

CBM 기반의 사출품 품질 관리 시스템

박흥석*, 김종수⁺

(논문접수일 2008. 10. 26, 심사완료일 2009. 3. 9)

Quality Control System Based on Cbm in Injection Molding Product

Hong-Seok Park*, Jong-Su Kim⁺

Abstract

Most of automotive plastic parts are injection molding products. Inspection of total product is impossible, because number of product to inspect is too many and various. Condition-based Monitoring was proposed to decrease cost and time for inspecting. In this research, a system that predicts quality of part at fabrication point of time, and confirms informations through the internet was developed. Cavity sensors were installed inside of mold, and gathered signals as measuring, and through this process Sensor-based Monitoring system can be observed manufacturing of a part. Monitoring system transmits signals to client through the internet, and finally developed system provides manufacturing informations and predictions of quality as web-based monitoring.

Key Words : Analytic hierarchy process(분석적 계층과정), Condition based monitoring(상태모니터링), Data acquisition(데이터수집), Failure tree Analysis(고장계통분석), Quality prediction(품질예측)

1. 서론

자동차 한 대에는 2만 여개의 부품들로 구성되어 있으며, 이들 부품들의 생산과 조립시간 및 비용을 절감하기 위해서 완성차 업체에서는 이들 부품을 협력업체로 나누어 생산하고 있다. 특히 오늘날과 같이 모듈화 개념이 일반화 된 시점에서 불량률 가진 단품은 모듈화 된 조립품의 불량률로 이어지고, 이는 나아가 완성차의 불량률을 야기한다. 따라서 완성차 및 모듈부품을 생산하는 업체에서는 각 부품의 품질검사

에 큰 관심을 가지고 있다.

현재 국내의 H사와 K사 완성차 조립업체에서 수행되고 있는 품질 검사는 공급자 품질인증제도(Supplier-Quality Mark)라는 인증 제도를 통해 관리되고 있다. 2, 3차 이하의 협력업체에서는 이러한 인증을 받아야만 완성차 이하 1차 협력업체에 부품을 공급할 수 있다. 그러나 대부분의 영세한 중소기업에서는 이러한 인증을 받았더라도 자체적으로 처리하기 어려운 물량을 맞추기 위해 문어발식 협력업체, 즉 인증을 받지 않은 여러 업체들로부터 부품을 분담해서 공급해

* 울산대학교 기계자동차공학 (phosk@ulsan.ac.kr)
주소: 680-749 울산광역시 남구 대학로 102 울산대학교
⁺ 울산대 기계자동차공학

일반적인 사출기의 상태정보는 주로 사출기의 스크류의 말단에 위치한 노즐에서 측정되는 사출 압력과 게이트 부근에 설치되어 있는 온도센서를 통해 알 수 있다. 그러나 이러한 정보는 단순히 설비의 고장 정도만을 알 수 있을 뿐, 성형되는 제품의 품질 정보는 알 수가 없다. 본 연구에서 목표로 하는 것은 제품의 품질 정보를 모니터링 하는 것이므로 기존 CBM을 성형되는 제품의 품질 예측에 적용하기 위해서는 기존 모니터링 시스템과는 차별화되는 부가적인 기능이 필요하다. 즉, 제품의 불량률을 CBM에서의 설비 혹은 공정的高장상태로 정의하고 이러한 고장에 대한 상태정보를 데이터베이스(Database)화하여 기존의 모니터링 시스템에 추가하는 것이 필요하다. Fig. 3은 기존 방식의 모니터링과 개발 시스템의 모니터링의 차이점을 나타내고 있다. 기존의 모니터링 시스템은 설비의 현 상태나 조건만을 모니터 상에 표시하고 만일 기기의 오작동이나 이상이 감지되면 공정을 차단하는 것만 작동하지만, 개발 시스템은 고장 상태에 대한 데

이터베이스를 구축하여 기기의 이상이나 제조 공정에 정상적이지 않은 정보가 전송되면 이를 진단 알고리즘을 통해 어떤 고장이나 불량이 발생했는지를 작업자가 실시간으로 확인할 수 있다.

