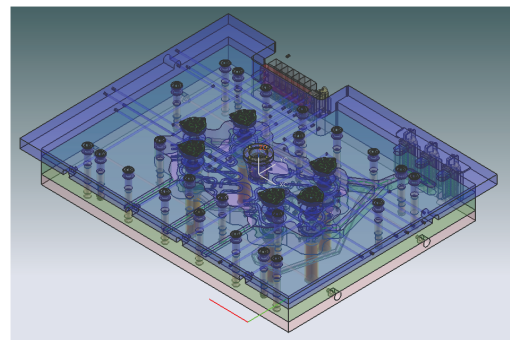


Fig. 12 Modeling result of hot-runner mold by 3D Auto-Exchange module

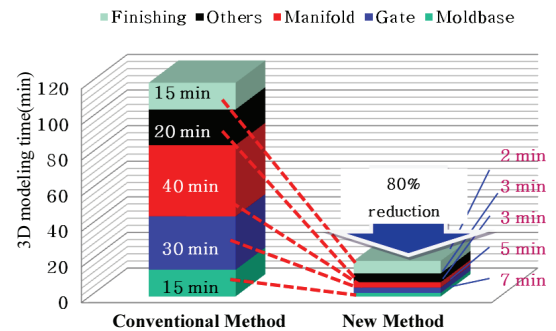


Fig. 13 Modeling time reduction of 3D Auto-Exchange module

으로 참조되어 수정될 뿐만 아니라 사전에 구축된 정보들도 재활용되었기 때문이다.

##### 4.2 3D Auto-Exchange 모듈 실험결과

3D Auto-Exchange 모듈은 2D Auto-Design 모듈에서 설계된 도면 정보와 각 파트 정보를 읽어 자동적으로 3D 모델을 생성한다.

Fig. 12는 핫트런너 몰드를 3D Auto-Exchange 모

들로 3D 모델링한 결과를 보여 준다.

Fig. 13은 Table 1의 실험조건에서 기존의 3D 모델링 방식과 3D Auto-Exchange 모듈을 적용한 방식을 비교한 결과이다. 총 80%의 모델링 시간을 단축할 수 있었다.

이러한 작업시간의 단축은 2D Auto-Design 모듈에서 생성된 각 부품들의 설계정보가 자동으로 참조 및 재활용되어 3D 모델링 되었기 때문이다.

**4.3 2D Auto-CAM 모듈 실험결과**

2D Auto-Design 모듈로 설계된 도면에서 가공대상이 자동 인식되고, 가공조건 및 가공방법들이 지식 데이터베이스를 통하여 자동 처리 됨으로써 작업시간이 단축될 뿐만 아니라, 작업자의 오류도 최소화된다.

Fig. 14는 2D Auto-CAM모듈로 제작한 핫트런너몰드를 보여 준다.

Fig. 15는 Table 2의 실험조건에서 기존의 CAM 방식과 2D Auto-CAM 모듈 방식을 비교한 결과, 매니폴드의 가공은 15분에서 5분으로, 몰드베이스 가공은 50분에서 25분으로 단축되어, 총 58%의 작업시간을 단축할 수 있었다.

**4.4 OMM 을 이용한 무인가공 실험결과**

개발된 2D Auto-Design, 3D Auto-Exchange, 그리고 2D Auto-CAM 모듈 만으로는 생산효율을 대폭적으로 증가시키기 어렵다. 그러므로 이들 모듈들을 하나의 시스템에 통합시키고, 또한 가공과 측정의 하나가 하나의 기계 위에서 연속적으로 실행되도록 무인화시켜야 한다. 또한, 무인가공 실험은 통합형 CAD/CAM시스템의 생산효율과 재현성 검증에도 매우 효율적이다.

Fig. 16은 2D Auto-CAM 모듈에서 핫트런너몰드를 가공한 후, 작업자가 3점식 내측 마이크로미터로 구멍치수를 직접 측정하는 사진이다.

