

# 지능형 금형공장 개발

저자: 최병규<sup>1</sup>, 고기훈<sup>2</sup>, 김보현<sup>3</sup> · <sup>1</sup>한국과학기술원 · tkchoi@vmslab.kaist.ac.kr,  
<sup>2</sup>VMS Solutions Co. Ltd. fish@mail.vms-solutions.com, <sup>3</sup>KITECH, bhkim@kitech.re.kr

## ABSTRACT

Presented in the paper is an approach to developing an intelligent mold shop as a means to overcome the difficulties faced by mold-makers due to skill shortages and increased global competition. A machine shop where as much as of the human skills are replaced by a set of intelligent systems is called an *intelligent machine shop*, and an intelligent mold-making machine shop is called an *intelligent mold shop(IMS)*. By analyzing the contents of operator's skill, three intelligent S/W stations have been designed: Technical Data Processing(TDP) Station, Loading Schedule Station, and Real-time Monitoring Station. A detailed architecture of the TDP station is described, and measures of effectiveness of IMS are elaborated.

**Keywords:** Intelligent mold shop(IMS), effectiveness measure of IMS, functional model of mold shop, loading scheduling, machining process monitoring, software architecture

## 1. 서론

최근 들어 우리 주변에서 볼 수 있는 제품들이 기능성 못지않게 디자인이 중요해져서, 대부분이 복잡한 자유곡면 형상으로 설계되고 있다. 소비자의 취향이 빠르게 변화하고, 관련 기술의 발달과 더불어 제품의 수명은 점점 짧아지고 있는 추세이다. CAD 시스템에서 정의된 제품 형상은 금형을 통해서 실물로 형상화하므로, 형상의 복잡도와 납기 단축에 대한 압박이 고

스란히 금형 제조업체로 넘겨지고 있는 실정이다. 즉, 세트 메이커들은 금형 제작업체에 더 복잡한 형상의 금형을 보다 짧은 납기에 가장 저렴한 가격으로 최고의 품질로 제작하도록 압박하고 있다.

한편, 금형 업체들은 글로벌 경제에서 극심한 경쟁을 하고 있다. 무역위원회의 조사에 따르면 2003년 금형의 세계 시장 규모는 630억불(미국 70억불; 독일, 일본, 한국 각 40억불; 중국 30억불)로써, 매년 약 10%씩 성장하고 있다[1]. 전세계 대부분의 금형 공장들은 100인 이하의 중소기업이지만, 경쟁력 제고를 위해서는 불확실한 투자수익률에도 불구하고 최신 기술과 장비에 투자해야만 한다. 그러나, 금형 업체가 처한 가장 심각한 어려움은 기술력의 부족이다. 상기 보고서에 따르면, 금형업체가 처한 어려움은 1) 신규 인력 채용, 2) 기존 전문인력 유지, 3) 높고 지속적으로 상승하는 인건비, 4) 납기 준수 5) 납기 단축, 6) 고정밀도 만족 등으로 보고되고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 금형 제작 프로세스를 작업자의 숙련도에 덜 의존하도록 변환하는 방안이 강구되고 있다. 전통적인 금형 제작에서의 가공 업무는 전적으로 작업자의 숙련도에 의존하므로, 최우선의 숙련도 대체 대상은 가공 작업장이다. 작업자의

숙련도를 지능형 시스템으로 가능한 많이 대체한 가공 작업장을 “지능형 금형 공장(IMS, intelligent mold shop)”이라고 한다. 우리의 접근 방법은 홀로닉 생산 시스템(holonc manufacturing[2])처럼 이론적인 개념에 근거한 것은 아님을 밝힌다.

본 연구에서는 지능형 금형 공장을 개발하는 한 방법을 제시한다. 2장에서는 지능형 금형 공장을 설계하는 방법, 3장은 기술데이터 처리기(technical data processing station)에 대한 세부적인 설명을 하고, 4장은 지능형 금형 공장의 효과 측정방안, 마지막으로 결론 및 토의 순으로 설명한다.

