

Rapid Prototyping System을 위한 형상정보 변환절차

이우종* · 이용한* · 홍유석*

Abstract

The concept of rapid prototyping intended for a significant reduction in cost and lead time becomes even more practical with the recent development of various equipments to make the concept concrete. For the purpose of real application of commercially available SLA(stereolithography apparatus), this paper is intended to develop the standard conversion procedure from CAD data to the input data for SLA. While the procedure presented in this paper is based on CAD system "CATIA" and SLA of 3D systems, Inc., which are being used in authors' company DAEWOO Motor Co., Ltd., the basic concept of this paper can be applied to any other CAD systems and machines of using stereolithography process.

The algorithm presented in this paper is classified into two stages—node sampling and triangulation. First of all, point data are sampled through the node sampling procedure, and then these are triangulated so that the input data for SLA operation is finally generated. The suggested method is devised in a way to meet the input requirements of SLA and more importantly consume less computation time and generate less number of input data for SLA.

1. 머릿말

제품개발의 성패는 고품질의 제품을 얼마나싼 가격으로 적기에 개발하느냐에 달려 있다고 볼 수 있다. 특히, 소비자의 요구가 다양화되며 그 변화가 심화되는 때일수록 이를 적극적으로 수용하기 위해서 제품을 적기에 공급하여야 할 것이며, 이를 위해서는 제품개발에 필요한 시간, 즉 제품개발주기를 가능한 한 단축하여야 할 것이다. 제품개발주기는 제품의 형상을 디자인하고 이의 물리적, 기계적 특성을 일정한 해석 과정을 거쳐 분석한 다음, 이에 대한 시제품을 제작하고 시험하는 일련의 과정으로 이루어져 있는 바, 이러한 과정의 반복을 통하여 원하는 최종 제품이 개발되게 된다. 본 논

문은 이러한 제품개발주기 상에서 시제품을 제작하는 단계의 시간을 최소화시키고자 하는 일단의 노력, 소위 Rapid Prototyping이라 일컫는 분야에 그 초점을 맞추고 있다.

Rapid Prototyping의 중요성은 무엇보다도 디자이나 및 설계자의 의도를 실물로써 조기에 점검할 수 있다는 것에서 찾을 수 있다[3]. 이러한 조기 실물 진단은 디자인 및 설계 과정에서 발생 가능한 착오를 제품개발 초기에 발견하여, 제품개발의 시행착오를 최소화시키고자 함이다.

이러한 Rapid Prototyping의 개념은 최근에 이를 구체화시켜 주는 여러 장치의 개발과 더불어 활성화되었다. 이들 장치들이 사용하고 있는 공법들로서는 stereolithography, selective laser sinter-

ing, ballistic powder metallurgy, three dimensional printing, laminated object manufacturing, near-net thermal spraying등이 있다[7]. 본 논문은 이상의 공법 중 현재 상용화가 이루어져 쓰이고 있는 SLA(stereolithography apparatus)의 사용을 연구하였다.

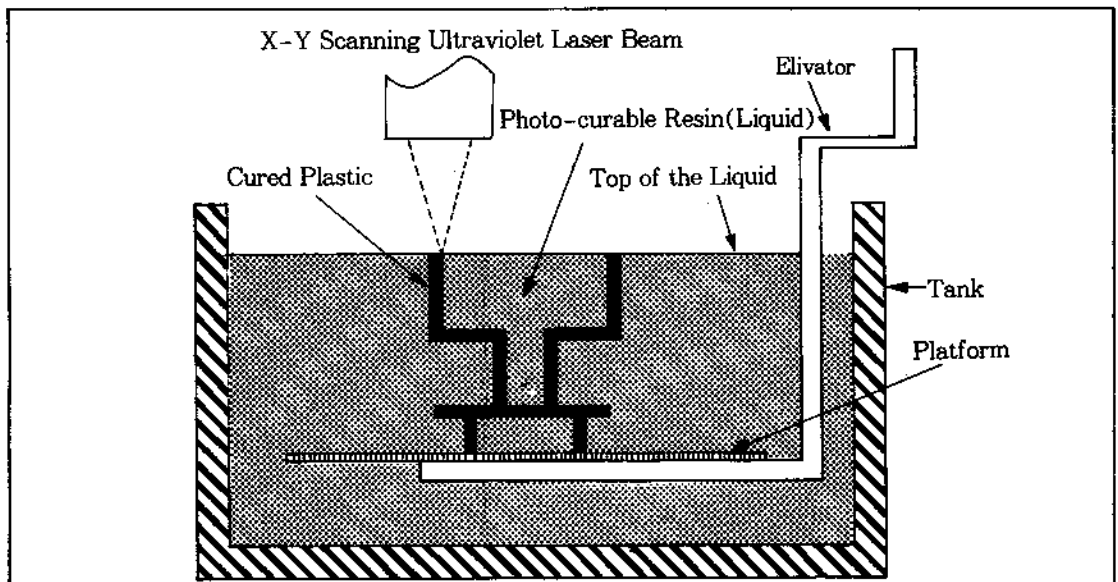
SLA 사용의 목적은 CAD 시스템에서 정의된 형상화 정보를 stereolithography라는 신공법에 의거하여 실물화하는 것이다. 결국 SLA의 사용은 CAD 정보를 SLA기기가 인지할 수 있는 형태로의 변환을 요구하게 된다. 본 논문은 이러한 변환 작업에 필요한 정형화된 기법을 개발함에 그 목적을 두고 있다. 본 논문에서 제시한 기법은 현재 대우자동차가 사용하고 있는 CAD 시스템 CATIA와 미국의 3D System, Inc.이 제작한 SLA를 기준으로 설명되고 있으나 그 근본 개념은 일반 여타 CAD 시스템과 stereolithography 공법을 사용하는 모든 기기에 적용될 수 있을 것이다.

본 논문의 구성은 다음 2장이 Stereolithography공법에 대한 설명으로 이루어져 있으며, 다음의 3장은 Stereolithography공법을 이용시 입력 자료의 산업표준으로 규정되어 있는 .STL 파일과 대우

자동차에서 사용하고 있는 CAD 시스템인 CATIA에 대한 소개와 이의 연결을 위한 제반 사항이 명시되어 있다. 4장부터 7장까지는 CAD 데이터를 .STL 파일 형태로 변환하는 절차에 대한 설명으로 구성되어 있다.

2. Stereolithography공법

Stereolithography는 액체상태의 플라스틱 모노머가 자외선 광선에 노출될 경우 고체상태의 폴리머로 경화되는 성질인 광중합 반응(Photopolymerization)을 그 기본원리로 하고 있다. Stereolithography에서는 광경화성 수지(Photo-curable Resin)를 재료로 사용하는 데, 이는 주로 아크릴 계통의 플라스틱 모노머와 광중합촉진제(Photo-initiator)의 복합물로 이루어진다. 이러한 광경화성 수지는 광선(특히 자외선 광선)에 노출될 경우, 광중합반응에 의하여 액체상태에서 고체상태로 변형되는 데, SLA는 바로 이러한 성질을 이용하여 필요한 부분만을 선택적으로 경화시켜 원하는 시작품을 만들어 가는 것이다.



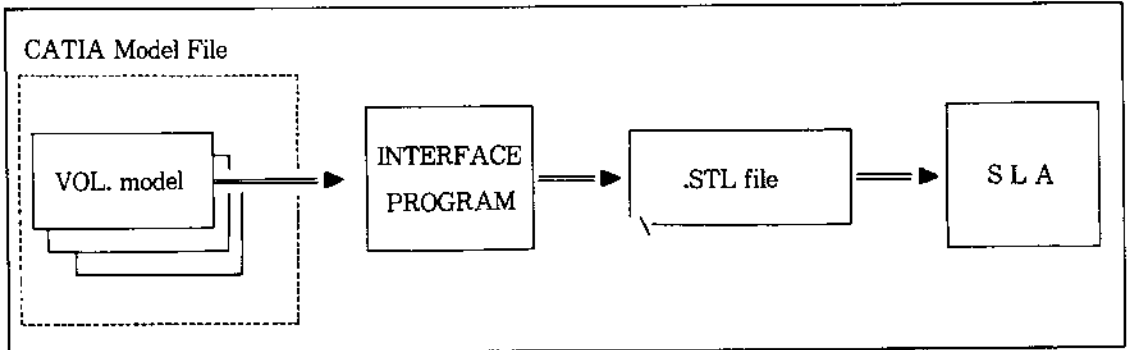
[그림 2-1] SLA의 작동원리

이해를 돕기 위하여 Stereolithography 공법의 전반적 흐름을 살펴보자. Stereolithography 공법의 첫단계는 일반적 CAD 시스템에 의하여 설계된 3차원 형상을 .STL파일 형태로 변환하는 과정으로 시작된다. 본 연구의 주요 연구대상은 바로 이 과정에 해당된다. .STL파일로의 변환이 끝나면, 데이터는 0.2mm내의 정도 두께의 얇은 수평층으로 분해되는 슬라이싱(Slicing)으로 이어진다. 이 과정의 역할은 3차원 제품형상을 일련의 2차원으로 분해하여, 다음 단계에서 필요한 데이터를 얻는 것이다. 다음은 여기서 얻은 데이터를 각 층별로 경화시키는 작업이다. 이러한 층별 광중합 과정은 엘리베이터가 움직임에 따라 제품의 바닥부터 상층부

까지 순차적으로 진행되며, 경화가 끝나면 엘리베이터를 상향으로 구동시킴으로써 원하는 실물 Prototype을 얻게 된다. 이러한 작동원리 및 성형 과정을 도식화하면 [그림 2-1]과 같다.