Table 4는 작업자가 마이크로미터로 측정한 것과 프로브를 이용하여 기상측정한 결과를 비교한 것으로서, 5 $\mu$ m의 차이를 보여준다.

Fig. 17은 프로브에 의해 기상 측정된 게이트 구멍의 치수들이 실시간으로 제어판의 화면에 나타난 것을 캡처한 것이다. 그림의 적색박스 안에서 볼 수 있듯이 ‘Diameter 22.015 mm’는 실제로 측정된 치수이며, ‘Target 22.035 mm’는 설정된 최대허용공차(Table 3에 제시)를 나타낸다. 따라서 터치 프로브의 측정값이 가공공차의 범위 내에 있으

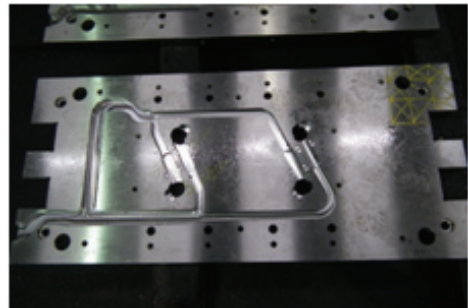


Fig. 14 Photograph of machined hot-runner mold by 2D Auto-CAM

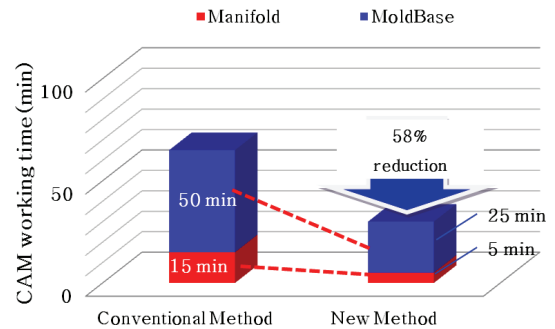


Fig. 15 Machining time reduction of 2D Auto-CAM module

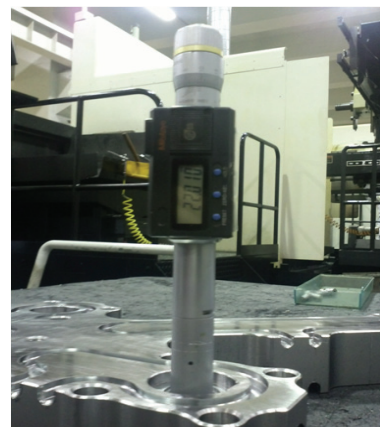


Fig. 16 Photograph of mold measurement by internal micrometer

Table 4 Measuring results for internal micrometer vs. unmanned machining by OMM

	Three-point internal micrometer	Touch probe
Measuring	22.010 mm	22.015 mm

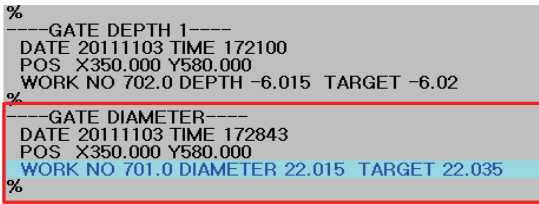


Fig. 17 Measurement result by OMM during machining

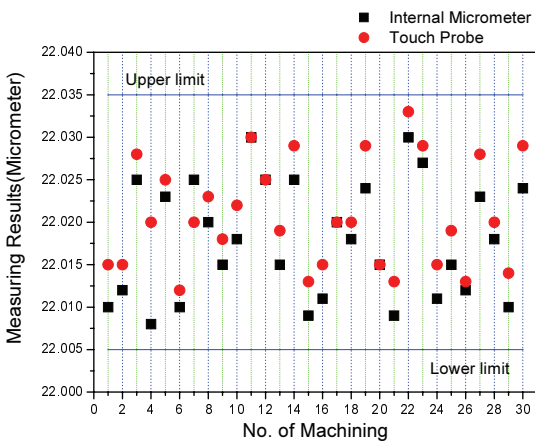


Fig. 18 Measuring results of unmanned machining in order to investigate the reproducibility of the developed CAD/CAM system (■: internal micrometer by manual, ○: OMM)

로 개발된 무인가공 모듈이 유효함을 알 수 있다.