3. 실시간 모니터링 시스템 개발

3.1 추진 전략

모니터링 시스템의 개발을 위해서는 체계적이고 합리적인 전략이 필요하다. 즉, 대상이 되는 공정에 대한 분석과 실제 구현되는 시스템의 관점에서 접근이 필요하다.

본 연구를 위한 체계적인 추진 절차는 Fig. 4와 같다. 우선 제품에 대한 기본적인 설계사양과 제품에 주로 발생하는 불량률을 조사분석하고, 제품의 발생 가능한 불량에 따른 공정 영향인자를 도출한다. 그리고 지정된 공정영향인자를 통해 각 불량에 대한 확인 및 예측을 위한 파라미터의 범위를 설정한다. 설정된 파라미터의 범위는 각 제품의 불량에 대한 기준정보로서 불량 확인을 위한 알고리즘을 통해 제품 불량 발생 여부를 판단하게 된다. 이를 실제 시스템으로 구현하기 위해서 모니터링 시스템에 적용이 되는 각 센서 및 센서로부터 수집되는 신호의 처리를 위한 각 하드웨어의 구현, 그리고 이를 실시간으로 모니터링 하기 위한 네트워크의 구축이 이루어진다.

3.2 제품 분석

3.2.1 제품 및 성형 불량

본 연구의 대상이 되는 제품은 Console Armrest의 커버이다. 제품의 기본적인 사양은 Table 1에 나타내었다.

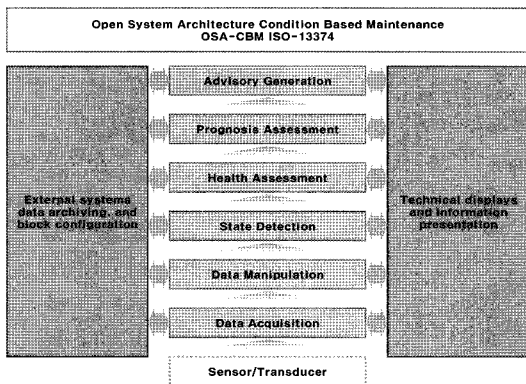


Fig. 2 Open System Architecture Condition Based Maintenance

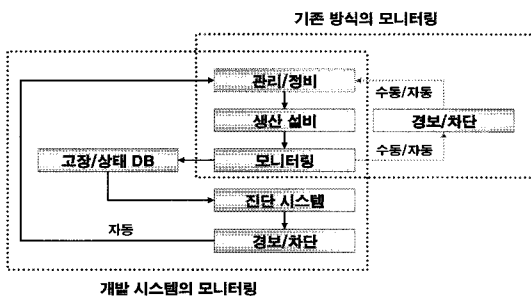


Fig. 3 Comparison of Developed System with Exist Monitoring



Fig. 4 Development Strategy of Monitoring System

Table 1 Specification of Console Armrest

Console Armrest		
구분	사양	단위
수지 종류	HSPP	-
체적	381.7	cm ³
중량	0.369	kg
금형방식	표준금형(2단금형)	-
러너	Hot-runner	-

연구 개발을 위해 설계된 이 제품은 양산 중의 다른 제품과는 달리 제품의 생산이력이나 시험 사출 등의 참고 자료가 없어 제품의 3D 모델링으로부터 사출 성형해석결과를 참고로 성형을 위한 공정설계를 수행하였다. Console Armrest의 사출 성형해석에는 Moldflow 6.1의 상용툴을 이용하였다.

Console Armrest의 개발자 및 실제 사출 업체에서 종사하는 작업자의 인터뷰를 통해 본 제품과 유사한 제품에서 주로 발생 가능한 불량은 미성형, 수축에 의한 제품의 휨이 주로 발생하며 이는 본 제품에서 발생할 수 있는 전체 불량량의 70~90%를 차지한다고 한다. 또한 부가적으로 과도한 압력의 설정이나, 계량에 의한 과충진 혹은 플래시(Flash)의 발생이 미성형, 휨의 뒤를 따른다고 한다.

