

密度增加式 標本抽出法에 관한 研究

— 抽出條件을 中心으로 —

Progressive Sampling Implementing Different Criteria

李	石	贊*
Lee,	Suk	Chan
曹	圭	田**
Cho,	Kyu	Jon

Abstract

The progressive sampling method adapts well to the local variabilities of the input terrains, and is therefore one of the most efficient sampling methods in DTM.

The efficiency of progressive sampling can be enhanced by increasing the comprehensiveness of grid densification criteria, with superfluous points reduced and/or suppressed.

In this investigation, four different criteria were applied to the numerical test, and the suppression criterion was found the most significant among them.

要 旨

密度增加式 標本抽出法은 入力地形의 變異性에 잘 부합되고 가장 效率的인 標本抽出法中の 하나이다. 이들 效率性들은 몇 가지의 抽出條件을 부과하여 剩餘點들을 除外시킴으로서 그 效率性을 크게 向上시킬 수 있다.

研究에서는 抽出條件으로서 4 가지 即, 標準形, 跳躍形, 留保形, 混合形을 적용하여 수치시험을 實施하였으며 그 결과 그 중에서 留保形條件이 가장 주목할 만한 抽出條件임을 알 수 있었다.

1. 序 論

密度增加式 標本抽出法은^(1,2,3,4,5,6) 入力지형의 특성에 비례하여 標本點의 密度가 자동조절되는 성질을 가지고 있으며 이러한 성질은 入力資料 解析의 기초가 되는 基準값(示算값, 抽出條件等)을 어떻게 적용하는가에 크게 영향을 받는다.

이들 기준값들은 毎回 標本抽出時마다 標本點의 밀도를 점진적으로 증가시키는데 결정적인 判

斷要素가 된다^(2,5,6).

基準값은 論理的이어야 하며 고려될 수 있는 모든 경우가 포함되어야 한다. 따라서 入力자료의 성질, 표본추출과정, 결과값의 필요조건 등도 당연히 포함되어야 한다. 가장 효율적인 標本抽出法은 필요한 모든 標本點을 최대로 수록하고 불필요한 剩餘點^(2,5)들을 최소로 줄일 수 있도록 基準값을 어떻게 적용하느냐에 달려있다.

本 研究에서는 數值試驗을 中心으로 示算값과 抽出條件의 관계를 研究검토하고자 하였으며 특히 抽出條件으로서 4 가지 形態(즉, 標準形, 跳躍形, 留保形, 混合形……제 2 장 2 절 참조)를

* 正會員 · 漢陽大學校 工科大學 敎授

** 正會員 · 亞細亞航業(株) 技術理事

적용하였다^(2,3,5).

특히 本 研究는 筆者의 小考 “數值地形模型에 대한 연구”(本 論文集 第2卷 第1호, '82년 3월)에 대한 補完研究이며 이때 사용하였던 모든 입력자료를 똑같이 本 研究에 적용하였다.

2. 密度增加를 위한 基準값 (示算값 및 抽出條件)

2-1. 示算값^(2,3,5)

標本抽出의 效率性은 標本點의 밀도를 결정하는 요소 즉, 基準값을 어떻게 결정하는가에 크게 영향을 받는다. 이러한 效率性은 여러가지 變數에 의거 결정되어지지만 그 중에서도 특히 入力地形의 지역적인 “地形變異性”^(1,5)은 반드시 논의되어야 할 사항이다.

地形의 變異性은 入力變數의 제 2차 높이差, δh 로서 표시된다(그림 1).

이들 제 2차 높이차(δh)가 어떤 基準값 即, 示算값을 초과할 경우에는 標本點의 밀도는 증가된다.

示算값을 결정하는 데는 여러가지 방법이 있으며 일반적으로 다음과 같이 표현할 수가 있다. 즉,

$$\delta h_{th} = f(T, P, S)$$

여기서 T 는 入力지형의 성질을 표시하는 因子群(입력자료의 일반적인 變異性), P 는 標本抽出過程에서 나타나는 因子群(비행고도, 관측오차 등) S 는 최종결과값의 성격을 나타내는 因子群(정확도, 등고선간격, 미국C-계수 등)들을 나타낸다.