## 2. 지능형 금형공장 설계

전통적인 금형 가공 작업장은 사람과 물질적인 자원으로 구성된다. 주요 설비로는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 머시닝 센터, 다이스포팅기, 3차원 측정기, CAM 시스템 등이 있다. 사람은 두뇌와 오감, 근육 등을 이용하여 정보처리와 육체 노동을 담당한다. 이런 가공 작업장은 전적으로 작업자 숙련도에 의존하므로 “숙련기반 가공작업장(skill-based machine shop)”이라 한다. 지능형 가공 작업장은 Fig. 1에 나타난 것처럼 작업자의 숙련도를 지식베이스(knowledge base), 소프트웨어, 하드웨어 등으로 구성된 IMS 소프트웨어 시스템으로 대체하는 가공 작업장을 의미한다.

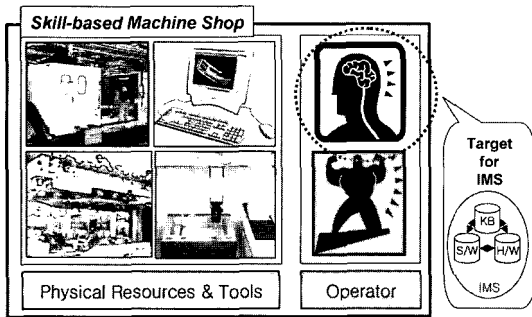


Fig. 1. Concepts of skill-based machine shop and intelligent machine shop.

Fig. 2(a)에 나타난 바와 같이 금형 제작 프로세스는 일련의 정보처리 과정과 품질 보증 활동으로 여겨진다. 제품의 CAD 모델을 입력으로 한 금형 제작의 주요 변환과정은 구조설계, 상하측 코어의 상세설계, 코어 가공, 사상조립, 시사출로 구성된다. 품질 보증을 위한 형합과 샘플 검사가 포함된다.

Fig. 2(b)은 코어 가공 업무를 세부적으로 표현한 것이다. 금형 코어의 CAD 모델로부터 1) NC 파일 생성 및 검증, 2) 가공 효율성 향상을 위한 NC 파일 최적화 3) 가공중 검사(in-process inspections) 4) CMM을 이용한 최종 가공물 검사와 필요 시 수정사항 출력 등의 업무로 구성된다. CMM 측정을 위한 데이터는 CAD 모델을 기반으로 생성된다.

지능형 금형 공장을 설계하기 위하여 Fig. 2(b)의 업무 중에서 작업자의 숙련도를 요구하는 업무를 세부적으로 분석한다. Fig. 2(b)의 업무 중에서 NC 파일 최적화, 가공중 검사를 포함한 NC 가공과 CMM 검

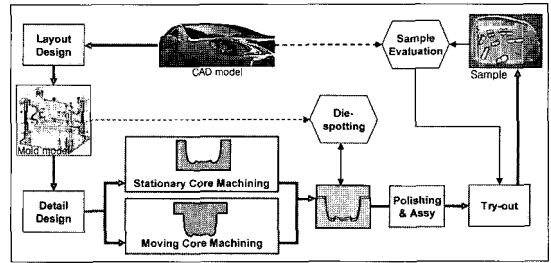


Fig. 2(a). Overall mold-making cycle and major activities.

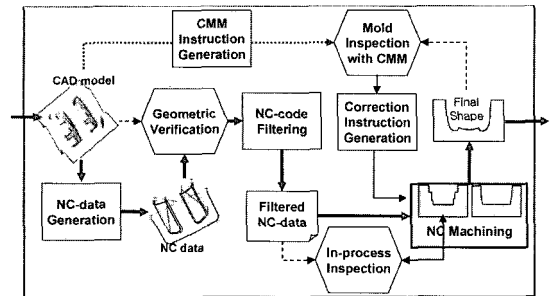


Fig. 2(b). Core machining activities.