3.3 성형 불량 영향인자 도출

3.3.1 각 불량에 따른 FTA(Failure Tree Analysis)

본 연구의 목표가 제품에서 발생 가능한 불량량의 예측 및 감지이므로 이를 위해서는 우선 이들 성형 불량에 대한 분석 및 불량량의 요인과 공정 인자의 관계를 도출하고 이를 통해서 불량 예측을 위한 모니터링 변수를 결정해야 한다. 그러기 위해서 미성형, 휨 등의 성형 불량에 대한 요인분석 및 각 불량을 해결하기 위한 특성요인분석(Fishbone-diagram)을 수행하였다.

Fig. 5는 Console Armrest의 성형 불량에 대한 요인분석을 위한 FTA(Failure Tree Analysis)를 나타낸다. 가장 상위에 성형 불량을 결정하고 그 하위에는 불량에 대한 1차~4

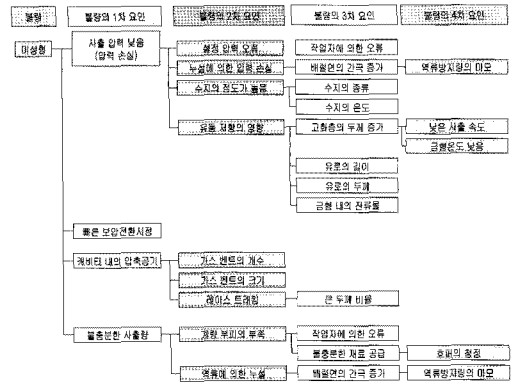


Fig. 5 Failure Tree Analysis of short-shot

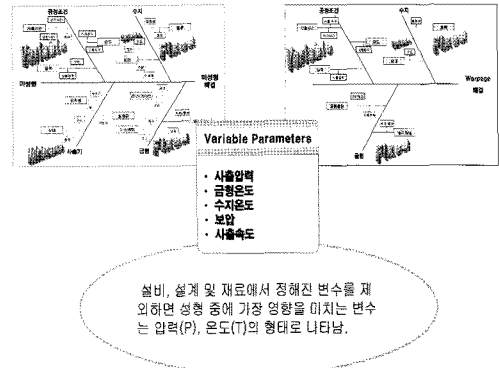


Fig. 6 Fish-Born Diagram for Failures

차까지의 요인을 나열하여 각각의 요인들에 대한 하위 요인들을 열거하여 Failure Tree를 구성한다. 각각의 상위 요인과 하위 요인은 요인을 발생시키는 원인과 결과로써(Cause & Effect) 다루어진다.

3.3.2 특성요인분석

한편, 이들 중에서 공정조건을 제외한 재료(수지)나, 성형기, 금형 등은 이미 설계 단계에서 문제점들을 해결했거나, 이후에 문제가 발생된다하더라도 일반적으로 그 대안으로 공정조건을 변화시켜 해결할 수 있기 때문에 값이 변하지 않는 상수로 취급을 하고, 성형품이 양산되는 시점에서도 변경할 수 있는 것이 공정조건이라고 하면, 공정조건을 변수로 취급할 수 있게 되어, 결국 이것을 모니터링 시스템에서 관리되어야 할 인자로 결정하였다.

Fig. 6에서 변수로 나타낸 인자들은 각 불량에 대한 특성요인의 결과로 결정된 인자들이다. 이는 사출 성형 공정 중

에서 캐비티 내부의 압력과 온도의 함수로 나타난다.