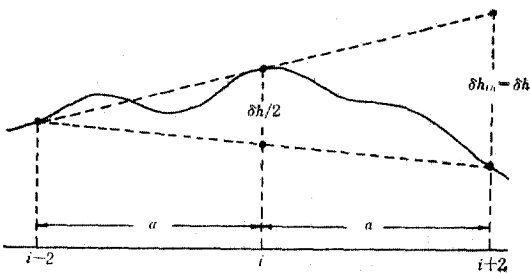


그림 1. 示算값의 정의

示算값을 추정하는 방법중 몇 가지를 기술하면 다음과 같다.

方法 1. 偶然誤差式 示算값

이 方法은 入力지형의 地形變異性이 偶然性에 그 근거를 두고 있으며 이로 인하여 발생하는 오차를 우연오차로 표시할 수 있다고 가정한다. 만일 이러한 偶然性을 하나의 標準誤差(σ_{noise})로 表示할 수 있다고 가정하면 示算값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\sigma_{noise} = k \cdot \sigma_0$$

$$\delta h = 2 \sigma_{max}, \sigma_{max} = g \cdot \sigma_{noise}$$

$$\delta h = \delta h_{th} = 2 \sigma_{max} = 2 \cdot g \cdot \sigma_{noise} = 2 \cdot g k \sigma_0$$

$$\text{즉 } \delta h_{th} = 2 \cdot g \cdot k \cdot \sigma_0$$

여기서 $k \in T, g \in S, \sigma_0 \in P$

$k \approx 2, g \approx 2 \sim 3, \sigma_0$ 는 높이의 표준오차를 표시하며 이들의 선택은 여러 경우에 따라 각각 면밀히 검토하여 사용하여야 한다.

方法 2. 拋物線式 示算값

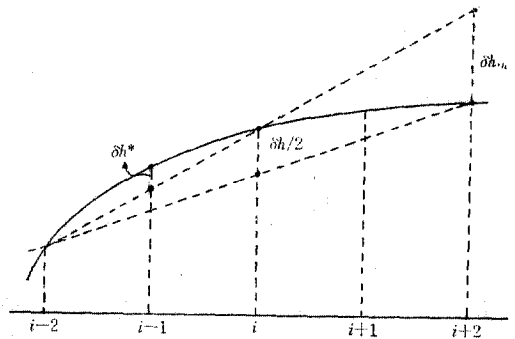


그림 2. 拋物線式 示算값

이 方法은 入力地形의 地形變異가 2차 포물선의 형태와 근사하다는 가정아래서 결정하는 것이다.

$$\text{즉 } \delta h^* \approx \frac{1}{4} \delta h / 2 = \frac{1}{8} \delta h_{th}$$

$$\delta h^* = g \cdot \sigma_0$$

$$\text{따라서 } \delta h_{th} = 8 \cdot g \cdot \sigma_0$$

단, $g \in T, g \in S, \sigma_0 \in P$ 를 나타낸다.

方法 3. 線形式 示算값

이 方法에서는 일부는 기하학적, 일부는 통계적인 가정에 근거를 두고 있다. 즉 零次抽出時의 格子간격 a (그림 1)와 要求되는 상대오차 s (예 0.04)에 그 근거를 두고 있다.

$$\delta h_{th} = a \cdot s$$

여기서 $a \in T, s \in P, S$ 를 表示하며 相對誤差 s 를 결정할 때에는 여러가지 경우에 따라 신중히 검토되어야 한다.

方法 4. 等高線式 示算값

이 方法은 미국 c -계수에 근거를 두었다. 즉 $c = z/\Delta h$, 여기서 z 는 비행고도, Δh 는 최소가능 등고선 간격을 나타낸다. 경험적인 예로부터 $\Delta h = k \cdot \sigma_h$ (k 는 보통 2~3), $\delta h = 2\sigma_{max} = 2g\sigma_h$ 라 할 수 있다(σ_h 는 등고선의 높이 정확도, g 는 상수이다). 따라서 示算값 δh_{th} 는

$$\delta h_{th} = \delta h = 2 \cdot g \cdot \sigma_h$$

여기에 $\sigma_h = z/kc$ 를 대입하면

$$\delta h_{th} = 2 \cdot \frac{g}{k} \Delta h$$

단, $k \in T, z \in P, c \in T, g \in S$

2-2. 抽出條件(剩餘點의 처리)^(6,6)

入力地形情報의 變異性分析 과정에서 크게 영향을 주지 못하는 剩餘點들은 적절한 標本抽出條件에 의하여 省略되어야 한다. 抽出條件을 적용함에 있어서 사후 교정적인 방법은 이미 抽出된 標本자료에 적용할 수 있으나 반대로 예방적인 조치는 抽出效率를 현저히 저하시킬지도 모른다. 그러므로 이러한 조치들은 標本抽出분석시 전부 고려되어야 하며 특히 예외적인 경우 까지도 포함되어야 한다. 그 중에서 가장 적합한 경우는 그림 3에 표시된 것과 같은 지붕형 지형을 들 수 있다.