사는 가공 작업자에 의해서 수행된다. 그림에는 나타나지 않았지만 가공 일정관리와 툴링, 셋업 역시 가공 작업자가 담당한다. 이상의 업무는 국내 한 금형 공장을 대상으로 조사한 결과, 원가와 납기의 40~50% 정도 차지한다.

Tab. 1에는 숙련기반 가공작업장에서 작업자가 수행하는 주요 업무가 나타나 있고, 특히 음영 처리된 세부 업무는 IMS 소프트웨어 시스템에서 지원할 업무이다.

- 1) 툴링: 공구 사양 결정 및 준비
- 2) 셋업: 셋업 계획 및 수행
- 3) NC 데이터 최적화: 절삭조건 결정 및 ATC-file 생성
- 4) NC 가공: 초기 셋팅 및 조정, 모니터링, 가공중 검사
- 5) 측정/검사: CMM 파일 생성 및 측정 데이터 분석
- 6) 진도/부하관리: 일정 계획 수립 및 독촉

숙련기반 가공작업장에서 작업자의 업무들의 연관 관계를 Fig. 3에 표현했다. 가공 부서로의 입력은 1) 절삭조건이 결정되지 않은 명목 NC 데이터, 2) 공구 종류 및 크기만 정의된 명목 공구사양, 3) 기준점이 표기된 금형 부품 도면, 4) 납기와 공정정보, 5) CAD 모

델과 6) 조립도면이다.

Fig. 3에서 음영 처리된 사각형은 IMS 소프트웨어 시스템이 대체 혹은 지원할 후보 업무들이다. 독립적인 소프트웨어 시스템을 “스테이션(station)”, 스테이션을 구성할 소프트웨어 모듈을 “모듈(module)”이라 정의하기로 한다. Fig. 3의 후보 업무 중에서 1) 진도 관리 및 독촉은 Loading Schedule Station, 2) 모니터링은 Real-time Monitoring (RTM) Station, 그리고 3) 그 이외의 업무들은 Technical Data Processing (TDP) Station으로 구현한다.

TDP Station은 1) 절삭조건 수정, ATC 파일 생성, 공구사양 결정 및 OMM(on-machine measuring)을 이용한 가공중 검사를 담당하는 NC-data Handler, 2) 셋업 계획을 담당하는 Setup Planner, 3) CMM 파일 생성 및 결과 분석을 담당하는 Mold Inspector 등 세 개의 모듈로 구성된다. 이상의 IMS 소프트웨어 시스템으로 지능형 금형 공장의 업무 프로세스를 정의하면 Fig. 4와 같다.

Fig. 4에 나타난 바와 같이 지능형 금형 공장엔 loading

Tab. 1. Shop-operator's tasks in a skill-based machine shop

Activities	Tasks	Task contents
Tooling	Tool spec planning	Determine effective tooling spec(holder, sleeve, tool materials, etc) from nominal cutter spec
	Tool preparation	Preset & assemble a tooling set and install it on the tool magazine
Setup	Setup planning	Determine clamping positions/methods and checking points from given datum surfaces
	Setup	Setup the work-piece and set reference points using indicators and setting bar
NC-codes Filtering	Feed-rate/RPM editing	Adjust feed-rate and RPM values to avoid overloading and to increase productivity
	ATC-file generation	Generate ATC(auto tool-change) codes and combine them with NC-data to form an ATC file
NC-machining	Initial setting/adjusting	Start DNC-file transfer & machining, and adjust coolant position & gain control
	Monitoring	Watch the machining process for abnormal events(tool breakage, collision, overload, etc)
	In-process inspection	Inspect the machined surface after each machining stage
Mold Inspection	CMM-file generation	Plan probe-paths and generate CMM-file from given CAD model and inspection spec
	CMM operation	Setup the work-piece on CMM(coordinate measuring machine) and operate the CMM
	Measured data analysis	Analyze the errors(deviations) and make recommendation for rework, etc.
Loading Scheduling	Loading planning	Assign individual machining operations to NC machines based on process plan and due-dates
	Expediting	Monitor progresses and expedite delayed jobs

