

영상변화판별 알고리즘을 이용한 NC 가공시간 집계

고기훈*, 김보현**, 최병규***

*(주)브이엠에스 솔루션스 기술연구소

**한국생산기술연구원 디지털 생산시스템 본부

***한국과학기술원 산업공학과

e-mail:fish@mail.vms-solutions.com

Collection of NC Machining Time using Scene Change Detection Algorithm

Keyhoon Ko*, Bo Hyun Kim** and Byoung Kyu Choi***

*Technical Research Center, VMS Solutions Co., Ltd.

**Digital Manufacturing System Center, KITECH

***Department of Industrial Engineering, KAIST

요 약

금형공장의 생산 일정관리에 있어서 실제 가공작업에 대한 실적데이터의 집계는 매우 중요하지만, 이러한 작업상황을 기록하는 것에 대해서 현장 작업자는 비협조적이고 반감을 갖고 있는 실정이다. 현장에서는 작업자의 개입없이 CNC 장비의 컨트롤러와의 직접적인 인터페이스를 통해서 신호를 추출하고 자동으로 작업상황을 파악할 수 있는 시스템을 구축하려고 시도하고 있지만, 컨트롤러 메이커마다 다르게 적용해야 하고 많은 비용을 요구한다. 이러한 이유로 본 연구에서는 저가의 PC 카메라를 장비에 설치하여 가공상황에 대한 동영상상을 수집하고 영상처리 알고리즘을 적용하여 가공시간을 집계하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 CNC 컨트롤러에 독립적으로 운용되며 저렴하게 시스템을 구축할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 무인가공과 유인가공 상황에 시범적으로 적용 및 운영함으로써 시스템의 활용가능성을 살펴보았다.

1. 서론

금형제작에서의 일정계획은 정해진 납기를 제약 조건으로 자원 활용을 최적화 할 수 있는 제조공정의 순서를 결정하는 문제이다. 그렇지만, 금형제작공정의 복잡성과 설계변경을 포함한 수정 및 재작업과 같은 긴급을 요하는 돌발상황 때문에 주간 단위의 일정계획에 따라 제조공정을 수행하기가 현실적으로 불가능하다. 따라서 현재 제조현장에 투입된 금형들에 대한 개별 진척 상황을 반영하여 일간 단위로 일정계획을 수립하고, 현장 실적데이터를 반영하여 일정계획을 변경하면서 관리하는 방법이 선호되고 있다. 이러한 일간단위의 일정관리를 효율적으로 수행하는데 있어서 무엇보다 더 중요한 것은 각 제조공정의 소요시간을 정확하게 예측하고 실제 작업시간을 수집하여 반영하는 것이다.

NC 데이터는 공구의 이동경로, 이송속도 및 회

전수 정보를 포함하고 있기 때문에 명목 가공시간(nominal machining time)은 정확하게 계산할 수 있다. 그렇지만 명목 가공시간은 CNC 가공장비의 가감속 효과와 같은 기계적인 특성을 반영하고 있지 않기 때문에 실제 가공시간(actual machining time)과는 많은 차이가 있다. 자유곡면의 가공과 같이 가감속 효과가 많이 나타나는 경우, 실제 가공시간은 명목 가공시간의 3배 이상이 되기도 한다[1].

지금까지 수행된 가공시간의 수집 방법은 대부분 NC 컨트롤러에 의존적이다. 즉, NC 컨트롤러 메이커가 제공하는 라이브러리를 이용하거나[2], PLC(programmable logic controller) 신호를 중간에서 취득하여 처리하는 방법[3] 등이 대표적이다. 라이브러리를 이용하는 방법은 최신의 일부 CNC 장비에서만 지원되고 있으며, 신호를 취득해서 처리하는 방법 역시 비교적 정확하다는 장점이 있으나 범용성

이 낮고 주변 환경에 따라 신호안정성에 문제가 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 이유로 본 연구에서는 CNC 컨트롤러에 독립적이면서도 저렴하게 시스템을 구축하는 방법을 제안하였다. 즉, 제안된 방법은 저가의 PC 카메라를 CNC 가공장비에 설치하여 가공상황을 동영상으로 수집하고 영상처리 단계를 거쳐서 가공시간을 집계하는 것이다. 본 연구에서는 제안된 방법을 시스템으로 구현하여 실무에 시범 적용함으로써 제안된 방법의 타당성을 검증하고 한계를 살펴보았다.