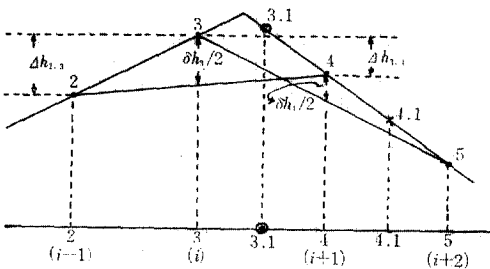


그림 3. 지붕형지형에서의 표본추출

그림에서 제 2차높이차 $|\delta h|$ 가 示算값, δh_{th} 보다 클 경우에는 양쪽 格子간격 3,4와 4,5 사이에 있는 두 점(3.1과 4.1점)은 반드시 標本으로 抽出되어야 한다.

그러나 점 4.1에 대하여 관찰하여보자. 점 4.1은 제 2차 높이차, $\delta h_3, \delta h_4$ 에 의하여 결정되며 이들 제 2차 높이차는 같은 제 1차 높이차, $\Delta h_{3,4}$ 로부터 유도되었으므로 사실상 剩餘點인 것이다.

이들 剩餘點들을 標本抽出에서 除外 또는 留保시키기 위하여는 다음과 같은 방법을 사용한다. 格子區間 $i, i+1$ 에서 $\delta h \geq \delta h_{th}$ 을 試驗하고자 한다. 이때 普通의 경우에는 δh_i (여기에서는 δh_3)와 δh_{i+1} (δh_4)를 순차적으로 이 格子區間에서 계산한다. 그러나 이 剩餘點(점 4.1)을 除外키 위하여는 단지 δh_i (δh_3)만을 계산하고 δh_{i+1} 의 계산은 생략한다. 다음의 제 2차 높이차 δh_{i+2} (즉 δh_5)는 다음의 格子간격 $i+1, i+2$ (즉 4,5와 5,6)에서 결정된다. 다시말해서 $|\delta h_i| \geq \delta h_{th}$ 일 때 δh_i 만 계산하고 δh_{i+1} 은 省略한다. 이와 같이 δh_{i+1} 을 건너뛰는 方法을 跳躍形抽出條件이라 한다.

다른 하나의 方法은 留保形을 말할 수 있다.

이 方法은 그렇게 중요치 않은 地形變異性을 가지고 있는 경우에는 中心點만 추출하고 그 주변에 있는 6개의 주변점을 抽出하지 않는 方法이다. 標準形 抽出條件에서는 만일 $|\delta h_i|$ 가 示算값 δh_{th} 보다 클 경우, 中心點과 그 주변점 6개를 동시에 標本點으로 抽出한다. 이렇게 추출된 중심點과 주변점들은 하나의 작은 지형의 斷片을 상징적으로 표시한다. 만일 이들 지형의 작은 斷片의 表面이 평면으로 되었거나 이에 유사한 상태라고 하면 이 斷片은 하나의 점, 즉 中心點으로 표시할 수 있으며 주변점 6점은 사실상 불필요하게 된다. 다시말해서 中心點의 참값과 補間法에 의해 구해진 값과의 차이가 示算값의 $\frac{1}{2}$ 보다 적으면 6개의 주변점은 모두 抽出을 留保한다.

點 4.1과 같은 剩餘點들은 每回 標本抽出時마다 零次추출시를 제외하고는 모두 나타날 수 있다. 따라서 이들이 標本抽出에서 留保되지 않으면 每 中心點마다 모두 최대 6점씩의 주변점이 발생하므로 留保形과 같은 抽出條件을 부여함으로써 불필요한 노력을 제거할 수 있다.

다른 하나의 가능한 方法으로서는 混合形을 들 수가 있다. 즉 跳躍形과 留保形을 동시에 적용해 보는 方法이다. 본 연구에서는 이들 4가지의

경우를 모두 검토하였다.