3. CATIA Model 및 .STL 파일의 요구 조건

본 연구를 통해 개발된 소프트웨어는 CATIA 모델로부터 SLA가 인지할 수 있는 파일 형태인 .STL 파일을 생성시키는 기능을 한다. 다음 [그림 3-1]은 이들의 연관 관계를 보여준다.

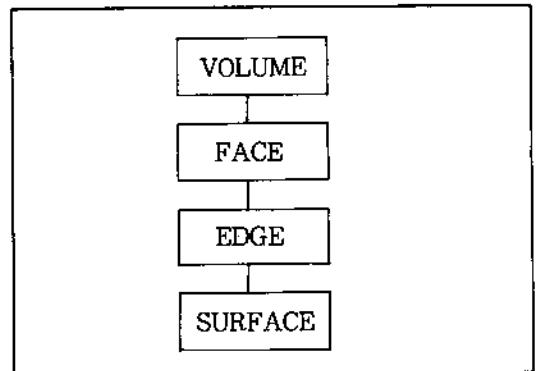


[그림 3-1] 인터페이스 개념도

3-1. CATIA 모델

3차원 형상을 모델링하는 방법론은 크게 CSG (Constructive Solid Geometry) 방식과 B-rep. (Boundary Representation) 방식으로 분류된다. CATIA에서는 각각의 방식으로 모델링된 모델을 차례로 'SOLID' 및 'VOLUME'으로 명명한다. 일반적으로 CSG방식의 Solid model은 'boundary evaluation'을 통해서 B-rep.으로의 변환이 용이하다. CATIA에서도 'SOLID'를 'VOLUME'으로 전환하는 기능이 제공된다. 또한 현재 대우자동차에서 모델링되는 대부분의 CATIA 모델은 VOLUME으로 처리되기 때문에, 본 연구에서는

VOLUME과 SLA의 인터페이스만을 고려하였다. VOLUME은 내부적으로 다음 [그림 3-2]와 같은 계층구조를 가지고 있다.



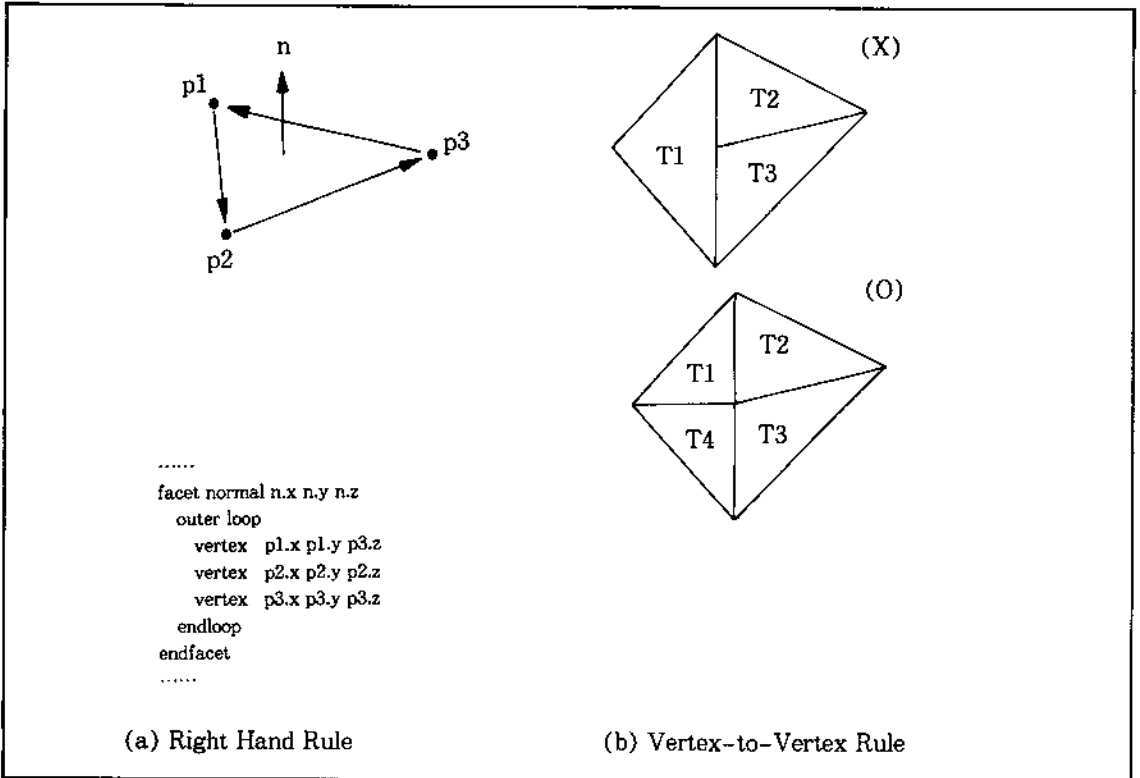
[그림 3-2] VOLUME type Solid Model의 구조

VOLUME(Set of Topologically Related Trimmed Surfaces)
 FACE(Isolated Trimmed Surface)
 EDGE(Boundary Curve Lying on a Surface)
 SURFACE(Isolated Surface)

3-2. SLA 입력 데이터

SLA의 입력 데이터 파일(이하 .STL 파일)은, Solid를 근사화하는 삼각형망(Triangular Net)의 정보를 담고 있는데, 각각의 삼각형 정보가 특별한 순서로서 연결될 필요성은 요구되지 않는다. 각각

의 삼각형정보는, 삼각형을 이루는 세 점의 좌표 (x, y, z) 와 Solid의 밖으로 향하는 법선 벡터로 구성된다. 이들 삼각형들은 [그림 3-3]에 설명된 Right Hand Rule(이하 RH Rule)과 Vertex-to-Vertex Rule(이하 VV Rule)을 반드시 지켜야 한다[2].

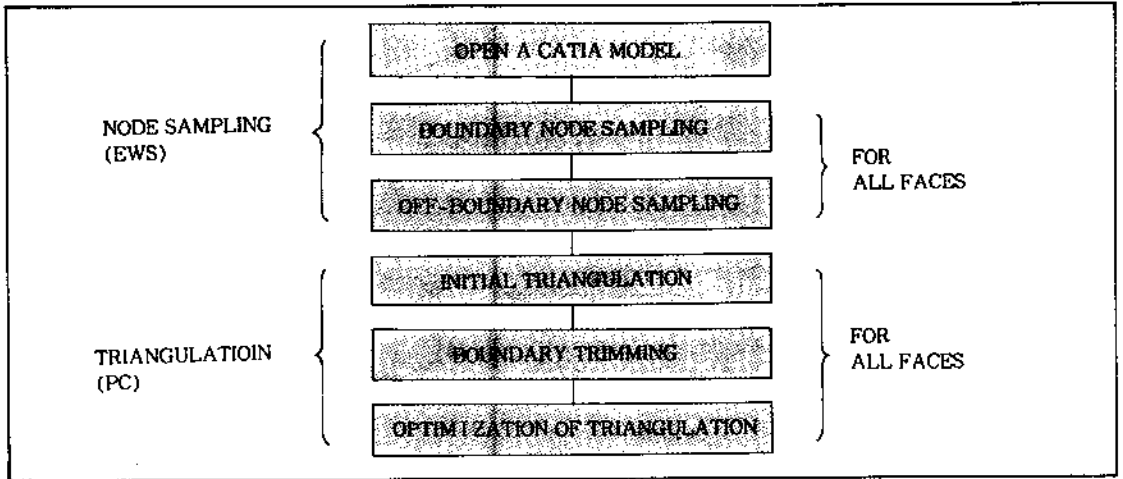


[그림 3-3] .STL의 요구조건

4. 개발 개요

본 연구를 통해 개발된 소프트웨어는, 개발의 용이성을 위해서 EWS(Engineering Work Station

: RS/6000)과 PC가 각각 일부 기능을 나누어 처리하도록 고안되었다. 대략적인 Procedure는 다음 [그림 4-1]과 같다.



[그림 4-1] Overall Procedure

각 Routine의 기능은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- BOUNDARY NODE SAMPLING : VOLUME을 이루고 있는 각 FACE에 대하여, FACE를 정의하는 Domain Boundary로부터 Node를 샘플링한다.
- OFF-BOUNDARY NODE SAMPLING : VOLUME을 이루고 있는 각 FACE에 대하여, FACE를 정의하는 Domain 내부로부터 Node를 샘플링한다.
- INITIAL TRIANGULATION : Boundary Nodes, Off-boundary Nodes 전체를 구분없이 Triangulation한다.
- BOUNDARY TRIMMING : Boundary 밖에 생성된 삼각형을 제거한다.
- OPTIMIZATION OF TRIANGULATION : 생성된 삼각형 망의 삼각형이 고른 형태를 가지도록 개선한다.