3.3.3 AHP(Analytic Hierarchy Process)분석

Fig. 6의 Console Armrest의 각 불량에 대한 특성요인분석은 각 성형 불량을 발생시키는 요인에 대한 정성적인 분석의 결과에 지나지 않는다. 즉, 어떤 공정영향인자가 좋다, 나쁘다 혹은 영향을 미친다, 미치지 않는다는 정도의 결과만 알 수 있을 뿐, 일반적으로 각 공정영향인자의 우선순위에 대한 이해는 특성요인분석을 수행한 본인 외에는 이해하기가 어렵다. 따라서 이를 정성적 분석이 아닌 정량적인 수치를 가지화 할 수 있는 분석 기법이 필요하다. 이를 위해 AHP(Analytic Hierarchy Process)를 활용하여 결과를 도출하였다.⁽¹⁰⁾

성형 제품의 불량을 시스템의 문제로 보고 각 시스템의 평가요소를 제품, 금형, 성형조건, 재료, 성형기의 5가지 상위 레벨의 특성으로 설정하여, 각 특성에 대한 하위 인자를 묶어 Table 2를 완성하였다.

이 중 평가요소들의 첫 번째 계층인 Compound Attribute 들을 중요도에 따른 가중치를 부여한다.

각각의 특성에 부여된 가중치는 Pairwise Comparison을 통한 행렬로 나타내어 Initial normalized weight vector를 곱하여 weight vector를 산출한다. 구해진 weight vector로

Table 2 Analytic hierarchy Process

시스템 평가요소				
제품 (C1)	금형 (C2)	성형조건 (C3)	재료 (C4)	성형기 (C5)
두께비율 (A1)	통기구멍 (A3)	사출속도 (A7)	불순물 (A14)	청정(A18)
제품형상 (A2)	게이트 (A4)	사출압력 (A8)	건조도 (A15)	체크링마모(A19)
	이형제 (A5)	금형온도 (A9)	재사용률 (A16)	형체력 (A20)
	냉각채널 (A6)	노즐온도 (A10)	종류(A17)	
		보압 (A11)		
		보압시간 (A12)		
		냉각시간 (A13)		

Table 3 Result of AHP for Injection Molding Process

Compound Attribute	weight	Attribute	weight		
제품	0.146	두께비율	0.109		
		제품형상	0.036		
금형	0.190	통기구멍	0.033		
		게이트	0.066		
		이형제	0.046		
		냉각채널	0.045		
		사출속도	0.024		
성형조건	0.526	사출압력	0.184		
		금형온도	0.120		
		노즐온도	0.057		
		보압	0.087		
		보압시간	0.037		
		냉각시간	0.017		
		재료	0.078	불순물	0.022
				건조도	0.012
재사용률	0.007				
종류	0.028				
성형기	0.061	청정	0.033		
		체크링마모	0.018		
		형체력	0.010		

부터 normalized weight vector를 산출하고, 이로부터 이전 단계의 weight vector와의 차이가 안정조건(satisfy)에 수렴하도록 계산을 반복한다. 여기에서 각각의 하위 계층에 대해 위의 과정을 반복하면 Table 3의 결과를 산출할 수 있다.

3.4 불량 영향인자 변수값 선정

기준정보는 양품의 제품이 생산될 수 있는 조건과 각 불량에 따른 압력과 온도의 범위로 표시된다. Table 4에는 모니터링 시스템의 가동상태 기준 정보를 나타내었다. PM, PI, TS로 표현된 각 항목은 최대압력, 압력적분, 금형 표면온도를 나타낸다. PM과 PI는 측정 압력의 최대값과 적분값이다.

미성형과 같은 성형 불량인 경우, 불량이 발생했을 경우 가시적으로 확인이 가능하다. 과충진은 Fig. 7과 같이 육안으로 버(burr)가 확인되거나 제품의 중량을 확인해봄으로써 확인이 가능하다. 그러나 수축에 의한 제품의 휨이 발생했을

Table 4 Operation Standard for Injection Process

구분	압력		온도
표기	최대압력, PM(bar)	압력적분, PI(bar)	표면온도, TF(°C)
양품	12 ≤ PM < 17	180 ≤ PI < 310	40 ≤ TF < 63
미성형	PM < 12	PI < 180	별도 지정 없음
과충진	PM ≥ 17	PI ≥ 310	별도 지정 없음
Warpage	별도 지정 없음	별도 지정 없음	TF ≥ 63

