

# 개선된 옥트리 알고리즘에 기초한 가공 시뮬레이션 소프트웨어 개발 An application Software for Cutting Simulation based on Advanced Octree Algorithm

\*팜투롱탄<sup>1</sup>, 김용현<sup>2</sup>, 신동근<sup>3</sup>, #고성림<sup>4</sup>

\* Trung Thanh Pham<sup>1</sup>, Y. H. Kim<sup>2</sup>, D. K. Shin<sup>3</sup>, #S. L. Ko (slko@konkuk.ac.kr)<sup>4</sup>  
<sup>1</sup> 건국대학교 기계설계학과, <sup>2</sup> 중소기업청

Key words : Octree, NC machining, cutting simulation, supersampling

## 1. 서론

Z-map 과 일반적인 octree 기법은 상업적 CAM 소프트웨어와 3D 모델링 시스템에서 광범위하게 이용되고 있다 [1, 2, 3, 4]. 그러나 이 방법들을 이용해 높은 정밀도를 얻으려면, 과도하게 높은 메모리 소모와 긴 계산시간을 감수해야 한다. 본 논문에서는 절삭 시뮬레이션 소프트웨어에 advanced octree algorithm 을 적용하였다. Visual C++ 과 OpenGL 을 이용해 개발한 소프트웨어의 모습은 Fig 1 에 나타나 있다. advanced octree algorithm 를 이용해 개발된 소프트웨어는 계산 속도와 메모리 소모를 줄이면서, 높은 정밀도를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

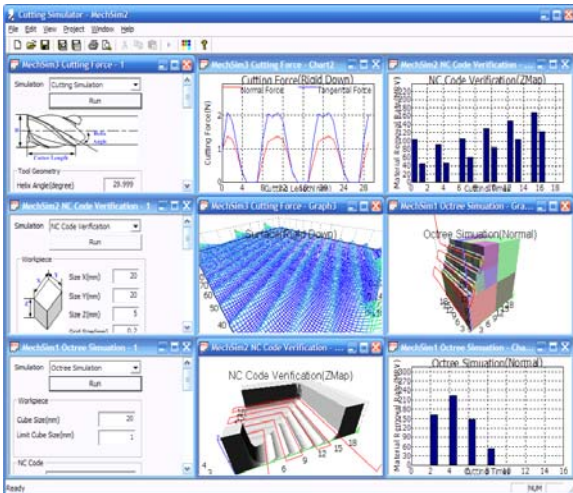


Fig 1 The developed software for cutting simulation using advanced octree algorithm

## 2. Advanced Octree Model

### 2.1 Advanced Octree Model

3 차원 물체를 octree 기법으로 표현하는 것은 정육면체를 octant 로 재귀적으로 분할하는 것에 기초한다. Fig 2 는 octree algorithm 의 표현 방식을 보여주고 있다. octree 의 각 입자는 다음의 세 가지 상태로 나뉜다: Full(꼭 참), Empty(비어있음), Partial (부분적으로 참). 각각의 octant 는 octant 가 물체로 완전히 차 있으면, Full 이고, 물체 밖에 있으면, Empty 이다. 그리고 octant 가 부분적으로 물체를 포함하고 있으면, Partial 이다. Octant 가 Partial 일 경우에는 다시 한번 분할을 하게 된다. octant 의 분할은 octant 가 Full 이 되거나 octant 의 크기가 limit cubic size 크기 가 될 때까지 계속된다. 본 논문에서는 절삭 시뮬레이션 소프트웨어에 supersampling algorithm 을 적용하였다. oversampling 으로 인한 과도하고 불필요한 계산을 줄이기 위해, 절삭 공구의 경계와 만나는 부분에서만 supersampling 을 진행 하게 된다 [5]. 이 기술은 C++ 과 OpenGL 라이브러리를 이용해 구현하였다. Advanced octree algorithm 을 이용한 절삭 시뮬레이션 은 Fig 3 에 나타나 있다