[그림 4-2]는, 각 단계를 거치면서 단위 Face

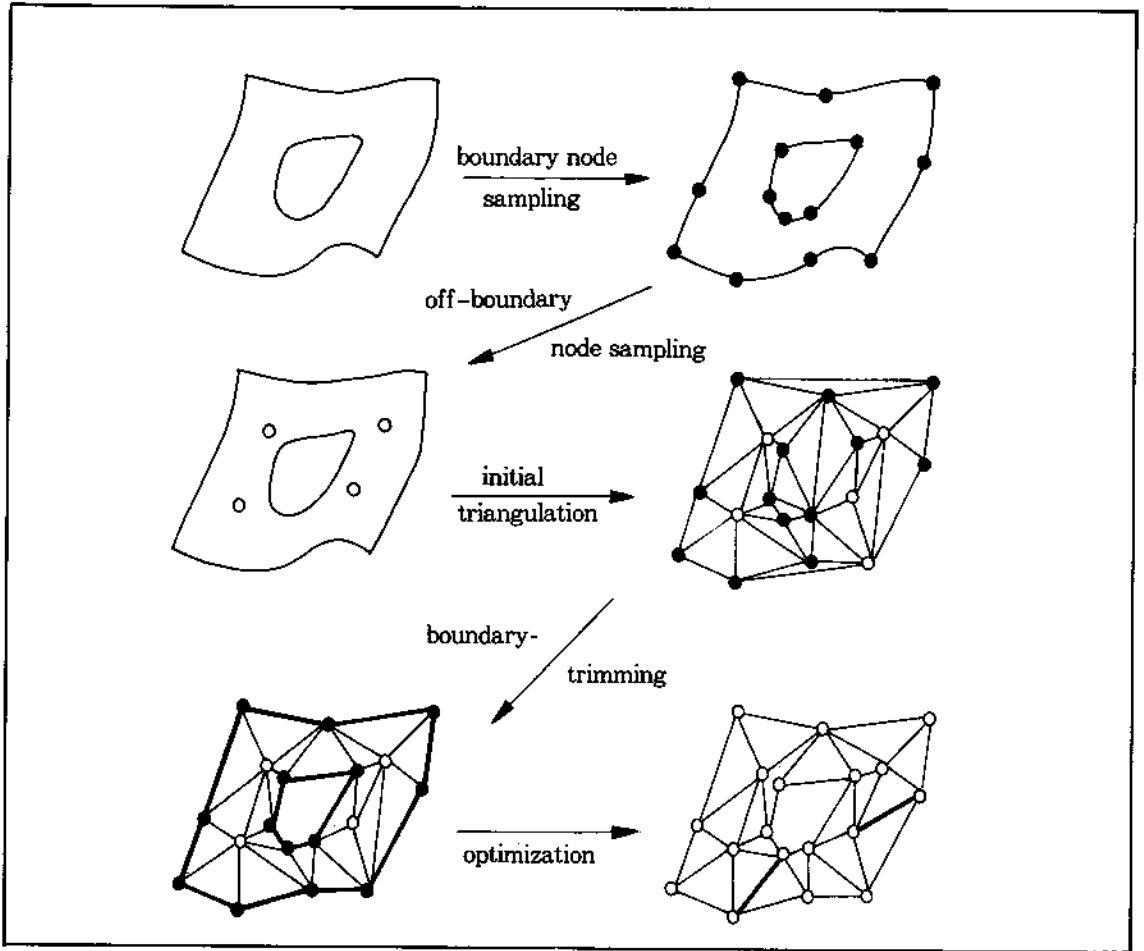
상에서 일어나는 일들을 대략적으로 보여주고 있다.

Node Sampling은 EWS에서, Triangulation은 PC에서 처리한다. 각 하드웨어별로 개발된 소프트웨어들과 이들간의 데이터전송은 다음 [그림 4-3]과 같다. 편의상 .STL 파일의 ASCII format과 Binary format을 각각 .STL과 .BIN으로 표시하였다.

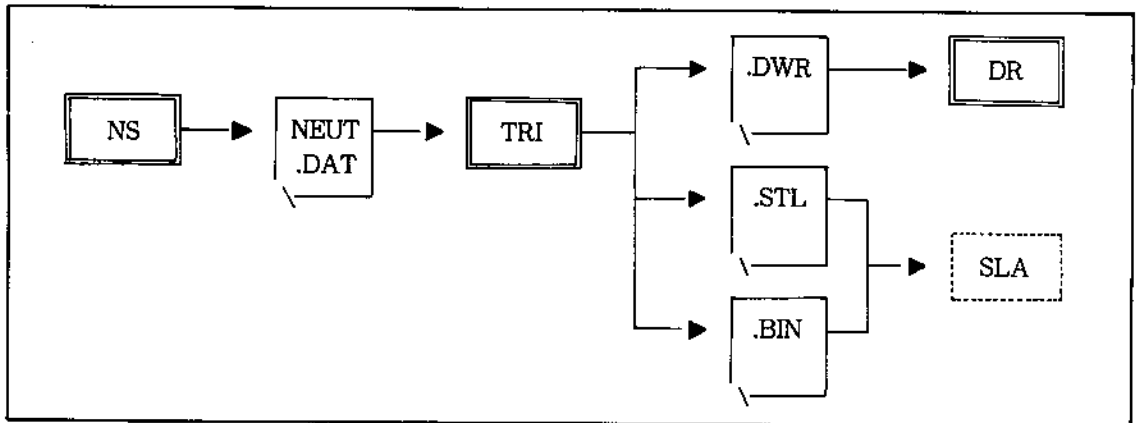
그림의 NEUT.DAT(Neutral File)은 EWS에서 샘플링된 Node 데이터를 PC에 넘겨주기 위해서 사용되는 ASCII 파일이다. 따라서 다른 Application에서 이 Neutral file 형식에 맞는 파일을 생성시킬 수만 있다면, TRI를 이용하여 .STL 파일을 생성시킬 수 있다.

NEUT.DAT는 FACE별로 구분되며, 각 FACE 정보는 Outer Boundary Nodes, Inner Boundary Nodes, Off-Boundary Nodes의 3부분으로 나누어진다.

[그림 4-3]에 도시된 Software들의 개발환경, 기능, I/O는 다음 <표4-1>과 같다.



[그림 4-2] Process Overview(On a face)



[그림 4-3] 소프트웨어 관련도

〈표 4-1〉 소프트웨어 요약

SoftWare	개발 환경	기능	Input	Output
NS (Node Sampler)	RS/6000 AIX Fortran	VOLUME으로 부터 Node Sampling	CATIA model (Volume)	NEUT.DAT (Neutral File)
TRI (Triangulator)	IBM PC Turbo Pascal	Sampled Nodes를 Triangulation	NEUT.DAT	*.DWR *.STL *.BIN
DR (Drawer)	IBM PC Turbo Pascal	Triangular Net을 그려본다.	*.DWR	그림출력 (Screen)

각 procedure들의 세부적인 내용은 4장-5장에 자세히 설명되어 있다.

5. Node Sampling

5-1. Node Sampling의 요구조건

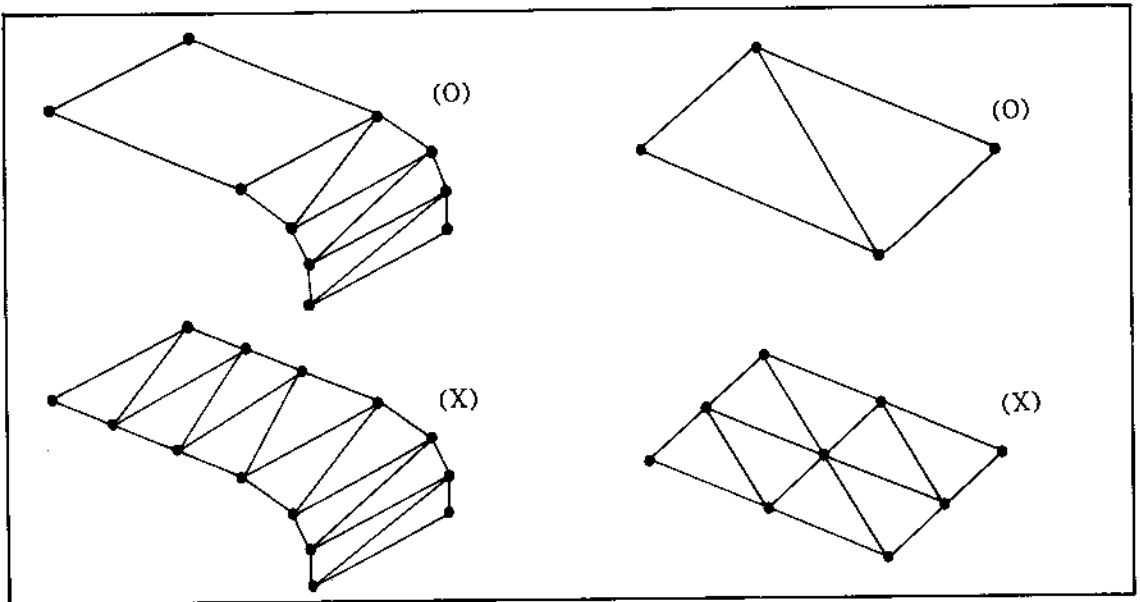
VOLUME으로 부터 Node를 샘플링하는 절차는 다음과 같은 요구조건을 만족해야 한다.

