

# OMM에서 Offset Surface를 이용한 접촉식 Probe의 충돌회피 알고리즘 개발 및 동적 에러 보정

정석현\*, 김동우(인하대 대학원 기계공학과), 조명우(인하대 기계공학과),  
서태일(인천대 기계공학과)

## Development of Touch Probe Collision Avoidance Algorithm for OMM Using Offset Surface and Dynamic Error Compensation

S. H. Jung, D. W. Kim(Mechanical Eng. Dept. INHA U.), M. W. Cho(Mechanical Eng. Dept., INHA U.),  
T. I. Seo(Mechanical Eng. Dept., ICU)

### ABSTRACT

In this study, the inspection path which is considered to free collision is generated by offset surface. When the inspection is executed, the consideration of machine dynamic error increases a precision. Dynamic error is measured on CNC machine bed changing of weight work price. Offset surface is safety space about collision. Because the danger of probe-collision is excluded in Offset surface, it is possible to rapid feed of probe and reduced inspection time. The Program which is possible to simulate using CAIP and is confirmed through actual experiment.

**Key Words:** OMM(On- Machine Measurement: 기상측정), Offset Surface(오프셋 곡면), Collision Avoidance(충돌회피), Dynamic Error(동적 에러), CAIP(Computer Aided Inspection Planning: 측정계획)

### 1. 서론

현재 일반적인 생산공정의 형태는 설계, 가공, 측정의 순서로 이루어져 있으며 가공 후에는 3 차원 측정기와 같은 전용측정기를 이용하여 측정을 실시하고 있다. 이러한 방법은 신뢰할 수 있는 데이터를 얻을 수 있는 반면 가공 제품을 NC에서 전용 측정기로 이동시켜야 되는 불편함 뿐만 아니라, 전용측정기의 가격이 고가여서 system의 구축에 있어서 많은 비용이 소요된다. 하지만 OMM은 적은 비용으로 system 구축이 가능하고 공작기계의 호환성이 크다는 장점이 있다.

일반적으로, OMM에서는 측정점의 생성뿐만 아니라 측정경로의 생성이 매우 중요하다. 즉, Probe와 공작물의 충돌을 회피할 수 있는 경로를 생성하여야 하는데, 기존의 방법은 EZ-Map을 이용한 방법이 있으나 이 방법은 EZ-Map 생성 후 모든 측정점에 대하여 충돌을 체크해 주어야 하므로 데이터의 양이 많아지고 측정 경로 생성하는데 시간이 많이 소요되므로 비효율적이다.<sup>[1]</sup> 본 연구에서는 작업용

로봇의 동적 궤적 자동분야에 적용된 개념으로 가공 공정에서 ITO(Inverse Tool-Offset)<sup>[2]</sup>곡면과 동일한 개념인 Offset Surface의 개념을 이용해서 이러한 문제점을 해결하고자 하였다. 또한, OMM은 CMM과 달리 공작기계상에서 구현되기 때문에 공작기계의 에러에 직접적인 영향을 받는다. 지금까지 공작기계의 정적인 에러와 열 변형 등에 대해서 많은 연구가 진행되어 왔으나<sup>[1]</sup> 공작물의 무게와 속도에 따른 동적인 에러에 대한 연구는 많지 않았다. 이에 본 연구에서는 OMM 측정에 있어 적절한 측정 속도 산출과 관련하여 공작물의 무게에 따른 동적 에러를 고려하고자 하였다.

본 연구에서 기본적으로 사용된 측정알고리즘은 다음과 같이 설명할 수 있다.