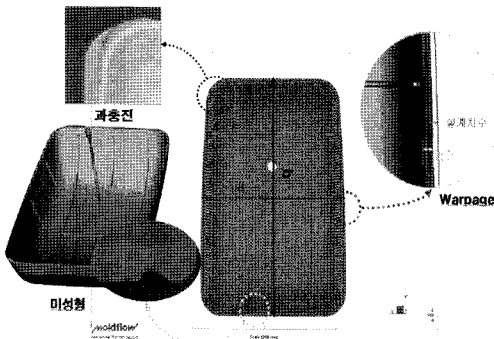


Fig. 7 Failures of Console Armrest

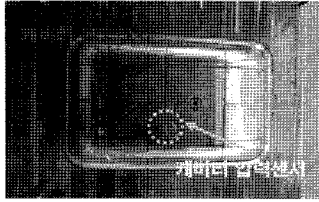
경우에는 심한 경우가 아니고는 직접적인 확인이 어렵고, 본 연구개발을 위한 Console Armrest의 경우 휨이 발생했다 하더라도 양품과 불량품의 구분을 위한 기준이 정해지지 않아서, 성형 해석 결과를 토대로 임의의 가정을 통해 불량 판단을 위한 기준을 정의하였다. 성형 해석 결과를 참고하여 대상 제품의 경우, 설계치수와 Fig. 7의 a의 변형량이 2mm 이상일 때 휨 불량으로 가정하였다. Console Armrest의 설계 도면으로부터 a의 치수는 195.25mm이다.

3.5 모니터링 시스템 구축

3.5.1 센서 및 센서의 위치 결정

센서 기반의 모니터링 시스템에서는 측정 정확도, 온도 의존도, 응답시간, 센서의 크기, 그리고 Console Armrest의 공정 및 금형에서 요구하는 사양을 고려하여 캐비티 압력센서와 온도센서를 채택하였다. 본 연구개발 시스템의 구축을 위해서 직접 측정 방식의 PRIAMUS사의 캐비티 내압 측정용

Table 5 Position of Cavity Sensors

	
캐비티 압력센서 설치 위치	게이트 부근 13.41mm
캐비티 온도센서 설치 위치	게이트로부터 [-130,-45] 좌표

센서인 6001A1.2 표준 캐비티 압력센서와 4003B4.5 캐비티 온도센서를 채택하였다. 압력센서는 압전 방식의 대역폭 ~100kHz, 600°C의 고온에서도 견딜 수 있고, 온도센서는 유효 측정 범위 0~200°C의 측정이 가능한 N 타입의 열전센서이다.

일반적으로 두께가 두꺼운 제품의 경우 두께 방향으로 용융수지가 고화층을 이루면서 흘러들어가게 되는데, 이러한 고화층의 영향으로 압력강하가 발생한다. 이러한 압력 강하를 최소화하기 위해 압력센서는 게이트 부근에 설치하여야 한다.

온도센서의 경우 금형 말단부의 수지 흐름을 확인하기 위해 게이트와 가장 먼 거리에 설치하였다. 그러나 금형의 형상 및 내부의 부수적인 요소들, 예를 들어 핫-러너, 밀핀 등이 설치된 위치를 피해 Table 5에 나타난 바와 같이 설치하였다.

3.5.2 기타 하드웨어 설정

센서 기반의 모니터링 시스템은 센서를 통해서 측정 및 수집되는 아날로그 신호를 디지털로 변환하여, 모니터링 PC를 통해 확인할 수 있다. Fig. 8은 본 연구개발 모니터링 시스템의 하드웨어 설정을 나타낸 것이다. 앰플리파이어(Amplifier)는 압력, 온도의 각 1채널씩 2개 채널의 입력 포트를 통해 센서의 신호를 받아들인다. DAQ는 앰플리파이어로부터 전송된 신호를 디지털 신호로 변환하고, 별도의 노이즈(Noise) 감쇄를 통해 필터링 된 신호를 PC로 전송한다.