영상처리 단계에서 가공설비의 움직임과 작업자의 움직임이 전혀 없는 상태가 일정시간 이상 지속될 경우, 이를 설비의 유휴상태라 정의하였다. 하루 24시간에서 설비의 유휴시간을 제외한 나머지는 실제 가공시간과 작업자의 가공준비 시간이 되며, 실제 가공시간은 개별 NC 파일의 가공시간의 합을 나타낸다. 본 연구에서 관심을 갖고 수집하고자 하는 정보는 개별 NC 파일의 가공시간과 설비의 유휴시간이다.

2. NC 가공 환경 및 가공 상태 정의

2.1 실험 환경 및 가공상태(machining state) 정의

대상 가공 설비는 Makino사의 GF8 모델로써, 공구 매거진에 최대 20개의 공구를 장착하고 자동 공구교환 장치(ATC: automatic tool changer)를 이용하여 공구를 교환할 수 있다. 주요 가공물은 자동차 램프용 렌즈와 반사경 금형으로써, 직경 1~63mm의 공구를 사용한다. 평균적으로 셋업 1시간, 가공 20시간 (10개의 공구로 15개의 NC파일 가공 기준), 작업물 해체 및 청소 2시간 정도 소요된다. PC 카메라는 주축과 테이블의 움직임을 감지할 수 있도록 고정된 위치에 설치하고, pan, tilt, zoom 기능은 사용하지 않는다. 초점이 고정된 영상을 WMV (windows media video) 포맷으로 저장하고, 오프라인에서 분석한다.

NC 가공에서의 가공상태는 <표 1>과 같이 정의할 수 있으며, 음성 처리된 “유휴”와 “가공” 상태의 시간을 집계 한다. “셋업”의 세부 상태인 1.1과 1.2는 각각 보통 50분, 3분정도 소요되고, 1.3은 NC 전송시작 명령만 컨트롤러에 지령하면 된다. “가공”은 하나의 NC 파일(첫번째 NC 블록에서 마지막 블록까지)의 수행시간을 의미하며, 2.3은 보통 3분정도 소요되나 공구 준비가 안되는 등의 이유로 유휴상태로 전이될 수 있다. “공구 교환”은 공구를 교환하고,

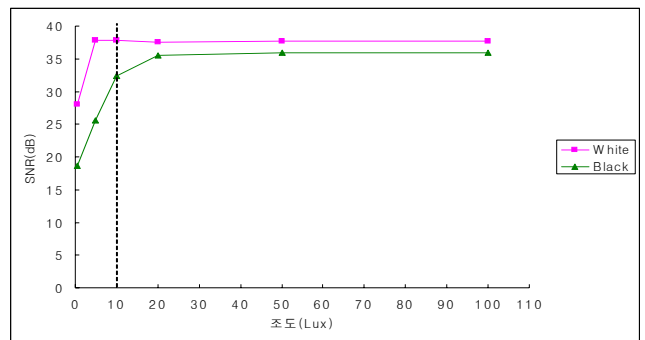
약 100초간 워밍업을 수행한 후, 공구장을 보정하여 “가공” 상태로 연결된다. 작업자가 직접 수행하거나 ATC를 활용할 수 있으며, 보통은 3분이내에 완료된다. 전체 NC 파일의 가공이 완료되면, 가공물을 해체하여 이동하고, 테이블 청소를 수행하는데 각각 25분과 30분~2시간 정도 소요된다.