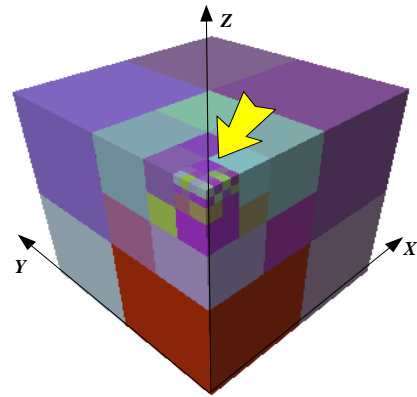


Fig 2 Octree representation

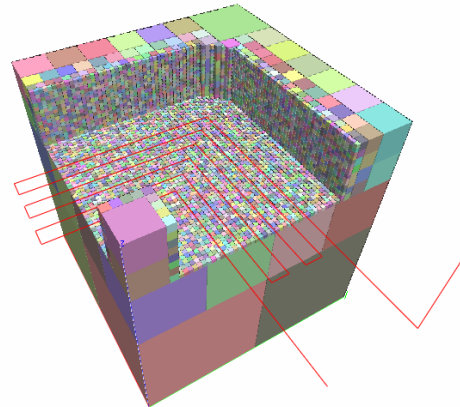


Fig 3 Cutting simulation with advanced octree algorithm.

### 2.2 절삭 시뮬레이션을 위한 최적의 정밀도

Advanced octree algorithm을 이용한 절삭 시뮬레이션에서, 반복적인 분할은 octant가 물체로 완전히 차거나(Full), octant의 크기가 limit cubic size와 같아지면 멈춰지기 때문에 계산 시간과 절삭 공정의 시각화는 limit cubic size에 따라 달라진다. limit cubic size가 크면 시뮬레이션 속도는 빨라지고, 단위 길이당 소재 제거율(MRR)의 계산시 오류의 크기는 커지고, 시뮬레이션 모습도 안 좋아지는 결과를 가져오게 된다. limit cubic size가 작으면 MRR의 계산 오류는 작아지지만 시뮬레이션 시간은 길어지게 된다. Fig 4는 limit cubic size 변화에 따른 절삭 시뮬레이션의 효과를 나타내고 있다.

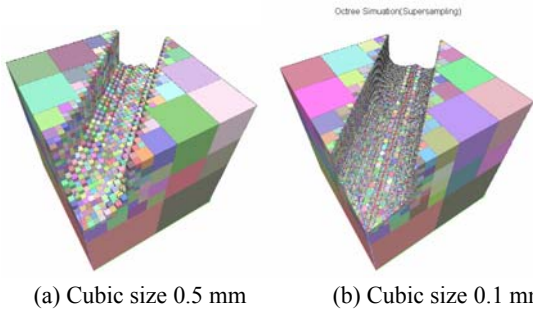


Fig 4 Cutting simulation with difference limit cubic size

최적의 limit cubic size를 찾기 위해서,  $\Phi 6$  mm의 엔드밀을 다양한 조건에서 절삭 시뮬레이션을 진행하였다. Table 1은 다양한 limit cubic size와 0.5, 1, 2 mm의 radial depth에서 진행한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 절삭 시뮬레이션을 가장 효율적으로 수행하기 위해서는 적절한 오류와 계산시간을 만족하는 최적의 limit cubic size가 필요하다.

본 소프트웨어는 회귀 모델링 기술과 통계적 실험 계획을 포함하는 반응 표면 분석법(response surface methodology)을 사용하여 MRR의 계산 시간과 계산 오류, limit cubic size 사이의 관계성을 분석하였다. 응답 오류(E)와 다양한 limit cubic size(x), 그리고 시뮬레이션 시간(t) 사이의 근사모델을 생성하기 위해 통계적 모델링을 적용하였다.

1차 모델에 의한 근사 오류:

$$E = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 t + \alpha_{12} x.t$$

제안된 방법과 table 1의 데이터를 이용해서 다음과 같은 근사 계수를 구하였다.