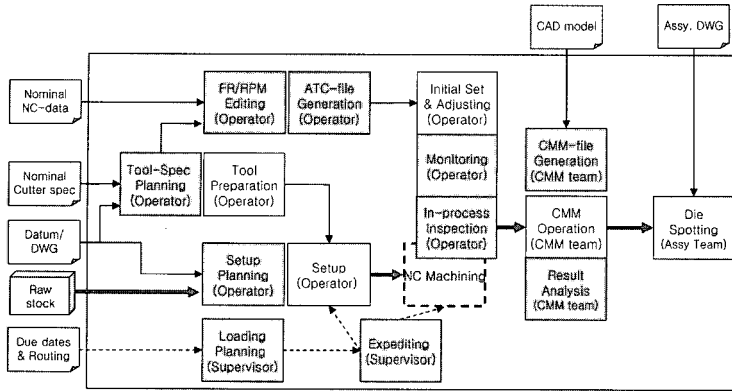


Fig. 3. Functional model of skill-based machine shop (AS-IS model).

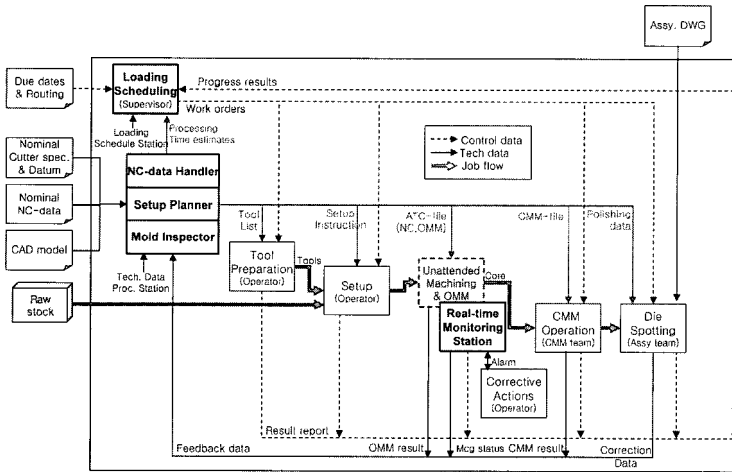


Fig. 4. Functional model of intelligent machine shop (TO-BE model).

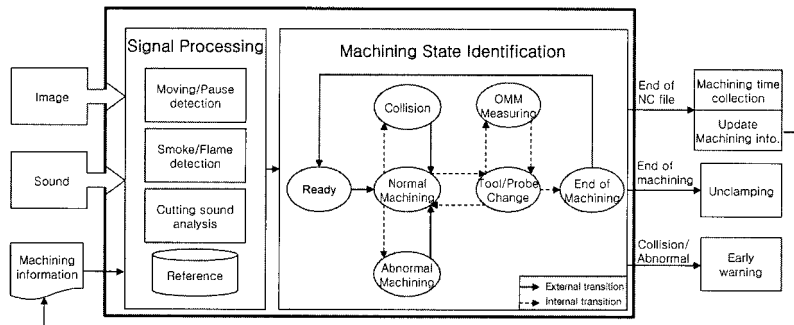


Fig. 5. Architecture of real-time monitoring (RTM) station.