<표 1> 가공 상태 정의

State	세부 상태
유휴	0. 설비와 작업자 모두 유휴 상태로써, 작업자의 조치가 필요한 상태
셋업	1.1 피삭재 이동 및 테이블에 장착, XY축 설정
	1.2 공구장착, Z축 설정
	1.3 가공 시작
가공	2.1 작업자 개입 없이 가공
	2.2 운전중 작업자 개입: 칩제거, 절삭유 분사위치 조절, 가공확인 등
	2.3 설비를 정지하여 작업자 개입: 공구 혹은 텀 검사 및 교환
공구 교환	3. 하나의 NC 파일이 완료되고 다음 NC 파일을 위한 교환
가공 완료	4.1 가공물 해체 및 이동
	4.2 테이블 청소

2.2 카메라 사양 및 장비 교정

본 연구에서 사용하는 PC 카메라는 삼성 MPC-C10 모델로서 0.25인치 렌즈, CCD 타입, 동영상 최대 640X480 해상도, 픽셀당 24비트 컬러, 최저 조도는 6 lux, 초당 15 프레임의 전송속도를 지원한다. 실제로는 저장데이터 크기를 고려하여 320X240, 24비트 컬러, 초당 5프레임으로 동영상을 저장한다 (시간 당 약 100MB 소요). (그림 1)은 위 조건에서 조도에 따른 신호대 잡음 비율(SNR: signal to noise ratio)을 나타낸 것으로 10 Lux 이상에서 안정적으로 신호를 취득할 수 있음을 보이고 있다.



(그림 1) 조도에 따른 신호대잡음비 그래프

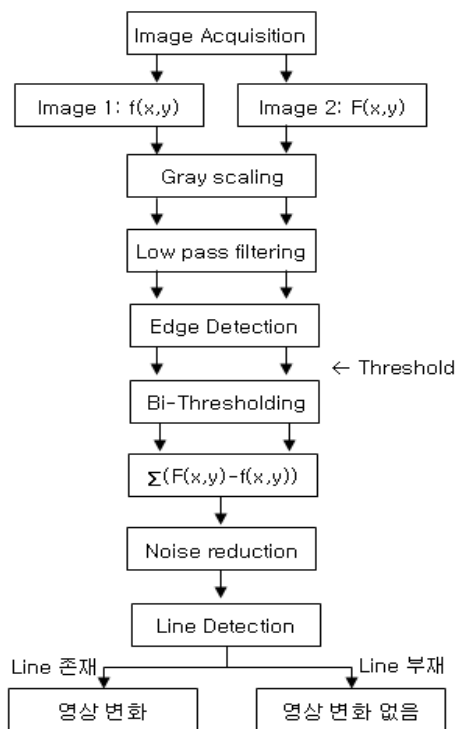
3. 영상변화판별 알고리즘을 이용한 가공시간집계

영상의 변화를 판별하는 기법으로 본 연구에서는 “에지라인(edge-line) 알고리즘”[4]과 두 프레임의 화소의 차이를 비교한 PSNR(peak signal to noise ratio) 통계량을 이용한다[5]. $f(x, y)$ 와 $F(x, y)$ 를 두 프레임의 화소를 나타내는 함수라고 가정하면, PSNR은 다음과 같이 정의된다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{(Peak\ to\ Peak\ Value)^2}{MSE} \right) \quad (1)$$

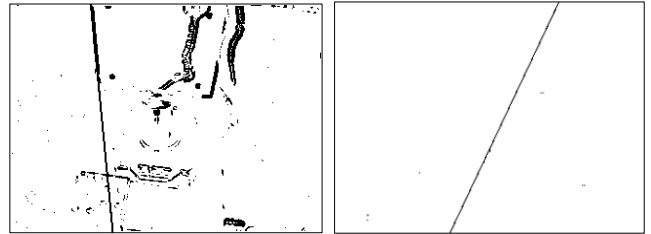
$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (f(x, y) - F(x, y))^2 \quad (2)$$

에지라인 알고리즘은 물체가 움직이면 에지의 위치가 이동하기 때문에 두 프레임의 차를 나타내는 영상에서 에지가 그대로 나타나고, 이것은 선분으로 표현된다는 점에 착안하였다. 즉, (그림 2)에 나타난 것처럼, 1) 두 프레임의 영상을 공간 평균 필터(spatial averaging filter)를 통해 잡음을 1차 제거, 2) 소벨 기법(Sobel operation)[5,6]을 이용해 각 프레임에서의 에지 계산, 3) 중간값(128)을 기준으로 0과 255의 이진값으로 영상 변화, 4) 두 영상의 차로 실제 움직인 영역의 에지만을 추출, 5) 추출된 에지를 인접 8점(8-neighborhood) 관계에 의해서 2차 노이즈를 제거, 6) 허프 변환 (Hough transform) [5,6]을 이용하여 에지에 포함된 점의 개수 최대치를 임계치와 비교하여 변화 여부를 판별한다.