3.5.3 웹 기반의 모니터링 시스템

제품의 생산시점 상태정보를 활용하여 품질 상태를 예측하고 이를 관리하는 것을 고객사와 공유하여 전사적 측면의

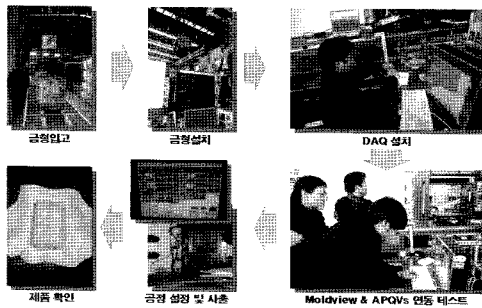


Fig. 12 Procedure of Tryout

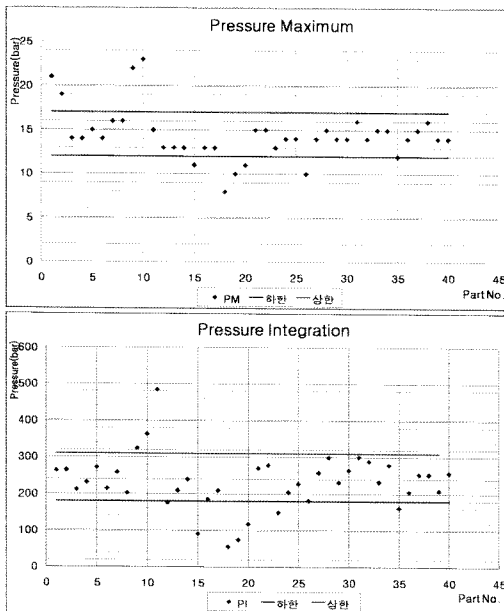


Fig. 13 Results of Tryout

4.2 현장 검증 테스트의 결과 및 분석

제품 상태는 모니터링 시스템의 Data Base로부터 불러 오는 값과 실제 성형품의 품질 상태를 비교하여 나타내었다. 과충진과 미성형의 경우 불량률이 발생했을 때, 육안으로 확인할 수 있기 때문에 별도의 측정 없이 품질상태를 나타낼 수 있었다.

Fig. 13의 미성형과 과충진의 경우, 실제 제품에서 발생한 성형 불량과 모니터링 화면상에서 나타나는 불량률의 비교를 했을 때, 미성형의 경우 약 90%(표본 40개중 36개 일치), 과충진의 경우 약 97.5%(표본 40개중 39개 일치)의 정확도를 나타내었다.

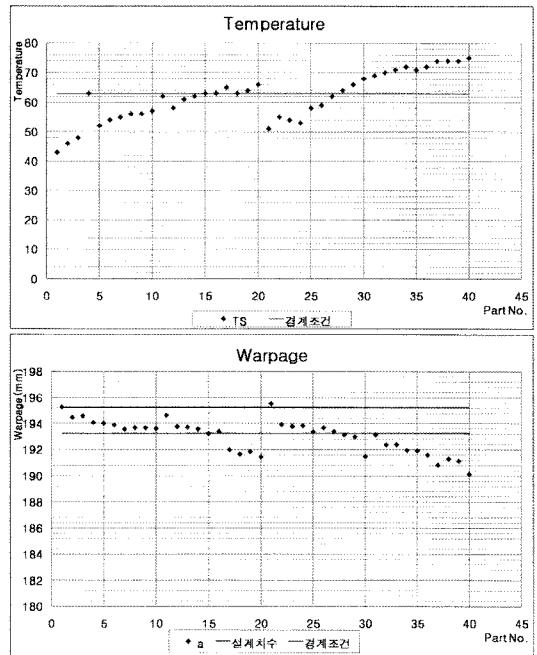


Fig. 14 Results of Tryout

Fig. 14의 Warpage 그래프는 빨간색으로 표현되는 아래쪽의 경계조건을 기준으로 경계조건에 못 미치는 측정값을 나타낸 제품들이 모두 불량으로 나타난다. 이는 Fig. 14의 온도 분포에서 경계조건인 63°C를 넘어서는 제품에서 Warpage가 발생했다고 볼 수 있다. Warpage의 경우 약 97.5%(표본 40개중 39개 일치) 데이터의 정확도를 나타내었다.