Schedule Station에 의해서 관리된다. 시뮬레이션 기반의 실시간 스케줄링 시스템으로써 eMES®라는 국산 상용시스템이 있고, 진도 부하 관리 방법에 관한 좀더 자세한 사항은 [3-4]를 참고한다. Fig. 4의 Real-time Monitoring Station은 PC 카메라 기반의 모니터링 시스템으로써 영상과 음향 정보를 활용하고, 시스템 구조가 Fig. 5에 나타나 있다. RTM Station에 대한 기술적인 사항은 [5-6]을 참고한다. Technical Data Processing Station은 다음 장에서 설명한다.

### 3. 지능형 금형 공장에서의 기술 데이터 처리

지능형 금형 공장의 핵심은 TDP station으로 Fig. 6에 나타난 세가지 모듈로 구성된다: NC 데이터 최적화, 공구사양결정, OMM 운영을 담당하는 NC-data Handler; CMM 데이터 생성, 가상 형합을 담당하는 Mold Inspector; 치공구 계획 및 셋업 평가를 담당하는 Setup Planner.

Setup Planner는 치공구를 결정하고, 결정된 셋업의 안정성 평가를 담당한다. 일반적으로 각주형상 (prismatic part) 가공을 위한 셋업 계획은 최소 셋업을 구하는 것으로 쉽지 않은 문제이다. 그러나 금형 가공의 셋업 계획은 치공구 계획을 의미하며 1) 적절한 치공구를 선택, 2) 기 정의된 기준점과 방향에 맞도록 맞춤형 등의 치공구 요소들로 조립 형태를 결정한다. 치

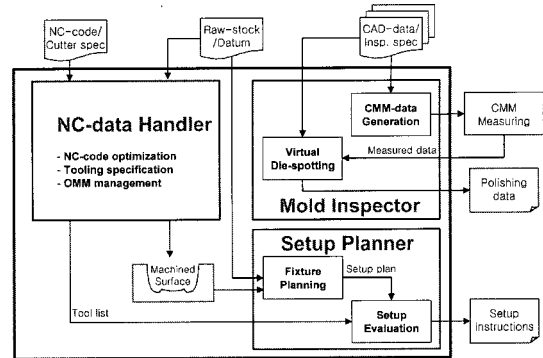


Fig. 6. Architecture of technical data processing (TDP) station.

공구 조립 예제가 Fig. 7에 나타나 있으며 셋업 계획에 대한 이슈 등의 상세한 사항은 [7]를 참조한다. 주어진 셋업에 대한 형상측면의 검증은 모의 가공을 통해서 수행하며, 기구학 측면의 안정성은 나사이론 (screw theory)을 활용할 수 있다[7].

Mold Inspector는 CMM 데이터 생성 및 가상 형합 기능을 포함한다. CMM 데이터를 생성하는 절차는 1) 측정점 계산, 2) 측정점들을 연결하여 probe 경로 생성, 3) 충돌이 없는 데이터로 필터링[8-9]하는 과정을 거친다. 자유곡면 물체의 측정점은 파팅면, 오목 필렛, 볼록 라운드 곡면 등의 특징영역에서 정의 된다. 가상 형합과 특징영역의 개념에 대한 자세한 사항은 [10]을

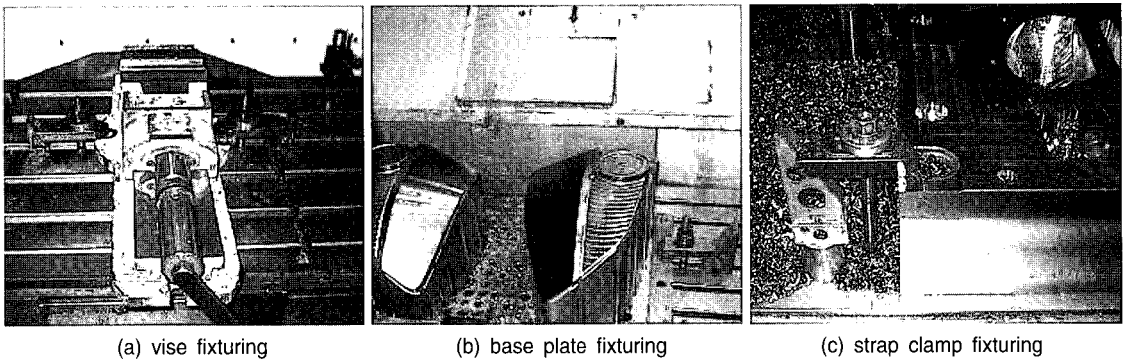


Fig. 7. Examples of fixturing configuration.