(그림 2) 에지라인 알고리즘

본 연구의 에지라인 알고리즘에서는 에지에 포함된 점의 개수가 30 이상이고, PSNR 값이 35이하면 영상이 변화한 것으로 판단한다. (그림 3)은 에지라인 알고리즘에 의해 영상변화를 판별한 예제로써, 두 프레임의 차이에 나타난 에지를 선분으로 표현한 것이다.



(a) 테이블 이동(220pts) (b) 테이블 정지(4pts)
(그림 3) 테이블 이동 판별 결과(에지라인 알고리즘)

4. 적용 사례

3장의 영상변화 판별 알고리즘을 이용하여 테이블이 “이동중”인지 “정지중”인지를 판별하고, 순간적인 노이즈를 고려하여 3초미만의 상태는 무시한다. 이동 중인 상태들의 시작시간과 완료시간을 로그파일로 기록하고, 영상 재생을 통해 집계한 결과와 비교 분석하여 유효성을 검증한다.

4.1 ATC를 이용한 무인가공에서의 가공시간 집계

<표 2>는 19시간 44분간 촬영한 동영상에서 야간 무인가공을 시작한 7:09:42 지점부터 19:31:25까지의 영상을 분석한 결과로써, 표시된 시간은 동영상 시간으로 19:00:00은 아침 8시경이다. 실제 가공을 수행한 3번, 4번, 6번, 8번 NC 파일의 가공시간은 영상 재생을 통해 살펴본 실제 가공시간과 비교할 때, 20초 이하의 오차를 나타냈다. 여기서 공구를 교환할 때마다 100초 정도의 워밍업 과정과 공구장 보정을 위한 4초간의 정지 영상이 나타나기 때문에 각 NC 파일의 시작과 끝을 쉽게 탐색할 수 있다. 이번 예제에서는 “이동 중”인 상황을 “정지 중”인 상황으로 오판하는 경우는 없었지만, 정지 중인 상황을 이동 중인 상황으로 오판하는 경우는 9~17번에 나타났다. 특히 15번과 같이 29초 동안 “이동 중”인 상태를 유지한 것으로 판명된 영상은 재생에서도 특별한 사항을 발견하지 못하였다.

4.2 작업자 개입이 가능한 유인가공에서의 집계

<표 3>은 주간 4시간 동안 유인가공을 수행한 영상을 분석한 결과이다. (a)는 동영상을 재생하면서

실제 가공시간을 정리한 것이고, (b)는 가공시간 집계 알고리즘을 적용한 결과이다. 하나의 NC 파일을 가공한 다음, 청소, 공구 마모상태 및 셋업 상태 확인, 공구 교환 등의 이유로 작업자가 움직이는 모습을 “가공 중”으로 오판하였다. 따라서 작업자의 개입이 잦은 유인가공에서는 별도의 특화된 알고리즘을 개발하여 적용할 필요가 있다.

<표 2> 무인가공에서의 가공시간 집계결과

순번	시작 시간	종료 시간	소요 시간	유휴 시간	비고
[1]	7:09:42	7:09:59	0:00:17		공구교환
[2]	7:10:19	7:10:51	0:00:32	0:00:20	공구장 보정
[3]	7:10:56	7:49:21	0:38:25	0:00:05	첫번째 파일 가공
[4]	7:51:16	11:55:19	4:04:03	0:01:55	두번째 가공 + 공구교환
[5]	11:57:07	11:57:41	0:00:34	0:01:48	공구장보정 (108초 워밍업)
[6]	11:57:45	14:29:43	2:31:58	0:00:04	세번째 가공 + 공구교환
[7]	14:31:31	14:32:04	0:00:33	0:01:48	공구장 보정(108초 워밍업)
[8]	14:32:08	17:04:06	2:31:58	0:00:04	네번째 파일 가공
[9]	17:05:22	17:05:26	0:00:04		판별 오류
[10]	17:35:41	17:35:45	0:00:04		판별 오류
[11]	17:54:44	17:54:48	0:00:04		판별 오류
[12]	17:55:14	17:55:18	0:00:04		판별 오류
[13]	19:16:51	19:16:56	0:00:05		판별 오류
[14]	19:17:05	19:17:12	0:00:07		판별 오류
[15]	19:18:34	19:19:03	0:00:29		판별 오류
[16]	19:28:45	19:28:53	0:00:08		판별 오류
[17]	19:30:47	19:30:51	0:00:04		판별 오류
[18]	19:31:02	19:31:25	0:00:23		작업자 출현