측정점의 개수를 결정시, 측정점의 수가 무한개로 증가하면 측정 오차는 0에 수렴하게 될 것이다. 하지만 측정점의 수가 무한개로 증가하면 불필요한 측정시간의 증가로 인하여 효과적이지 못하게 되며 상대적으로 측정점의 수가 적은 경우 이에 대한 측정 오차가 존재한다.<sup>[3]</sup> 위의 사항을 고려하여

측정점의 수를 최소로 하면서 원하는 측정 정밀도를 얻기 위해 본 연구에는 Fuzzy 논리를 이용하였다. Fuzzy 논리를 이용하여 측정점의 수를 정하고 적절한 위치에 배열 하여야 한다. 또한 측정점의 위치 결정방법으로 Hammersley 이론을 적용하였다. Hammersley 위치 결정법은 Hammersley 좌표계인 (s, t)축으로 만들고, 각 형상별로 2 차원 면이 사각형이면 직교좌표계를 원형이면 극좌표계를 사용하여 변환하여 사용한다. 측정점의 위치가 결정되었다면 최적의 측정경로를 생성하여야 한다. 기상측정에서 적용되고 있는 측정경로는 단순히 인접 측정점을 연결하는 방식이 아닌 모든 측정점에 대한 거리를 계산하기 위하여 TSP(Simulated annealing Method) 알고리즘을 이용하였다.

본 연구에서는 이러한 기본 측정 알고리즘을 사용 하면서 충돌이 없는 경로를 생성하기 위하여 Offset surface 의 개념을 적용시켜 측정시간을 최소로 하는 시뮬레이션 프로그램을 작성하여 검증하였고, 실제 실험을 통하여 확인하였다.

## 2. Probe Dynamic Error

Probe 로 측정된 임의의 점의 신호는 DNC 를 이용하여 좌표값을 획득하였고 측정시 공작기계 bed 의 진동에 의한 영향을 판별하기 위하여 공작기계 외부에 지지대를 설치하여 레이저 변위 센서를 통하여 신호를 획득하고자 하였다. Fig.1 은 동적에러 측정 실험 사진을 나타내었고 Table. 1 은 실험조건을 표로 나타낸 것이고 공작물의 무게는 현재 산업현장에서 쓰이는 데이터를 기준으로 변수의 수준을 결정하였다.



Fig.1 Photo of dynamic error experimentation

Table. 1 Levels of independent of variables

	Level 1	Level 2	Level 3
접근속도(mm/min)	50	100	200
Probe 길이(mm)	10	40	100
공작물의 무게(kg)	0	250	500

위의 조건을 가지고 실험한 결과 Fig.2 에서 보는 것과 같이 측정 데이터는 약간의 변화는 있었

으나 모두 Probe 자체 오차 범위내에서 오차가 발생하여 공작기계의 동적에러는 측정 데이터에 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 공작기계의 동적에러는 테이블의 출발과 정지 많이 발생하는데 이는 공작기계 자체 가감속 시정수로 제어가 가능하다. 가감속 시정수는 공작기계가 어떤 속도까지 도달하는 시간을 제어하여 주는 함수이다. 출발시 가속 구간과 감속시 감속구간이 이 가감속 시정수의 영향을 받는다. 그러므로 본 실험에서는 이를 측정 하고자 하였으나 공작기계 자체의 보정기능이 있어 동적에러는 측정 데이터에 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

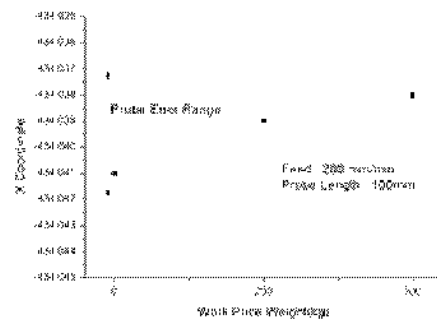


Fig.2 Graph of Dynamic Error

## 3. Offset Surface 에 의한 경로 생성

### 3.1 Offset Surface 의 개념

Offset Surface는 작업용 로봇의 동적 제적 자동계획 분야에 적용되어온 개념으로 가공에서 ITO Inverse Tool-Offset) 곡면과 동일한 개념이다.[2]