참조한다.

TDP station의 핵심은 NC-data Handler로써, 1) 명목 공구 사양과 절삭조건이 없는 명목 NC 데이터, 2) 기준점과 초기 피삭체 형상을 입력으로 다음 다섯개의 산출물을 생성한다: 1) 최적 절삭조건과 최소 급송이송을 갖는 고성능의 NC 데이터, 2) 개별 NC 파일들을 결합한 ATC 파일, 3) 진도부하 관리를 위한 가공시간 예측치, 4) 돌링 목록, 5) OMM 파일. NC-data Handler의 개념적인 구조가 Fig. 8에 나타나 있다.

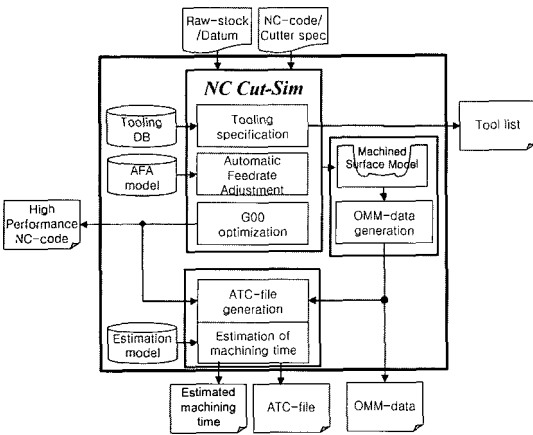
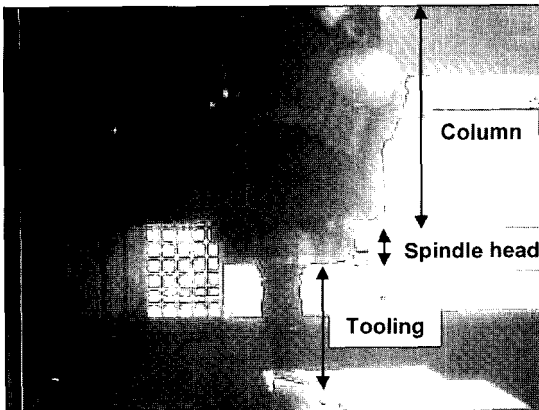


Fig. 8. Architecture of NC-data handler

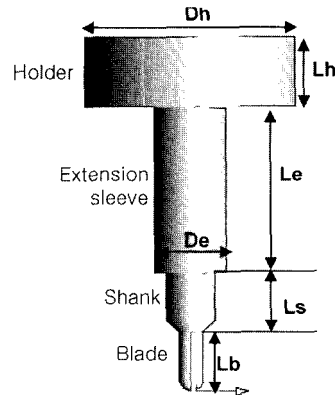
NC 데이터의 모의가공을 기반으로 명목 NC 데이터를 정해진 툴링의 최대 성능 NC 데이터로 필터링한다. 모의 가공에 관한 세부 내용은 본 연구의 범위를 벗어나는 것으로써, 관심있는 독자는 [10]을 참고한다. 돌링 사양을 결정할 때는 홀더, 슬리브, 생크, 절삭공구 날 등 공구 조립체 뿐 아니라 주축, 칼럼, 헤드 등 설비의 형상도 고려해야 한다(Fig. 9 참조).