3. 수치시험 및 결과분석

3-1. 수치시험

경기도 화성군 비봉면 일대의 축척 1:6,000 항공사진을 A-10 정밀도화기를 사용하여 현장실 거리 10m 격자간격으로 총 1,089점의 입력지형 자료를 획득하였다⁽⁶⁾.

수치해석시험에서는 標本抽出條件들이 密度增加式 標本抽出法の 効率性和 正確性에 어떠한 영향을 주는가를 검토하는데 주안점을 두었다. 첨가적으로 이들이 土工量에 미치는 영향도 검토하고자 하였다. 抽出條件으로서 본 論文에 설명된 抽出條件들 즉 標準形, 跳躍形, 留保形, 混合形을 모두 적용하였으며 示算값으로서 1, 2, 3, 4, 5m의 5개를 사용하였다. 따라서 본 시험에서는 총 20개의 경우(4조건×5시산값)가

고려되었다. 아울러 총 20가지의 경우가 각각 토공량에 어떠한 영향을 주는가도 검토되었다. 토공량의 참값은 현장 실측값으로부터 산출되었다. 한편 本 標本抽出法 시행에서의 토공량은 抽出된 標本값을 기준으로 하였으며 이들 標本點을 사용하여 補間法에 의거 추출되지 않은 格子點을 구하였다. 이렇게 해서 얻어진 토공량과 그 참값을 비교하여 오차분석에 적용하였다.

3-2. 數値試驗結果 및 分析

表 1 및 그림 4, 5, 6, 7, 8, 9는 모두 수치시험 결과를 나타낸 것들이다. 특히 그림 4는 抽出된 標本の 圖式的 例로서 각각 標準形, 跳躍形, 留保形 混合形 등 4가지 抽出條件의 경우를 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 우리는 각 抽出條件마다 어떻게 標本の 密度가 變化(감소)되며 地形의 變異性에 어떻게 적응되는가를 아주 쉽게 알 수 있다.

表 1. 數値試驗 結果

示算 값	區分 條 件			抽出된百分率		最大誤差	標準誤差	盛土量百分率		切土量百分率		平均土 工誤差
				標本數	%			誤 差	%	誤 差	%	
1 m	標	準	形	918	84.3	1.35	0.12	1528	0.89	-2814	-1.63	1.26
	跳	躍	形	797	73.2	3.45	0.29	3354	1.95	-2338	-1.36	1.65
	留	保	形	656	60.2	1.9	0.24	2838	1.65	-3879	-2.25	1.95
	混	合	形	514	47.2	3.45	0.43	6689	3.89	-2581	-1.50	2.70
2 m	標	準	形	562	51.6	1.95	0.31	3449	2	-2740	-1.59	1.80
	跳	躍	形	504	46.3	3.45	0.38	4697	2.73	-4115	-2.39	2.56
	留	保	形	237	12.8	2.85	0.54	5526	3.21	-6835	-3.96	3.59
	混	合	形	190	17.4	3.45	0.77	8396	4.88	-16526	-9.58	7.23
3 m	標	準	形	375	34.4	2.7	0.42	5714	3.32	-6969	-4.04	3.68
	跳	躍	形	344	31.6	2.7	0.45	7270	4.23	-7785	-4.51	4.37
	留	保	形	135	12.4	7.1	0.95	-1051	-0.61	-7979	-4.63	2.62
	混	合	形	107	9.8	7.1	1.06	2006	1.16	-13485	-7.82	4.49
4 m	標	準	形	267	24.5	2.7	0.49	4376	2.75	-6669	-3.87	3.31
	跳	躍	形	232	21.3	3.45	0.67	8104	4.71	-6563	3.80	4.25
	留	保	形	106	9.7	7.1	0.98	904	0.53	-9082	-5.26	2.90
	混	合	形	83	7.6	7.1	1.11	2109	1.22	-8239	-4.78	3.00
5 m	標	準	形	139	12.8	7.1	0.96	-2261	-1.31	-5080	-2.95	2.13
	跳	躍	形	134	12.3	7.1	1.03	-1439	-0.84	-6150	-3.57	2.20
	留	保	形	58	5.3	7.1	1.21	2412	1.40	10238	5.93	3.67
	混	合	形	56	5.1	7.1	1.27	3472	2.02	4514	2.62	2.32