- (1) Triangulation을 FACE 단위로 수행할때, 앞에서 언급한 2가지 Rule(RH) rule, VV

rule)이 만족되어질 수 있도록 해야한다.

- (2) 주어진 정확도내에서 경제적인 수의 node를 샘플링한다.

다음 [그림 5-1]은 경제적인 Node Sampling의 예를 보여준다.



[그림 5-1] 경제적인 Node Sampling

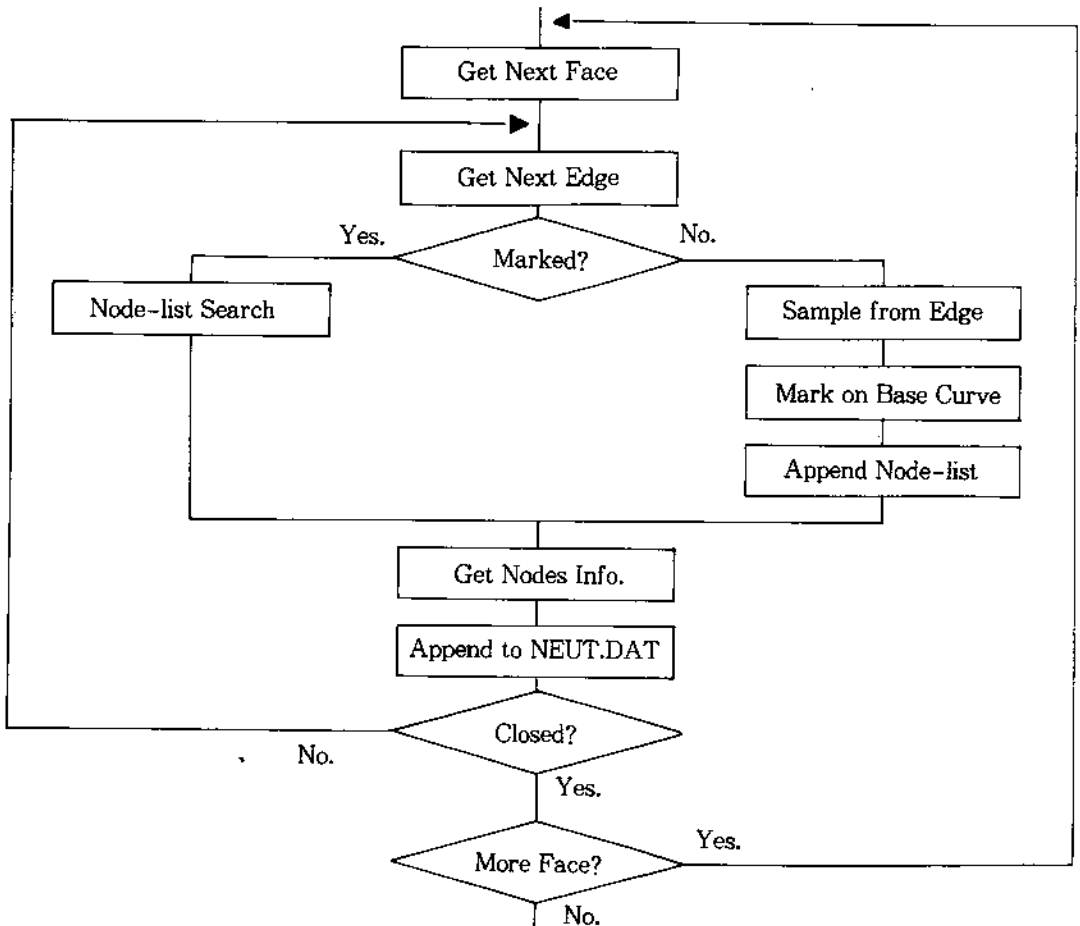
5-2. Node Sampling 개요

Node Sampling은 각 FACE 단위로 수행한다. 그렇게 함으로써 메모리를 절감, 결과적으로 보다 크기가 큰(또는 복잡한) 모델을 처리할 수 있다.

Node Sampling은 크게 Boundary Node Sampling과 Off-boundary Node Sampling으로 나누어진다. 각각에 대해서는 5-3절, 5-4절에서 자세히 살펴본다. 다음 <표 5-1>은 Node Sampling 두 단계의 역할분담을 보여준다.

<표 5-1> Node Sampling 단계별 역할

단 계	역 할
Boundary Node Sampling	<input type="checkbox"/> Face를 형성하는 각 Domain Boundary에서 Node Sampling → Character Line에서의 정확도 보장 → Vertex-to-Vertex Rule을 준수
Off-boundary Node Sampling	<input type="checkbox"/> Face의 내부(Strictly Inside)에서 Node Sampling → Face 내부의 형상 반영



[그림 5-2] Boundary Node Sampling Procedure

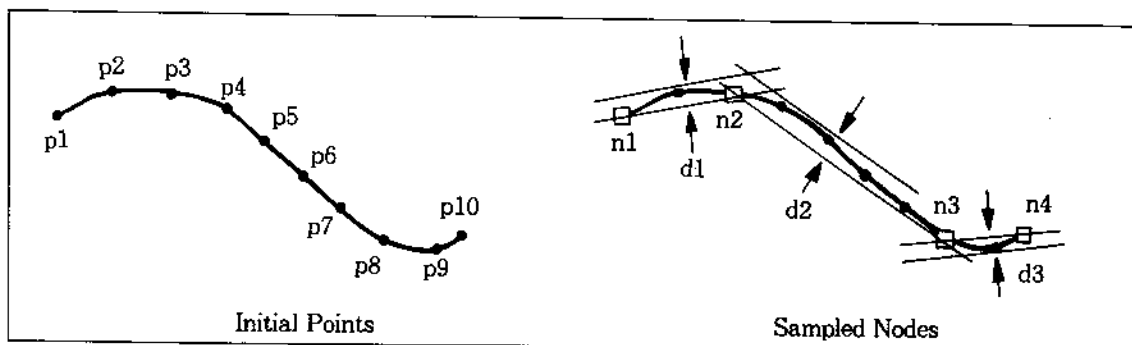
5-3. Boundary Node Sampling

Boundary Node Sampling은 각 FACE를 정의하는 EDGE들로부터 주어진 공차내에서 Node를 샘플링한다. 이때 고려할 사항은 이러한 샘플링의 결과가 VV-Rule을 만족시켜야 한다는 점이다. 자세한 내용은 다음과 같다.

5-3-1. Procedure(Flow Chart)

- Node-list : 하나의 Edge로 부터 샘플링된 Node들의 리스트로서, Cartesian Coordinate 만을 저장한다.
- Sample from Edge : 주어진 Edge를 정의하는 base curve로부터 주어진 공차내에서 Node를 샘플링한다.

- Append Node-list : 새로 Node sampling이 끝나면, 인접 FACE의 Node Sampling에 이용하기 위해서, Node-list를 Node-list 배열에 등록시킨다.
- Node-list Search : Base Curve에 'Marking'이 되어 있는 경우, 인접 Face의 Node Sampling과정에서 Node Sampling이 이미 이루어지고 Node-list에 등록되어 있는 상태에 있다. 등록되어 있는 Node-list들 가운데서 해당 Node-list를 찾는 작업을 한다.
- Get Node Info. : Node-list에 기록되어 있는 Cartesian Coordinates로 부터, Parametric Coordinates 및 곡면법선벡터를 계산한다.
- Append to NEUT.DAT : 계산된 Node Info.를 Neutral 파일에 첨가한다.



[그림 5-3] Node Sampling에 공차의 적용

5-3-2. node sampling방법 (공차 적용)

바람직한 공차는 인근 3점들이 형성하는 삼각형과 곡면의 maximum (normal) deviation에 적용되어야 한다. 그러나 이러한 공차를 적용시키는 것은 복잡한 알고리즘과 많은 계산시간을 요한다. 본 프로그램에서는 FACE boundary를 이루는 곡선들에서는 정확한 공차를 적용하고, FACE 내부에 대해서는 다음과 같은 두 가지의 방법으로 공차를 적용하였다.