OMM 데이터 생성은 NC 가공을 위한 CL 데이터 생성과 유사하며, OMM-probe 조립체는 돌링 조립체에 대응된다. OMM은 매 NC 가공 직후마다 수행할 수 있으므로, OMM 파일은 NC 파일과 함께 ATC 파일로 결합된다. 따라서, NC 가공과 OMM 측정의 기술적인 문제를 반영하는 세심한 계획이 요구된다.

일단 NC 파일들과 OMM 파일들이 결합되면, 명목 가공 및 측정시간 계산은 자명하다. 그러나 자유곡면 가공에서 실가공시간은 명목시간과 큰 차이를 보인다. 가공시간 예측은 많은 실험적인 조사가 요구되고, 좀 더 자세한 사항은 [11]을 참조한다. OMM 관련 기술적인 이슈들은 [12]를 참조한다.



(a) Machine



(b) Tool assembly

Fig. 9. Machine and tool-assembly geometry for tooling specification.

#### 4. 지능형 금형 공장의 효과

저자들은 본 연구에서 제안한 IMS 프레임워크를 금형 공장에 적용하기 위하여 1년반 정도 국내 사출 금형 공장과 연구를 수행하고 있다. 회사의 경영관련 논의에서 과정에서 Fig. 10에 나타난 6가지의 영역을 IMS 실현의 효과를 표현하는 KPI(key performance indexes)로 정의 되었다.

여섯개의 KPI는 1) 무인가공비율, 2) 요구속련도 수준, 3) 설비 가동률, 4) 가공 효율성, 5) 가공 품질, 6) 납기 능률이다. 연구수행 이전에는 무인가동률이 35% 수준이고, NC 작업자 스스로 가공 업무를 수행할 수 있을 때까지 5년 정도의 경력이 필요하고, 하루 20시간 이상 설비 가동을 목표로 약 14시간 정도 가동되어 평균 가동률이 70%인 실정이었다. 궁극적인 IMS의 목표는 하루 20시간 이상 설비를 가동하면서, 셋업, 틀링을 제외한 작업은 무인으로 수행하고 각 작업자는 6개월 정도의 교육으로 실무 투입이 가능하도록 하는 것이다.

가공 효율성은 NC 설비의 능력을 최대한 활용할 때를 100%로 정의하고, 가공 품질은 형합 시간으로 측정하며, 납기 능률은 금형 제작 기간 동안에 걸쳐 납기 준수율로 정의한다. IMS는 최대 가공 능률(100%)로 5시간 이하의 형합시간을 만족할 만한 가공품질, 100% 납기 준수율을 목표로 한다.

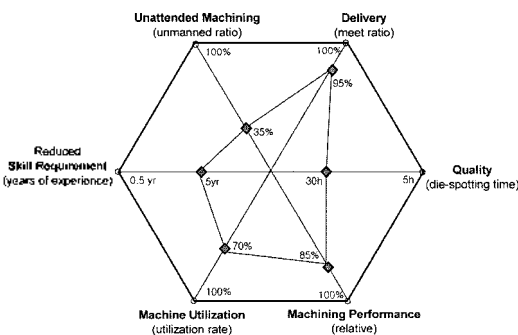


Fig. 10. Raider chart for the KPI of IMS.

#### 5. 결론 및 토의

본 연구에서는 금형 공장들이 직면한 문제들을 해결하기 위한 방안으로 지능형 금형공장 구축에 대한 접근 방법을 제시하였다. IMS를 구축하기 위해서 숙련 기반 작업들을 시스템 기반 작업들로 변환하는 것이 필요했고, 이 문제는 기술적인 것보다 사회적, 경제적인 이슈가 더욱 중요하다. 국내 금형 업체와의 협업을 통해서 IMS를 구축하는 대부분의 요소 기술들은 개발되었으나, 이들을 이용한 지능형 시스템 구축은 최종 사용자들의 협조가 필요하다는 것을 발견하게 되었다.