본 논문에서 제안한 Offset Surface 생성 알고리즘을 나타내면 Fig.3 와 같다. 기준곡면을 법선 방향으로 일정량 D만큼 Offset 시킨 offset surface의 위치 벡터, u, v방향의 1 차 미분값, 법선벡터  $\underline{N}^0$ ,  $\underline{N}_u^0$ ,  $\underline{N}_v^0$ ,  $\underline{S}^0$  는 다음과 같다.[4]

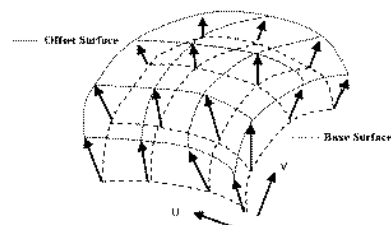


Fig.3 Picture about a offset surface definition

$$\underline{A} = \underline{N}_u \times \underline{N}_v$$

$$A = (A \cdot A)^{0.5}$$

$$\underline{A}_u = \underline{N}_{uu} \times \underline{N}_v + \underline{N}_u \times \underline{N}_{uv}$$

$$\underline{A}_v = \underline{N}_{uv} \times \underline{N}_v + \underline{N}_u \times \underline{N}_{vv}$$

여기서,

$$\underline{N}^o = \underline{N} + D * \underline{S}$$

$$\underline{N}_u^o = \underline{N}_u + D * \{(\underline{A}_u / A) - (\underline{A}_u \bullet \underline{A}) \underline{A} / A^3\}$$

$$\underline{N}_v^o = \underline{N}_v + D * \{(\underline{A}_v / A) - (\underline{A}_v \bullet \underline{A}) \underline{A} / A^3\}$$

$$\underline{S}_u^o = \underline{N}_u^o \times \underline{N}_v^o$$

단,  $N$  과  $\underline{N}_u$ ,  $\underline{N}_v$  그리고  $\underline{N}_{uu}$ ,  $\underline{N}_{vv}$  와  $\underline{N}_{uv}$  는 각각 기준 곡면의 위치, 1 차 미분, 2 차 미분, 꼬임 벡터이다.

### 3.2 충돌회피를 위한 Guide Point 생성

측정에서 충돌은 probe 가 공작물과 충돌하는 경우, probe 홀더가 충돌하는 경우, probe 가 고속으로 접근할 경우를 충돌이라 한다. Fig.4 는 probe 의 충돌 예를 나타내었다. Offset Surface 에서의 충돌의 개념은 위에서 언급한 충돌 뿐만 아니라 공작물과 Probe 나 Probe 홀더가 실제 충돌하지 않았더라도 프로의 경로가 Offset Surface 내부를 통과 하면 충돌로 판단하여 새로운 가이드 포인트를 Offset Surface 위나 혹은 Offset Surface 밖에 최적의 점을 가이드 포인트로 선정한다. Fig.5 는 사각형 단면과 원형단면을 갖는 측정물의 가이드 포인트 생성을 나타낸 것이다. 이 그림에서 보는 것과 같이 사각형일 경우 Offset Surface 를 따라 경로를 생성하면 충돌을 피하는 것을 알 수 있고, 원의 경우는 Offset Surface 를 따라 생성하여야 하나 G-Code 생성의 어려움이 있어서 각 측정점과 Offset Surface 상의 대응 하는 점에서 접선을 그려 만나는 점을 가이드 포인트로 결정하였다. 실제 Offset Surface 상에서 Probe 는 급속이송(G00)을 하기 때문에 실제 측정 시간에는 큰 영향을 미치지 않는다.