일반적으로 示算값을 증가시키거나 抽出回數를 감소시키면 標準抽出効率が 增加한다는 사실은 이미 本誌에 발표된 바 있다⁽⁶⁾. 그러나 이러

한 사실은 비록 標準形條件에서만 적용되는 것이 아니라 4가지의 抽出條件에서도 모두 적용된다는 사실을 그림 4, 5로부터 알 수 있다. 다

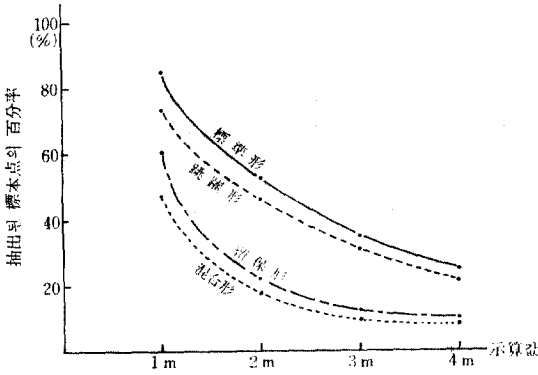


그림 5. 標本點의 抽出率과 示算값

시 말해서 標準形 標本抽出法보다 抽出條件을 적용하면 그 效率性이 현저히 增加하며 그 순서는 標準形, 跳躍形, 留保形, 混合形의 순서이며 그중에서도 留保形의 경우가 가장 뚜렷함을 알 수 있다. 特記할만한 사항으로서 4가지 抽出形態가 2가지의 部類로 구분된다는 사실이다. 즉 標準形과 跳躍形이 한 組를 형성하고 留保形과 混合形이 다른 한 組를 형성함을 알 수 있다.

그림 6은 標準誤差에 대한 분석결과이다. 標準誤差는 補間法에 의거 구해진 높이와 참값(기본입력값)과의 차로서 계산되었다. 표준오차의

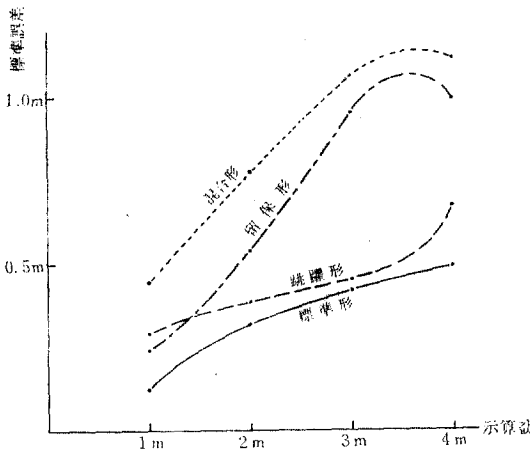


그림 6. 標準誤差와 示算값

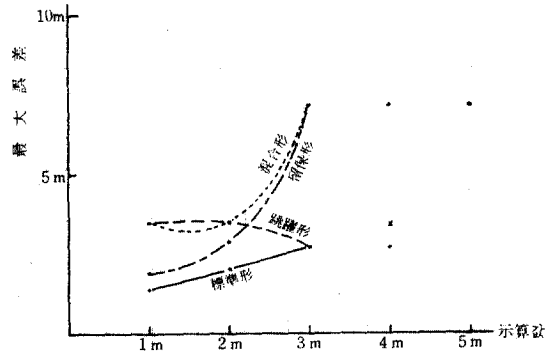


그림 7. 最大誤差와 示算값

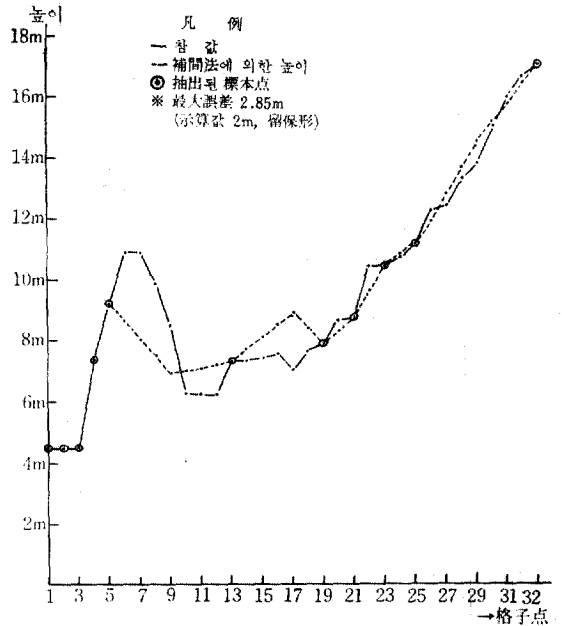


그림 8. 最大誤差가 발생한 斷面(例)