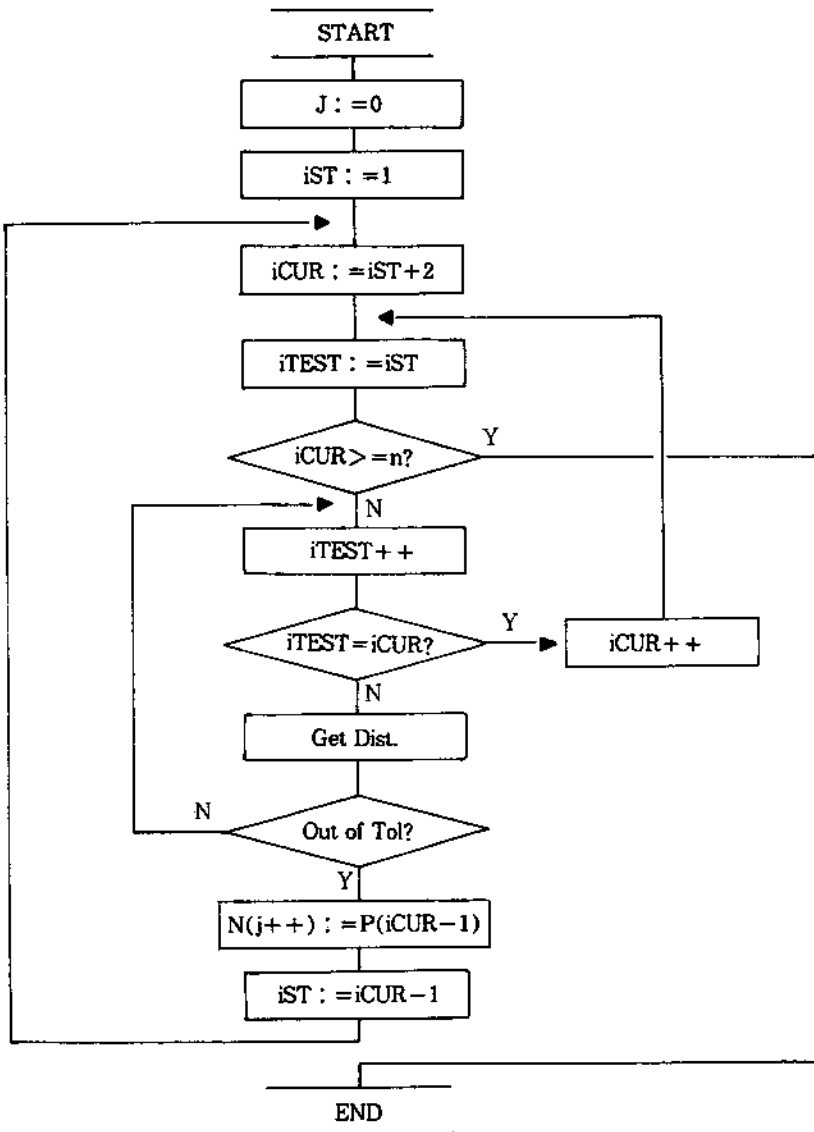
(1) Isoparametric Curve Test 방식 : Supporting surface의 중심 isoparametric curve들에만

공차를 적용

(2) Subdivision 방식 : 곡면 전반에 걸쳐서 patch를 분할, 분할된 patch의 모서리점들에 대하여 공차를 적용

각 방식은 5-4절에서 자세히 설명된다.

Boundary Curve 및 Isoparametric curve로 부터 주어진 공차를 적용시켜 Node Sampling하는 방법은 다음과 같다. 먼저 곡선상에 일정한 Arc length간격(Sampling Interval)으로 점들을 생성한다. (이들을 P(i), i=1...n라고 하자.) P(i)로부터 다음 [그림 5-4]와 같은 알고리즘에 의해서



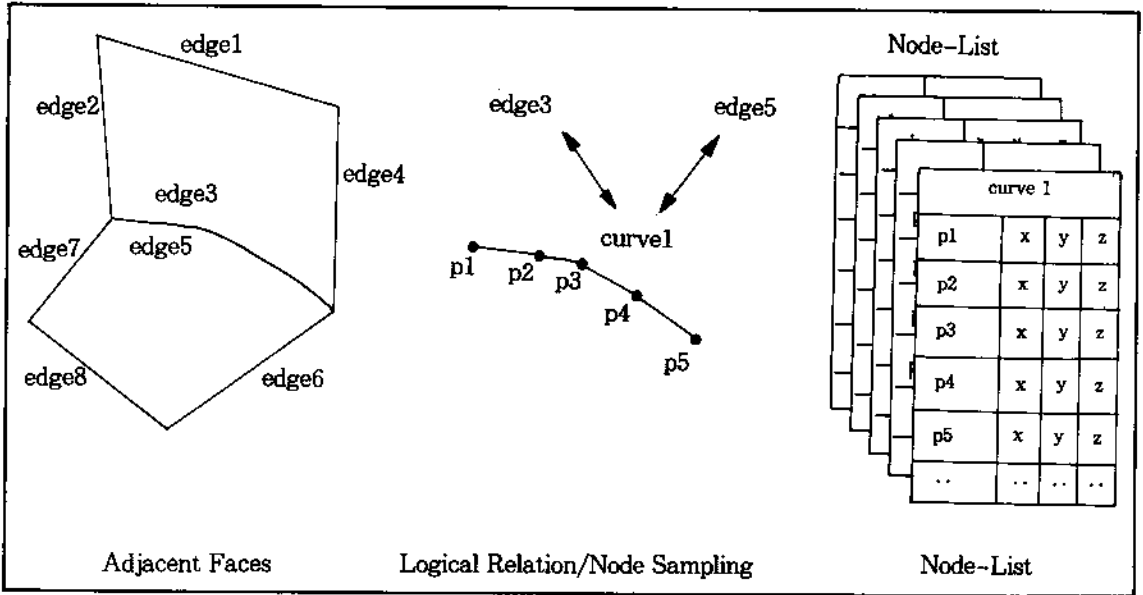
[그림 5-4] Point Sequence로 부터 Node Sampling Procedure

선별된 Node-list($N(j)$, $j=1 \cdots m$)를 생성한다. [그림 5-3]은 Node Sampling을 통해 공차 (Discretizing Tolerance)가 어떻게 적용되는가를 보여준다.

5-3-3. Vertex-to-Vertex Rule 보장

VV Rule을 만족하기 위해서는 인접하는 Face가 공통으로 사용하는 Boundary curve에서는 동

일한 Node Sampling이 이루어져야 한다. 따라서 한번 Node Sampling이 된 boundary curve(Edge의 base curve)는 인접 Face의 Boundary Node Sampling사에 재차 샘플링한다면 VV Rule이 만족되지 않는다. 따라서 이미 샘플링된 Node들을 사용해야 한다. 이것이 Boundary Sampling을 Off-boundary Node Sampling과 독립적으로 수행하는 중요한 이유 중의 하나이다. 이전에 샘플링한



[그림 5-5] VV Rule을 적용시키기 위한 Node Sampling 방법

적이 없는 어떤 곡선에서 이제 막 샘플링이 끝나면, 그 Node들은 후에 인접 Face의 샘플링에 다시 이용되기 위해서 가칭 Node-List에 저장된다. 다음 [그림 5-5]는 VV Rule이 적용된 Boundary Node Sampling의 예를 보여주고 있다.

5-3-4. Link direction

같은 domain에서 샘플링된 Boundary Node들은 하나의 Loop를 형성하게 되는데, 이들은 Parametric domain상에서 반시계방향 또는 시계방향의 방향성을 갖게된다. 그런데 TRI의 입력 데이터(NEUT.DAT)는 모든 Boundary Node들이 반시계방향의 방향성을 가질것을 요구한다. N(i)들이 Loop를 이루는 Node들의 리스트라고 하면, 다음과 같이 판정이 가능하다.

$$z = N(m) \times N(1) + \sum_{i=1}^{m-1} N(i) \times N(i+1)$$

if $z > 0$ then CCW else CW

단, N(i), $i=1..m$: Array of 2D Vectors in Parametric domain

5-4. Off-Boundary Node Sampling

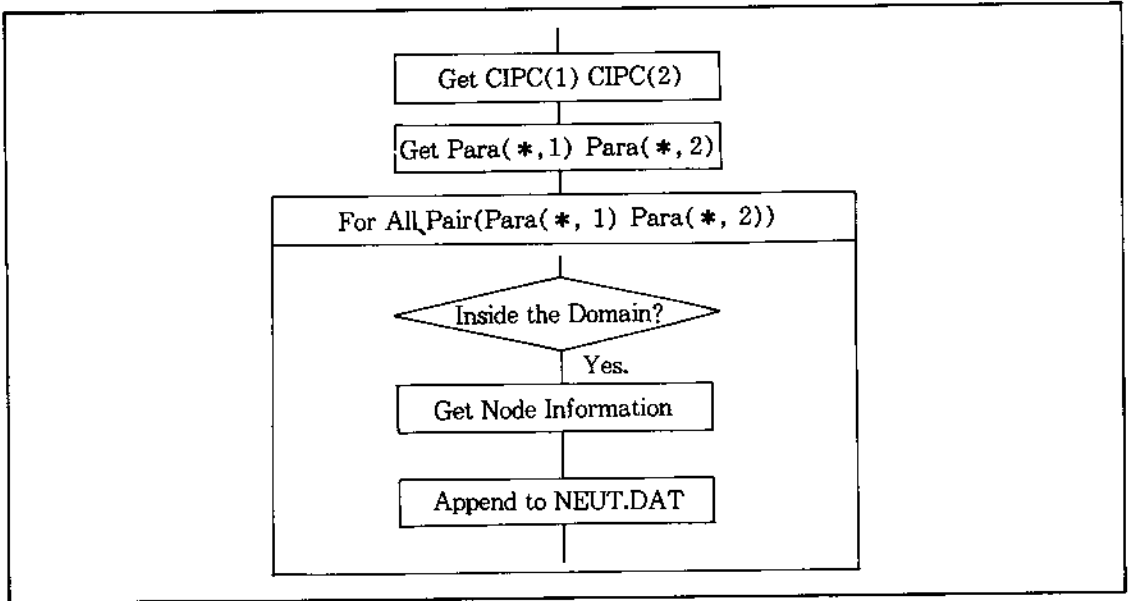
Off-Boundary Node Sampling방식으로 두가지가 고안되었다. 각 방법을 채택하고 있는 NS를 Version-1, Version-2로 부르기로 한다. Version-1의 방식은 Isoparametric Curve Test방식이라고 할 수 있고, Version-2는 Subdivision방식이라고 할 수 있다. 각 방식은 다음과 같다.