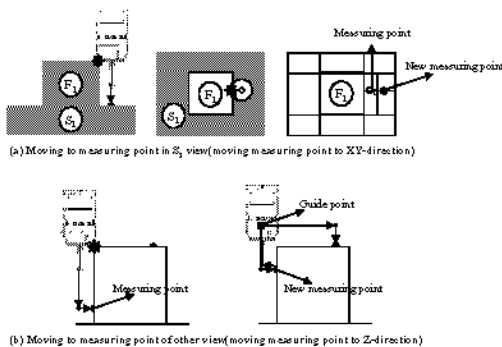


Fig.4 Examples of probe holder collision

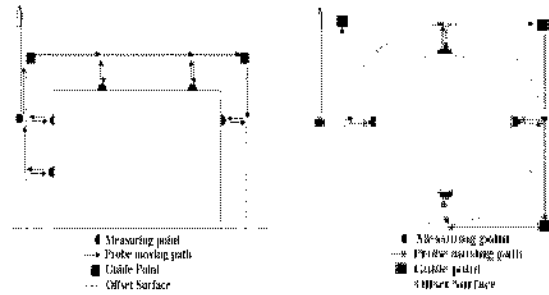


Fig.5 The example of guide point generation

## 4. system 구성 및 실험결과

본 연구에서 제시한 측정방법은 Visual C++ 6.0 을 이용하여 기상측정 프로그램을 작성 하였고 UG OPEN API를 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. system 구성은 Fig. 6 과 같다. 개발한 system을 테스트 하기 위하여 시편을 Fig. 7 와 같이 설계하였다. 시뮬레이션을 하기 위해 측정계획<sup>[1]</sup>을 사용 하였고 측정계획을 작성하기 위한 형상 분류하여 놓은 것이다. Fig.8 은 작성된 경로를 UG OPEN API에서 시뮬레이션 한 결과이다.

본 연구에서 작성한 프로그램은 앞에서 설명한 측정 기본 알고리즘을 사용하였다. 즉, 형상별로 측정점을 생성하고 측정계획에 의해 적용하여 본 연구에서 제시한 알고리즘을 구현 하고자 하였다. 측정점 생성과 측정경로를 생성 할 때 Offset Surface 에 간섭이 발생이 일어나는가를 체크하였고, 측정점이 다른 형상의 offset Surface 내에 존재시에는 이 측정점을 Offset Surface 밖의 한 점을 새로운 측정점으로 생성하였다. 또 측정 경로간의 간섭이 발생시 Guide Point 를 사용하여 충돌에 대하여 안전한 system 을 구축하였다. Fig.9 (a)는 본 연구에서 비교 대상이 되는 EZ-Map 을 이용하여 충돌 회피 경로를 나타낸 것이다. Fig.9 (b) 은 제시된 알고리즘을 통해 가이드 포인트를 사용하여 실제 프로그램을 이용하여 얻은 측정 경로를 나타낸 것이다. Fig.10 은 Offset Surface 에 의해 생성된 측정 경로를 검증하기 위한 실제 실험장치 사진을 나타내었다. 기존의 방법인 EZ-Map 을 이용하여 측정할 경우 10 분 50 초가 걸리는 반면, 본 논문에서 제시한 알고리즘을 이용하여 실제 측정할 경우 실제 측정시간이 5 분 43 초로 기존의 방법보다 효과적인 측정 방법인 것을 확인 할 수 있었다.