경우도 效率性 분석에서 나타난 결과와 같이 4개의 抽出條件에서 각각 2개의 部類로 분류됨을 알 수 있다. 특히 效率性이 增加함에 따라 標準誤差도 增加하고(正確性의 低下現象) 效率性의 增加率과 正確性의 低下率이 거의 같다는 사실을 알 수 있으며 우리가 正確도를 적절히 規定

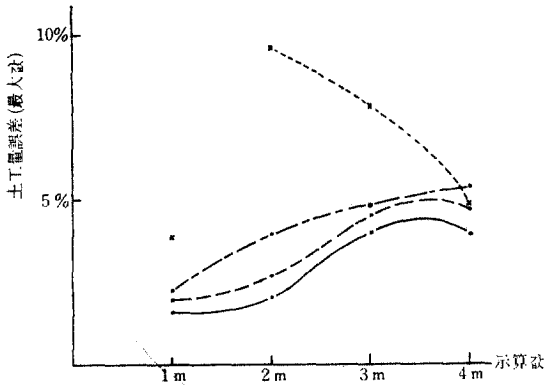


그림 9. 土工量誤差 (最大값)

한다면 그 效率性을 크게 높일 수 있으며 특히 留保形條件은 여기에서도 특기할 만하다.

最大誤差는 일반적으로 示算값의 增加에 비례하여 커지며 다른 경우에서도 같이 4가지 抽出條件 모두에서도 같은 이론이 성립됨을 알 수 있다. 그림 7은 이들의 관계를 표시한 그래프이다. 이것으로부터 일정한 크기의 示算값 이내에서의 최대오차는 그 크기가 거의 일정하므로 영향이 적다는 것을 알 수 있으며 특히 4가지 抽出條件 중 跳躍形에서 높게 나타남을 쉽게 알 수 있다. 이는 跳躍形의 論理的 근거로부터 쉽게 推理될 수 있는 것이다. 그림 8은 최대오차가 발생한 단면의 현상을 나타낸 것이다.

그림 9에 표시한 토공량오차는 절토 및 성토량 중에서 최대값만을 선정한 것이며, 示算값의 증가에 따라 토공량의 오차도 증가하나 일정한 값이상(예, 3m)에서는 오차가 일정함을 알 수 있다. 이러한 사실은 混合形을 除外한 기타 3개

의 抽出條件에서도 같은 현상을 보이고 있다.

5. 結 論

密度增加式 標本抽出에서 몇 가지의 抽出條件을 부여하면 다음과 같은 특징이 있다는 사실을 알 수 있다.

1. 標本抽出條件을 活用하면 效率性을 크게 增大시킬 수 있으며 이러한 사실은 4가지의 形態중에서도 특히 留保形의 경우(약 30% 효율증대) 뚜렷하게 나타나며 反對로 跳躍形의 경우는 큰 영향을 주지 못한다.

2. 4가지 抽出條件의 形態를 분석해 보면 주로 2가지로 분류됨을 알 수 있다. 즉 하나는 標準形과 跳躍形 다른 하나는 留保形과 混合形이다.

參 考 文 獻

- 1) Makarovic, B. "Progressive sampling for digital terrain models" *ITC Journal Vol. 3*, 1973, pp. 397~410.
- 2) Makarovic, B. "Amended strategy for progressive sampling". *ITC Journal, Vol. 1*, 1975, pp. 107~128.
- 3) Makarovic, B. "Lecture Course for the M. Sc. Students on Digital Terrain Models", 1976.
- 4) El Ghazalli, M.S.A. "Performance investigation of progressive sampling for Digital Terrain Models by computer simulation" *Unpublished thesis. Enschede*, 1974.
- 5) K. J. Cho "Evaluation of Progressive Sampling Implenerting Diffirent Criteria", *Unpublished Thesis. The Netherlands*, 1976.
- 6) 李石贊, 曹圭田 數值地形模型에 관한 研究 大韓 土木學會論文集 Vol. 2, No.1, 1982.

(接受 : 1982. 8. 31.)