5-4-1. Isoparametric Curve Test방식

Version-1은 곡면의 형상을 감지하기 위해서 u, v 방향의 0.5-isoparametric curve들을 5-3-2절

의 방식으로 샘플링한 후 샘플링된 점들의 u, v 방향 parameter를 구하여 이들로 부터 형성되는 격

자점들의 Cartesian Coordinate을 구하는 방식이다. 대략적인 절차는 다음 [그림 5-6]과 같다.



[그림 5-6] Isoparametric Curve Test 방식 Off-Boundary Node Sampling

- CIPC(1), CIPC(2) : 각각 u, v방향의 parameter 0.5상의 Iso-parametric Curve
- Para(j, i) : CIPC(i)로 부터 Boundary Node Sampling에서와 같은 방법으로 Node Sampling을 했을때 j번째 Node의 parameter 값을 저장하는 변수

5-4-2. Subdivision 방식

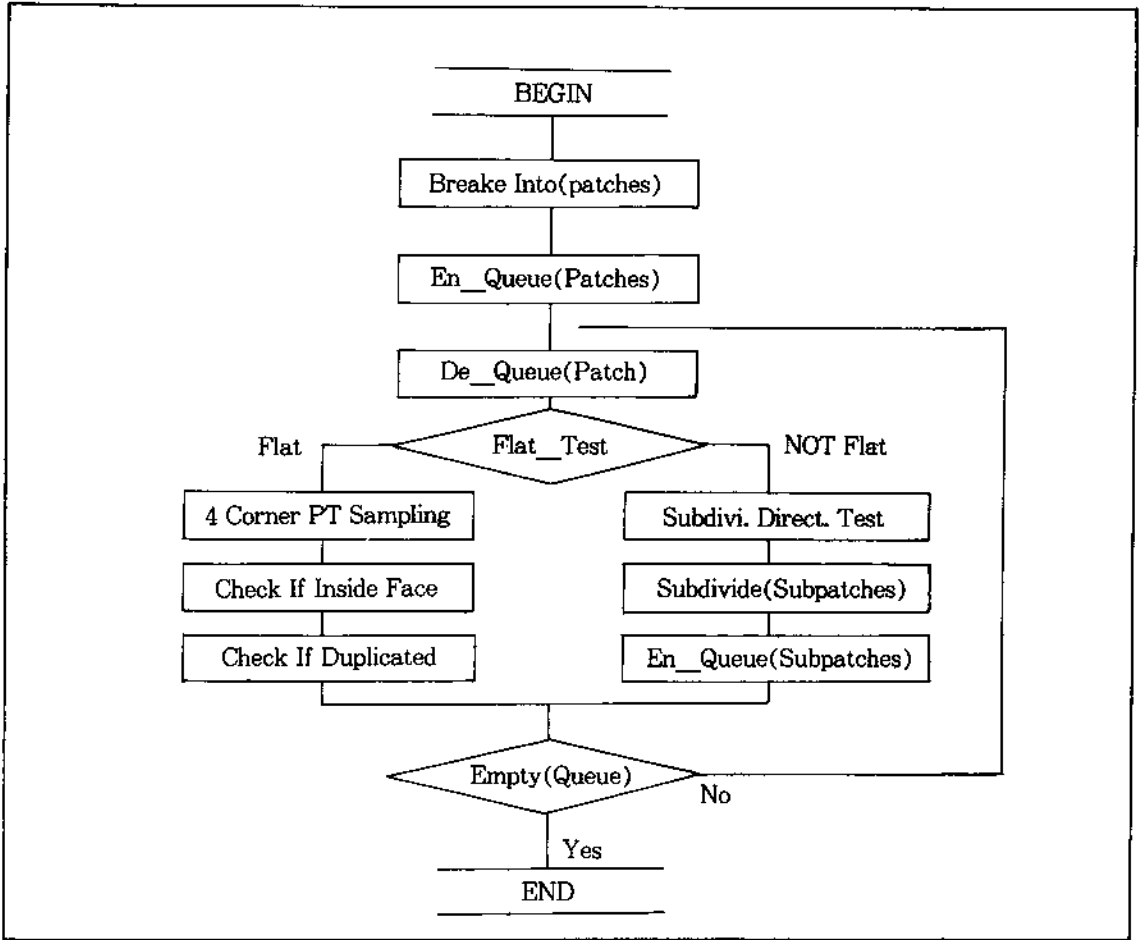
이 방식은 자유곡면의 부분적인 곡률까지도 충분히 반영되도록 고안되었다. 우선 주어진 FACE를 이루는 곡면(base surface)을 patch단위로 분할하여 Queue에 집어넣는다. Queue에서 Patch를 하나 꺼내서 Bezier Control Point Net을 구한다. Bezier patch는 그 Control Point Net이 형성하는 Polyhedron내에 존재한다는 특성[4]을 이용하여, 이들 Point Net에 대하여 편평한 정도를 판정한다.

편평하다고 판정되는 Patch로 부터 네 귀퉁이의

점들(이들은 곡면상에 존재하는 점이다.)을 샘플링하여 Off Boundary Node List에 추가시킨다. 편평도가 아직 만족스럽지 못하면, 가칭 Subdivision Direction Test를 통해서 Subdivision 방향을 결정한 후, 이 결과에 따라서 2 또는 4개의 Subpatch로 분할한다. 분할된 Subpatch들은 Queue에 집어넣는다. 이러한 절차를 Queue가 빌 때까지 반복한다. 다음 [그림 5-7]는 대략적인 Procedure이다.

□ Flat_Test

주어진 Patch로 부터 생성된 Control Point Net으로 부터 최소자승법을 이용하여 평면을 근사화한다. 이 평면과 각 점들과의 편차를 구하여 최대편차가 공차보다 작을 경우에 주어진 Patch를 편평(flat)하다고 판정한다. 진정한 의미의 공차는, 앞에서 설명한 바와 같이 인접 3 점들이 형성하는 삼각형과 patch와의 최대편차에 적용되어야 한다. 그러나 주어진 patch가 기본적으로 사각 patch라



[그림 5-7] Subdivision 방식의 Off Boundary Node Sampling

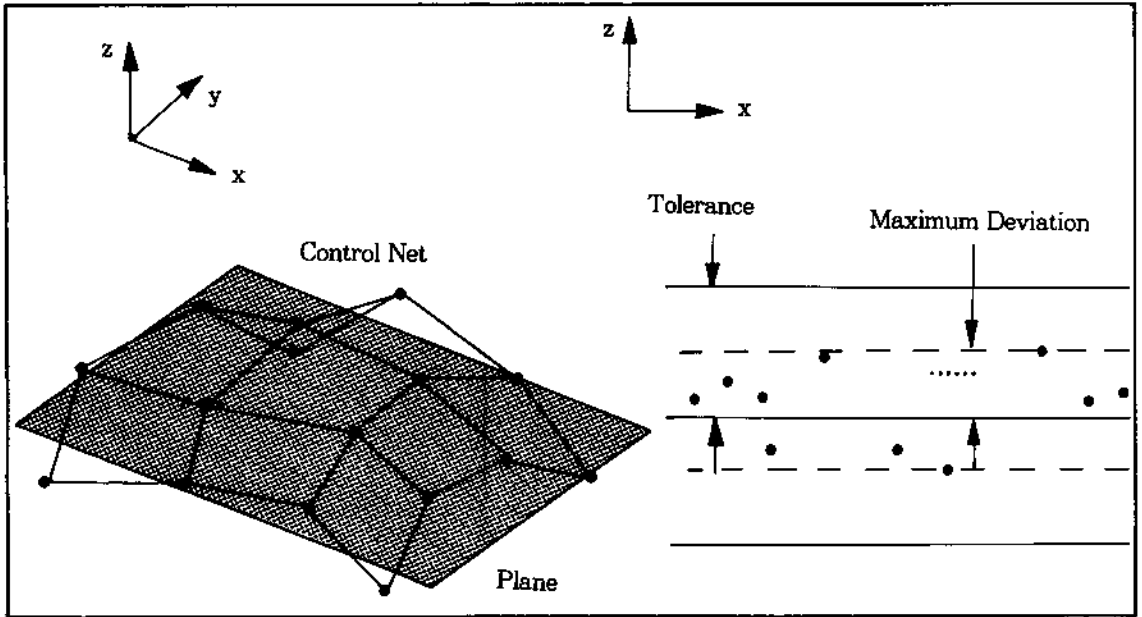
는 점 때문에 그러한 방식의 적용이 어렵다.