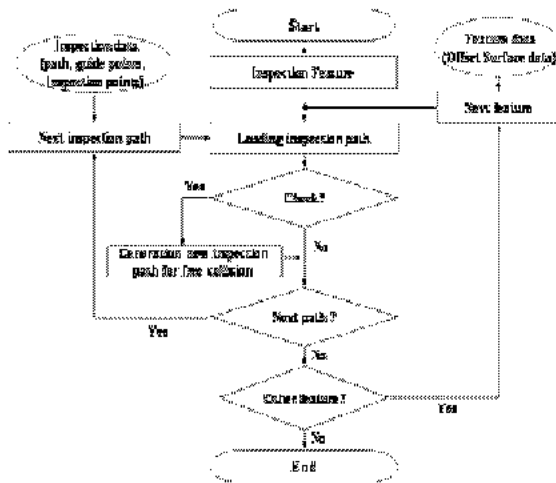


Fig.6 The flow chart of developed OMM S/W Logic

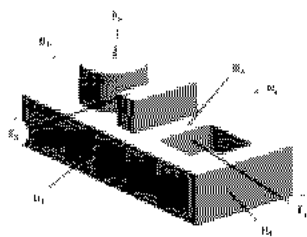


Fig.7 Inspection-Feature classification for object model

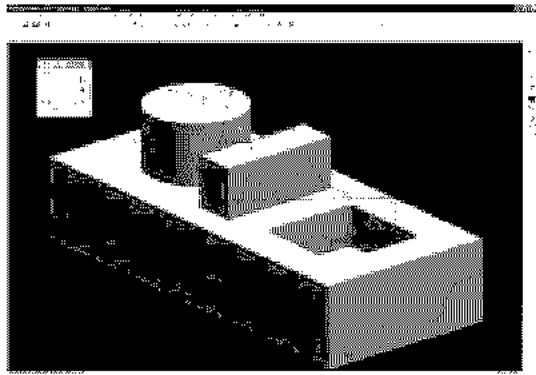
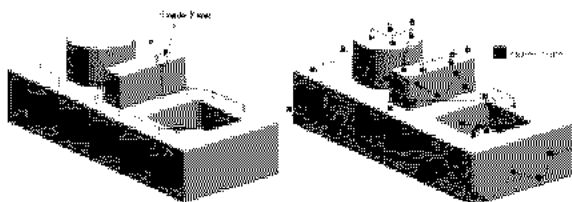


Fig.8 G-Code simulation system using UG open API



(a) EZ-Map (b) Offset Surface

Fig.9 Distribute inspection path & free-collision Path

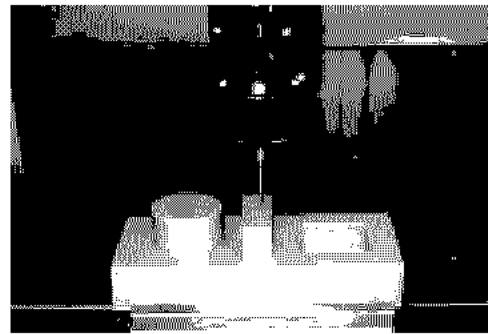


Fig. 10 Photo of OMM experimentation

## 5. 결론

3 차원 공작기계를 이용한 기상 측정에서의 충돌에 자유로운 경로 생성을 위해 Offset Surface 의 개념을 제시하여 기존의 방법인 EZ-Map 을 이용한 방법보다 매우 효과적인 것을 알 수 있었으며, 다음과 같이 결론을 요약할 수 있다.

1. 기상 측정에서 충돌에 자유로운 경로 생성을 위해 Offset Surface 의 개념을 제시하였다.
2. Offset Surface 의 개념이 적용된 시뮬레이션이 가능한 프로그램을 작성하여 충돌에 대해 검증하였고, 실제 실험을 통하여 확인한 결과 기존의 방법보다 매우 효과적인 것을 알 수 있었다.
3. 공작기계의 동적예러를 측정하여 측정 정밀도에는 영향을 미치지 않음을 확인 하였다.
4. Offset Surface 의 개념을 이용하여 자유곡면의 측정에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

## 참고문헌

1. 윤길상, "CAD/CAM/CAI 연계를 통한 CAIP / CAPP 구현과 E-Manufacturing 에 관한 연구", 인하대학교 공학박사학위 논문, 2004.
2. B. K. Choi, D. H. Kim and R. B. Jerard, "C-Space Approach to Tool-Path Generation for Die and Mould Machining," Computer aided Design, Vol. 29, No. 9, pp. 657-669, 1997.
3. 정성중, 남우선, "온머신 고속 고정도 자유곡면 측정 및 검사 system 에 관한 연구," 대한기계학회논문집 A 권, 제 22 권 제 12 호, pp. 2114~2125, 1998.
4. 전용태, 박세형, "자유곡면으로 이루어진 Cavity 의 가공경로 생성," 한국정밀공학회지, 제 10 권 3 호, 1993.