개발된 무인가공 모듈의 재현성을 파악하기 위한 실험결과가 Fig. 18이다. 이 실험은 Fig. 17과 동일한 실험조건에서 30회의 반복가공 및 측정을 수행한 결과이다. 그림의 Upper limit는 가공품의 최대허용공차이며, Lower limit는 최소허용공차이다.

30회의 모든 측정값들이 작업자가 정밀하게 수작업으로 측정한 결과(Fig. 18의 ■ Internal micrometer)와 동일하게 최대 및 최소허용공차 이내에 있음을 볼 수 있다.

수작업 측정값의 평균은 22.018 mm(표준편차: 6.7 $\mu$ m)이고 무인가공에 의한 측정값의 평균은 22.021 mm(표준편차: 6.2 $\mu$ m)이므로 측정의 평균값 차이가 3 $\mu$ m로 작을 뿐만 아니라 편차 역시 거의 동일함을 볼 수 있었다.

따라서 개발된 통합형 CAD/CAM 시스템은 설계정보들의 재사용에 의한 작업시간의 단축과 동시에 시스템의 재현성도 보장됨을 알 수 있었다.

### 5. 결론

본 연구에서는 개별공정에서 설계정보가 생성 및 활용되었던 기존 CAD/CAM 시스템의 문제점을 개선하였다. 앞 공정의 설계정보를 자동 인식하여 다음 공정의 특성에 맞도록 자동으로 재사용될 수 있는 통합형 CAD/CAM 시스템을 개발하였다.

개발된 CAD/CAM 시스템을 ‘2D Auto-Design 모듈’, ‘3D Auto-Exchange 모듈’, ‘2D Auto-CAM 모듈’로 분리하여 검증실험을 수행한 결과, 2D Auto-Design 모듈은 54.5%, 3D Auto-Exchange 모듈은 80%, 2D Auto-CAM 모듈은 58%의 작업 시간을 단축할 수 있었다.

또한, 개발된 CAD/CAM시스템의 재현성을 파악하기 위해 무인가공 모듈에서 30회의 반복가공 및 측정을 수행한 결과, 최대 및 최소 허용공차 범위 이내로 가공되어 작업시간의 단축과 동시에 시스템의 재현성도 보장되었음을 알 수 있었다.

### REFERENCES

1. Lee, S. H., Jang, J. W., and Woo, Y. H., “KMU-Mold: A Solid Mold Design System based on Unigraphics,” Proc. of CAD/CAM Engineers Winter Conference, pp. 421-426, 2003.
2. Hong, M. S., “Knowledge Based Engineering,” CAD/CAM Review, Vol. 8, No. 1, pp. 34-36, 2002.
3. Kim, S. R., Im, S. L., and Lee, S. H., “A Mold Base Design System based on a Knowledge Based Engineering System,” Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 1467-1470, 2003.
4. Cho, Y. M. and Wang, K. K., “Development of Plastic Injection Mold Design System on the CAD Environment,” J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 15, No. 2, pp. 68-74, 1998.
5. Han, S. H., “In the Drawing, 2D Reconstruction of 3D Model,” CAD & Graphics, No. 6, pp. 132-135, 2000.
6. Son, Y. J., Kim, S. K., and Jeon, E. C., “A Study of Development of Program for CAM and DB Construction of the Processing Information using DCL,” J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 16, No. 9, pp.143-148, 1999.
7. Kang, B. K., “Development of Automatic Transfer Program from 2D Information to 3D Model and

CAM Data,” M.Sc. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Korea Polytechnic University, 2011.