결과적으로 동일 공차에 대해서, 본 Flat_Test에 의한 공차 적용은 앞에서 설명한 진정한 의미의 공차 적용 보다 좀더 Tight한 조건이 된다. [그림 5-8]은 Flat_Test방식의 대략적인 설명이다.

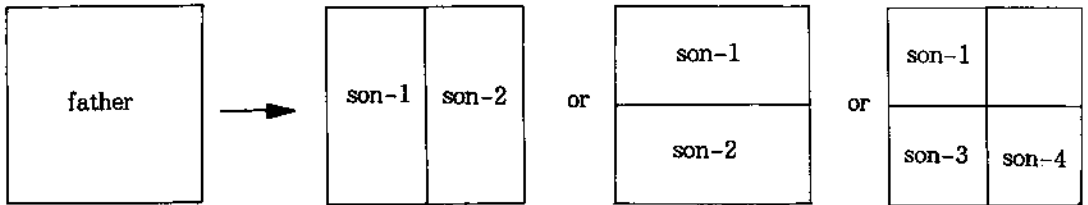
□ Subdivision Direction Test

Bezier Patch는 곡면의 정확도에 영향을 주지 않으면서 Isoparametric 방향으로의 분할이 용이하다. 자세한 내용은 생략한다. 본 Test에서는 어떤 방향으로 Patch를 분할할지를 결정한다. 다음 [그림 5-9]와 같이 하나의 patch는 3가지 형태로 분할될 수 있다.

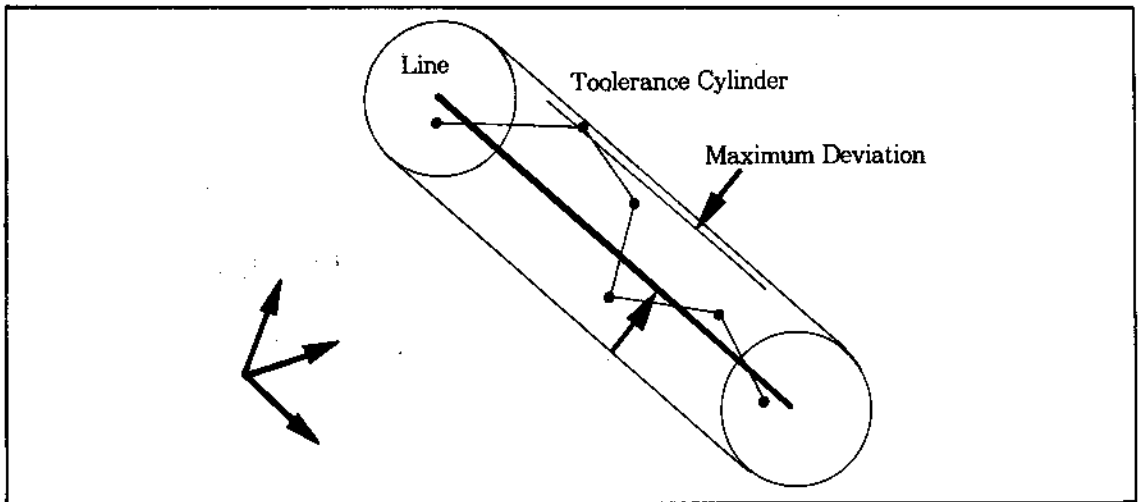
u 또는 v 방향으로 분할 여부를 결정하기 위해서, 각 방향의 Control Point들로부터 최소자승법을 사용하여 하나의 직선을 근사화한다. 이 직선과 Control Point간의 최대편차간을 계산하여 한 방향(u 또는 v)의 모든 Control Point들이 공차 내부에 들어오는 경우에, 그 방향으로서는 분할하지 않는다. 다음 [그림 5-10]는 Test 방법을 보여준다.



[그림 5-8] Flat_Test 방법



[그림 5-9] patch의 분할 방법



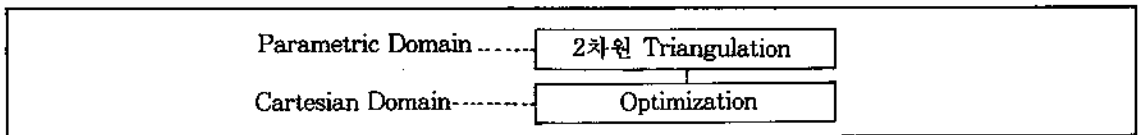
[그림 5-10] Subdivision Direction 결정방법

6. Triangulation

Triangulation의 기본적인 이론은 기존의 많은 문헌에 나타나있다. 본 연구에서는 Lawson의 Triangulation 방법[5]를 주로 원용하고, Triangulation data의 Optimization 부분에서는 「신하용」의 연구결과[1]를 채용하였다. 본 보고서에서는 이들 알고리즘에 대한 자세한 설명보다는 전체적인 절차만을 정리하였는 바, 이들에 대한 자세한 내용은 참고문헌[1]을 참조하기 바란다.

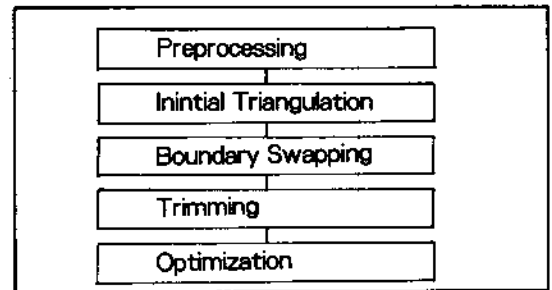
본 연구에서 취급하는 Triangulation은 대상으

로 삼고 있는 Domain에 따라서 크게 두 단계로 나누어진다. 첫 단계는 Parametric Domain에서 수행된다. 따라서 이 단계는 2차원 Triangulation에 해당한다. 그러나 이러한 Triangulation은 단지 Topological Relation만을 고려할 뿐, 3차원상의 자세한 형상특성(Geometric Properties)은 고려하지 않는다. 이러한 Geometric Problem들은 둘째 단계인 Triangulation Optimization을 통해서 해결한다. 3차원 Cartesian Domain에서 수행되는 둘째 단계를 통해서 삼각형들의 모양이 “even”한 형태로 개선된다.



[그림 6-1] Triangulation의 Domain 구분

Triangulation은 대략적으로 다음 [그림 6-2]와 같은 절차를 거쳐서 수행된다. 각 단위 작업들은 아래에 설명된 바와 같다.



[그림 6-2] Triangulation Overview

- Preprocessing : 읽어들이는 NEUT.DAT로부터 필요없는 Node는 제거한다. (필요없는 Node : NS에서 Face 내부의 점으로 판정되었으나 Boundary Node Sampling에 의해서 형성되는 Boundary Polygon의 외부에 존재하는 Node들이 있다. 이들은 TRI에서 오차를 유발한다.)
- Initial Triangulation : 모든 Node들의 중심점을 계산, 그 점으로부터 떨어진 거리에 따라 Sorting한 후 처음 세점으로 삼각형을 형성한다. 여기에 차례로 한 Node씩 추가해가면서 이미 형성된 삼각형 군의 외곽선을 이용하여 삼각형을 형성하여 나간다. 결과적으로, Domain

boundary는 무시된 채 Convex Polygon을 boundary로 가지는 초기 Triangulation이 생성된다.

- Boundary Swapping : Inner boundary 및 Outer boundary상에 반드시 삼각형의 Edge가 존재하도록 인근 삼각형간에 조정작업을 한다.
- Trimming : Inner boundary의 내부에 존재하거나 Outer boundary의 외부에 존재하는 삼각형들을 제거한다.
- Optimization : 삼각형의 모양이 'even'해지도록 인근 삼각형간에 조종작업을 한다. 더이상의 개선이 없을 때까지 반복한다.

7. 프로그램 특성

7-1. 프로그램의 구조

본 연구를 통해 개발된 프로그램은 크게, (1) Node Sampling, (2) Triangulation, (3) Verification의 기능을 가진 NS, TRI, DR이라는 세 개의 독립된 프로그램으로 나뉘어지며, 각각 프로그램들 간에는 일정한 형태의 Netual 파일을 통해서

데이터를 주고 받는다. 따라서 각 프로그램은 독립적으로도 수행이 가능하여 다른 응용 프로그램의 개발에도 이용할 수 있다.

7-2. 프로그램의 처리 용량

현재 각 프로그램의 처리 가능 용량은 다음 <표 7-1>에 정리된 바와 같으며, 차후 필요에 따라 좀 더 용량이 확장될 수 있을 것이다.