<표 3> 유인가공에서의 가공시간 집계 결과

(a) 실제 가공상황

시작시간	종료시간	소요시간	세부업무
0:00:00	0:56:11	0:56:11	가공
0:56:11	1:00:00	0:03:49	청소
1:00:00	1:27:59	0:27:59	XY축 재설정
1:28:17	1:29:35	0:01:18	공구교환
1:31:20	1:45:10	0:13:50	가공
1:45:10	1:45:45	0:00:35	팁확인
1:46:22	3:05:25	1:19:03	가공
3:05:25	3:13:25	0:08:00	공구/셋업확인
3:14:47	3:16:55	0:02:08	공구교환
3:17:30	3:50:54	0:33:24	가공
3:50:54	3:54:41	0:03:47	청소
3:54:41	3:55:48	0:01:07	공구교환
3:57:54	3:59:22	0:01:28	가공

(b) 알고리즘 적용 결과

시작시간	종료시간	소요시간	유휴시간
0:00:02	1:27:15	1:27:13	
1:27:22	1:27:59	0:00:37	0:00:07
1:28:17	1:29:35	0:01:18	0:00:18
1:29:43	3:13:37	1:43:54	0:00:08
3:13:54	3:14:06	0:00:12	0:00:17
3:14:46	3:16:33	0:01:47	0:00:40
3:16:39	3:26:42	0:10:03	0:00:06
3:26:46	3:56:42	0:29:56	0:00:04
3:57:35	3:59:22	0:01:47	0:00:53

5. 결론 및 추후 연구 과제

본 연구에서는 영상변화 판별기법을 이용한 가공시간 집계 방법을 제안하고, 무인가공과 작업자의 개입이 있는 가공 상황에서의 적용 범위를 보여주었다. 짧은 시간동안 가공 중을 정지 중으로 판별하거나, 정지 중을 가공 중으로 판별한 경우가 일부 있었다. 그렇지만 무인가공에서는 전체적인 가공 이력을 요약하는데 있어서 매우 효과적이었다. 한편, 사용자의 개입이 잦은 유인가공에서는 조명의 변화나 작업자의 잦은 출현으로 인하여 영상변화 기법은 부적합한 것으로 판명되었다. 테이블과 주축을 두 개의 운동개체(moving object)로 정의하고, 이를 추출 및 추적하는 알고리즘을 활용한 방법[7]과 음향정보를 활용한 방법을 이용하는 방안에 대한 연구가 추가적으로 수행되어야 하겠다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 주관의 국제 IMS 프로그램(과제명: 무인가공 기반의 지능형 금형 공장 구축) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 허은영, 김보현, 김동원, “자유곡면 NC 절삭가공 시간 예측”, 한국 CAD/CAM 학회 논문집, Vol. 8, No. 4, pp.254-261, 2003
- [2] FANUC Korea, “FANUC Series 16/18/160/180-Model Parameter Manuel”, 1998
- [3] 큐빅테크 기술연구소, “Real Time Monitoring & Control”, CubicTRC 교육 자료, 2002
- [4] 이재원, “PC 카메라를 이용한 NC 밀링 가공의 모니터링 시스템 구축”, KAIST 석사학위논문, 2003
- [5] Anil K. Jain, “Fundamentals of digital image processing”, Prentice hall, 1988
- [6] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, “Digital Image Processing”, Prentice hall, 2002
- [7] Y. Sugaya and K. Kanatani, “Extracting moving object from a moving camera video sequence”, 10th symposium on sensing via image information (SSII 2004), Yokohama, Japan, pp. 279-284, June 2004