5. 결론

자동차 부품을 생산하는 협력업체와 완성차 업체 간의 품질 검사 과정에서 발생하는 병목현상을 제품 품질 예측 및 모니터링 시스템의 개발을 통해 해결하고자 하였다.

본 시스템의 개발을 위한 세부 목표로는 불량을 야기하는 공정영향인자를 파악하고, 제품을 생산하는 금형의 온도, 압력센서의 측정값을 획득하여 이를 PC에서 모니터링 하는 시스템을 개발하는 것이다. 이를 위해 사출 공정 및 설비의 기초 조사뿐만 아니라, 제품의 성형 및 불량 유형 파악을 위한 사출 성형 해석을 수행하고, 공정영향인자의 결정을 위하여 제품의 각 불량에 대한 FTA, 특성요인분석 및 AHP 분석을 수행하였다.

개발된 모니터링 시스템의 검증을 위해 실제 제품 성형

테스트를 수행하여, 수집된 측정데이터와 성형 제품의 품질을 비교하여 각 불량에 따른 본 개발 시스템의 신뢰도를 평가하였다.

본 개발 시스템은 완성차 업체에서 협력업체의 제품 생산 정보를 실시간으로 확인하고, 관리하는 시스템으로 활용이 가능하다. 원격지의 공정정보를 실시간 모니터링 할 수 있으므로 사출 성형품을 생산하는 업체뿐만 아니라, 국내·외에 공장이 분산되어 있는 회사 또는 협력기업과의 공조체제로 제품을 생산하는 SCM 기업들을 대상으로 확장이 가능하다.

후 기

이 논문은 2007 울산대학교의 연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- (1) Park, H. S., 2007, "Advancement in Injection moulding Technology," Technical paper in 40th CIRP INTERNATIONAL SEMINAR on MANUFACTURING SYSTEMS, Liverpool, UK.
- (2) Bengtsson, M., Olsson, E., Funk, P., and Jackson, M., 2004, "Technical Design of Condition Based Maintenance Systems - A Case Study using Sound Analysis and Case-Based Reasoning," The 8th Conference of Maintenance and Reliability, Knoxville, USA.
- (3) Wang, L. and Gao, R. X., 2006, *Condition monitoring and control for intelligent manufacturing*, Springer-Verlag, New York.
- (4) Min, H. S., Lee, S. H., and Ahn, S. E., 2002, "Monitoring of Laser Fusion Cutting Using Acoustic Emission," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 11, No. 3, pp. 39~44.
- (5) Jeon, B. C., Shin, B. C., Choi, J. H., and Cho, M. W., 2006, "A Study of the Web based Process Monitoring and Control System Development for Mold Manufacturing Process," *Korean Society of Machine Tool Engineers Spring Conference 2006*, pp. 372~378.
- (6) Kothamasu, R., Huang, S. H., and VerDuin, W. H., 2006, "System health monitoring and prognostics - a review of current paradigms and practices," *Int J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 28, pp. 1012~1022.
- (7) Bengtsson, M., 2003, "Standardization Issues in Condition Based Maintenance," The 16th Conference of Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management, Sweden, Växjö: Växjö University Press.
- (8) Bengtsson, M., 2007, *Condition based maintenance and its implementation in industrial settings*, Ph.D. thesis, Malardalen university, Sweden.
- (9) Bengtsson, M., 2004, "Condition Based Maintenance Systems Technology - Where is Development Heading?" The 17th Conference of Euromaintenance, Spain, Barcelona: Puntex-Publicaciones.
- (10) Golden, B. L., Wasil, E. A., and Harker, P. T., 1989, *The Analytic Hierarchy Process, Application and Studies*, Springer-Verlag, New York.