<표 7-1> NS 및 TRI의 처리 용량(1991. 6. 25 현재)

NS : Node Sampler(Grid Method)		TRI : Triangulation	
Face 갯수/Volume	: 제한 없음	Face 갯수/Volume	: 제한 없음
Initial Points/Edge	: 500	Nodes/Face	: 650
Nodes/Edge	: 200	Triangle/Face	: 1050
Nodes/Domain Boundary	: 1000	Triangle Edges/Face	: 1700

Initial Points/Edgs는 5-3-2절에서 설명한 P(i)의 갯수를, Nodes/Edge는 N(j)의 갯수를 각각 의미한다. Nodes/Domain boundary는 하나의 domain을 규정하는 Boundary Edge들로부터 샘플링된 Node 수의 합을 의미한다.

8. 수행 예제

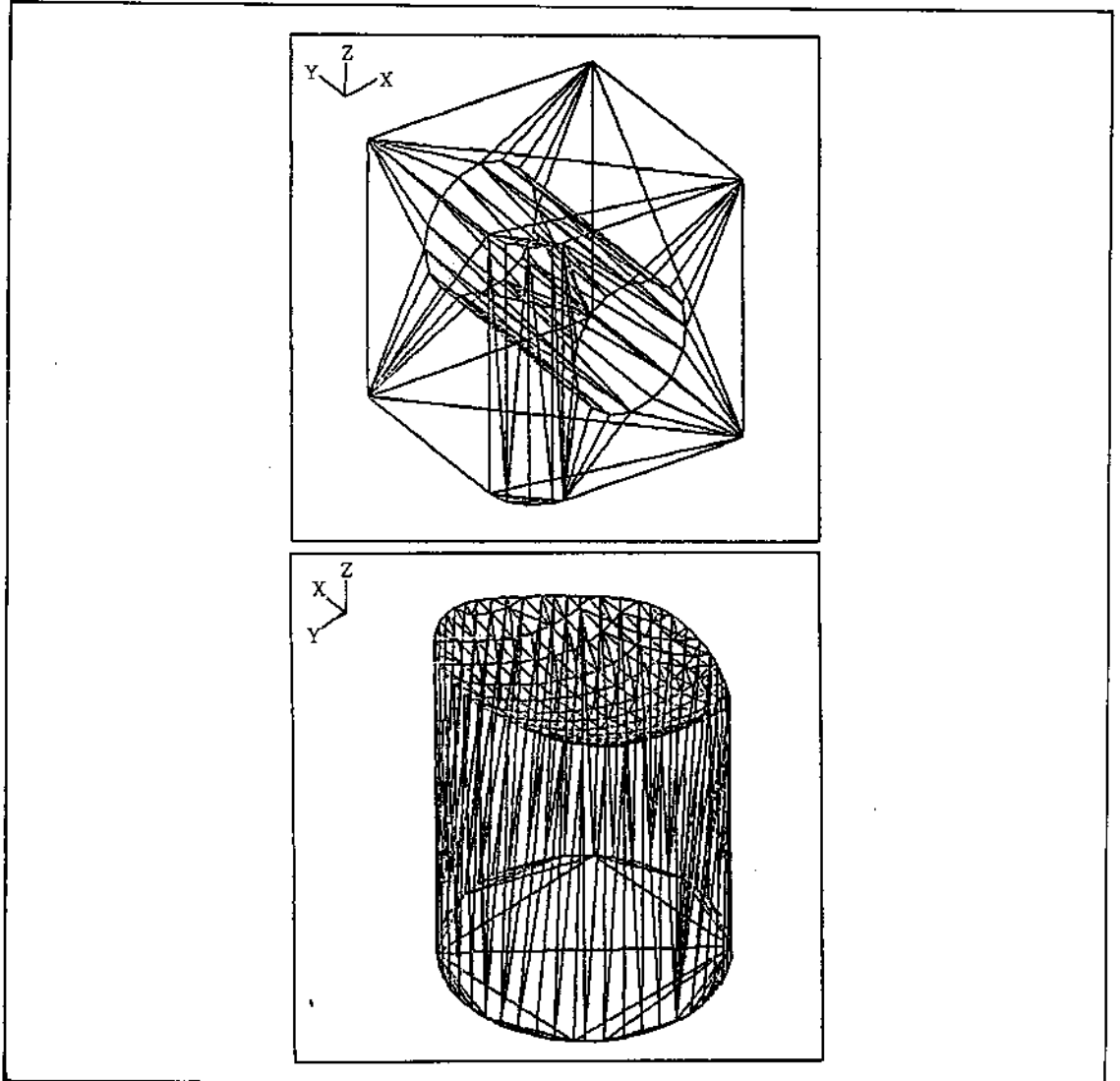
다음 [그림 8-1]은 NS 및 TRI를 통해서 형성된 삼각형 망을 DR을 이용하여 화면에 출력시켜 본 결과이다. 첫 예제는 Rounding된 모서리와 원통형의 구멍이 있는 직육면체이고, 둘째 예제는 한쪽 면이 자유곡면인 원통이다. 두예제를 통해서 삼각형망이 경제적으로 형성되었음을 알 수 있다.

9. 결 언

제품개발주기의 단축을 위해서 최근 강조되고 있

는 개념으로서 Simultaneous Engineering 혹은 Concurrent Engineering을 뽑을 수 있다. 이는 제품개발에 참여하는 각 기능 부분들이 초기설계 단계에서 부터 동시적으로 참여하여야 그 효율을 증대시킬 수 있다는 것이다. 이러한 개념은 컴퓨터의 발전에 힘입어 구체화가 가능해지고 있는데, 특히 컴퓨터에 의한 모의 실험 및 검증(simulation 및 verification), 기술부문의 데이터베이스화(engineering database), CAD/CAM 통합에 의한 자동 생산등이 중요한 도구로 사용되고 있다.

본 논문에서 중점적으로 취급된 Rapid Prototyping 역시 CAD/CAM 통합에 의한 자동생산의 일환으로 볼 수 있는데, 특히 그 주요 대상 영역이 직접적으로 양산적 생산에 연결되기 보다는 설계 내지 스타일링의 개념 검토를 위한 시작품 제조에 역점을 두고 있다. CAD/CAM 통합에 관련된 주요 관심 영역으로서, Rapid Prototyping에 대한 관심이 일어나기 이전에는, NC 가공이 있었다[6]. NC 가공과 SLA에 의한 Rapid Prototyping의 유사점은 이들이 CAD 정보에 기초하여



[그림 8-1] 두 수평 예제

그 가공정보를 도출하여 낸다는 점이다. 반면에 서로 다른점은, 이들이 기본적으로 다른 제조 공법을 사용하고 있을 뿐 아니라 가공을 위해 사용되는 CAD 정보가 NC 가공의 경우는 대부분의 경우 곡면정보를 그 토대로 하고 있는 반면, SLA의 경우에는 Solid 내지는 Volume 정보와 같이 닫혀진 (closed) 물체를 그 토대로 하고 있다는 점이다. 자동차 산업의 경우, 이러한 사실로부터 유도할

수 있는 사실은, 시제품 제조시에 차체와 같이 자유곡면을 가지고 있는 부품의 경우에는 곡면모형화 과정을 거쳐 NC 가공이 유용하게 사용될 것이며, 엔진 부품과 같이 Solid모형화 과정으로 CAD 정보가 형성되는 경우에는 SLA를 통한 성형이 유용하게 사용된다는 점이다.

본 연구를 통해서 Rapid Prototyping용 SLA기기와 CAD 정보와의 Interface를 개발하였으나,

그 외에도 SLA의 효과적인 사용을 위해서는 물체의 안정적 자세(stable position)를 찾는 문제와 지지대(support)를 자동적으로 설계하는 문제등이 효과적으로 해결되어야 할 것이다.

10. 참고문헌

[1] 신하용, "삼차원 공간상의 불규칙한 점군을 보간하는 곡면 모델링에 관한 연구", 한국과학기술원 박사학위논문, 1991.

[2] 3D Systems Inc., "Stereolithography Interface-Specification", 3D Systems Inc., October 1989.

[3] Ashley Steven, "Rapid Prototyping Systems", Mechanical Engineering, April 1991, pp.34-43.

[4] Farin, G., *Curves and Surfaces for*

Computer-Aided Geometric Design, Academic Press, 1988.

[5] Lawson, C.L., "C1 Surface Interpolation for Scattered Data on a Surface", Rocky Mountain Journal of Mathematics, Vol.14, No.1, 1984.

[6] Lee W.J. and Hong Y.S., "Analysis of NC Tool Path Generation Methods for the Manufacturing of Sculptured Surfaces", to be appeared in the proceedings of the 6th International Pacific Conference on Automotive Engineering, Oct. 28-Nov. 1, 1991, Seoul, Korea

[7] Weiss, L.E. *et al.*, "A Rapid Tool Manufacturing System Based on Stereolithography and Thermal Spraying," Manufacturing Review, Vol.3, March 1990, pp.40-48