Fig. 4의 TO-BE model을 구체화하기 위해서, 세 개의 "IMS S/W systems"이 개발 및 적용 중에 있다. Loading Schedule Station은 이미 개발되어 현장 데이터로 테스트 중에 있고, Real-time Monitoring Station (Fig. 5) 프로토타입은 적용이 임박한 시점이고, Technical Data Processing Station(Fig. 6)은 현장 적용 중이다. 우리는 제안한 IMS 프레임워크가 전체 규모로 개발이 가능할 것으로 믿는다. 그러나 제안한 IMS 프레임워크를 전체 규모로 구체화 즉, 적용하기 위해서는 많은 실험적 연구가 필요하고, 특히 가공상황 모니터링[13], 가상 형합, 셋업 계획, OMM 데이터 생성 및 이송을 자동 조정 등에 대한 적용을 통한 실험적 연구가 요구된다.

#### 감사의 글

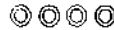
본 연구는 산업자원부 국제 IMS 프로그램(과제명: 무인가공 기반의 지능형 금형공장 구축)의 지원으로 연구 되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] Kim, J. D., Lee, H. S., Kim, B. K., Kim, J. S., Heo, Y. M., Lee, S. H., Lee, W. R., Survey report on the competitiveness of die and mold company, Korea Trade Commission, 2004 (in Korean)
- [2] Holonic Manufacturing System (HMS) consortium, <http://hms.ifw.uni-hannover.de/>



- [3] Choi, B. K., Kim, D. H. and Hwang, H., Gantt chart based MES for die & mold manufacturing, Proceedings of IFIP WG5.7 Working Conference on Managing Concurrent Manufacturing to Improve Industrial Performance, Seattle, WA, 11-15, September, 1995, pp 105-114.
- [4] Choi, B. K., Kim, B. H., MES (manufacturing execution system) architecture for FMS compatible to ERP (enterprise planning system), International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 15, No. 3, 2002, pp 274-284
- [5] Lee, J. W., Development of PC camera-based monitoring system for NC milling, KAIST Master's Thesis, 2003 (in Korean)
- [6] Song, S. Y., NC machining state detection using image and sound processing techniques, KAIST Master's Thesis, 2005 (in Korean)
- [7] Joneja, A., Chang, T.-C., Setup and fixture planning in automated process planning systems, IIE Transactions, Vol. 31, 1999, pp 653-665
- [8] Yau, H.-T., Menq, C.-H., Automated CMM path planning for dimensional inspection of dies and molds having complex surfaces, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 35, No. 6, 1995, pp 861-876
- [9] Zicmian, C. W., Medeiros, D. J., Automating probe selection and part setup planning for inspection on a coordinate measuring machine, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 11, No. 5, 1998, pp 448-460
- [10] Choi, B. K., Jerard, R. B., Sculptured surface machining: theory and applications, Kluwer academic publishers, 1999
- [11] Heo, E. Y., Kim, B. H., Kim, D. W., Estimation of sculptured surface NC machining time, Transactions of the society of CAD/CAM engineers, Vol. 8, No. 4, 2003, pp 254-261 (in Korean)
- [12] Choi, J. P., Min, B. K., Lee, S. J., Reduction of machining errors of a three-axis machine tool by on-machine measurement and error compensation system, Journal of Materials Processing Technology, 2004, pp. 2056-2064
- [13] Cho, D. W., Lee, S. J., Chu, C. N., The state of machining process monitoring research in Korea, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 39, 1999, pp 1697-1715



이 논문은 지난 6월 20-24일 태국에서 열린 CAD '05 학술대회에서 발표되었으며 Computer-Aided Design and Applications에 게재될 예정입니다. 이 논문은 영문으로 된 논문을 공저자인 VMS 솔루션즈의 고기훈 박사가 번역하였습니다. 이 논문을 CAD/CAM 학회지에 게재하는 것을 허용해 주신 저자분들께 감사드립니다.