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= 4.31882; & \alpha_1 &= 4.25783; \\ \alpha_2 &= 0.000197; & \alpha_{12} &= -0.00218 \end{aligned}$$

Table 1 Simulation results with various limit cubic sizes

Radial depth (mm)	x (mm)	t (ms)	E (%)
2	0.1	147156	1.2
	0.3	5968	1.2
	0.5	1125	1.9
	1	281	2.5
	2	78	7.5
	4	15	10
1	6	15	29.9
	0.1	72563	1.5
	0.3	4547	2.6
	0.5	984	2.4
	1	250	7.5
	2	64	10
0.5	4	32	30
	0.1	157291	2.5
	0.3	8562	2.8
	0.5	1890	7.6
	1	469	10.4
	1.5	93	29.6

적절한 시뮬레이션 시간에서 8% 보다 적은 수치 오류(E) 값을 얻기 위해서는, 1mm ~ 0.3 mm의 limit cubic size(x)가 적당한 것으로 나타났다.

### 3. 적용

소프트웨어는 복잡한 3D 모델의 황삭, 정삭 공정의 절

삭 시뮬레이션을 수행하기 위해 개발되었다. 연구 결과, 황삭 공구로  $\Phi 8$  mm의 평 엔드밀이 사용되고, 정삭 공구로  $\Phi 6$  mm의 볼 엔드밀이 사용될 때, limit cubic size는 1 ~ 0.3 mm가 적당한 것으로 판단되었다. Fig 5는 개발된 소프트웨어를 이용한 절삭 시뮬레이션 결과를 보여주고 있고 Fig 6는 advanced octree 모델을 이용한 재료제거율(MRV)의 예상 결과를 보여주고 있다.

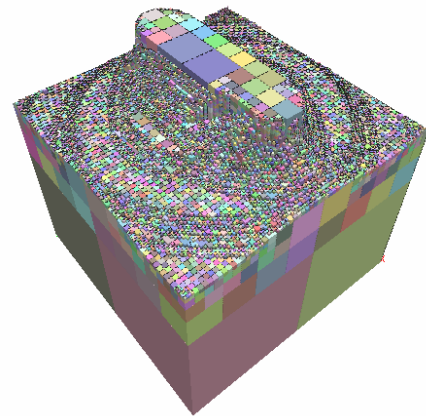


Fig 5 Cutting simulation result of 3D complex model

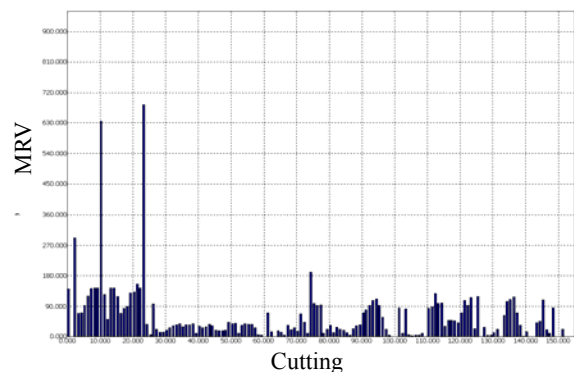


Fig 6 MRV(mm<sup>3</sup>) prediction results.

### 4. 결론

Advanced octree algorithm을 이용해 효과적인 절삭 시뮬레이션을 위한 응용 소프트웨어를 개발하였다. 이 algorithm은 절삭 시뮬레이션에서 높은 정밀도와 빠른 계산 속도 그리고 적은 메모리 소요 모두를 동시에 달성할 수 있는 방법으로 생각된다.

### 참고문헌

1. M. Martti, "An Introduction to Solid Modeling", computer science Press, USA, 1998.
2. Anderson R. O, "Detecting and eliminating collisions in NC machining", Computer Aided Design, Vol. 10, No. 4, pp. 231-237.
3. Van Hook, T. Aug., "Real-time shaded NC Milling Display", Computer Graphics(Proc. SIGGRAPH), 20(4), pp.215-224.
4. Wang, W.P. and Wang, K.K, 1986, Geometric modeling for swept volume of moving solids, IEEE Computer Graphics and Applications, Dec, 6(12), 8-17.
5. Y.H. Kim, S.L. Ko, "Improvement of cutting simulation using octree method" Int J Adv Manuf Technol (2006) 28: 1152-1160.