한국공작기계학회 2002 춘계학술대회 논문집 pp. 597~602

머시너블 세라믹스의 마이크로 홀 가공특성에 관한 연구

A Study on the Micro Hole Drilling Characteristics of Machinable Ceramics

김동우*, 조명우, 조원승 (인하대학교), 이응숙(한국기계연구원)
D.W. Kim, M.W. Cho, W.S. Cho (Inha University) and E.S. Lee (KIMM)

ABSTRACT

Ceramics are very difficult-to-cut materials because of its high strength and hardness. Their machining mechanism is characterized by cracking and brittle fracture. In this paper, to give good machinability to the ceramics, BN powders are added to Si_3N_4 by volume of 20, 25 and 30%. And the machiniability of the produced ceramics are tested using micro drilling system. Through required experimental works, it is shown that the micro drilling machinability is varied along with the volumetric percentage of BN powders. Also, it is verified that the obtained results can be used to develop new machinable ceramics of good material properties and machinability.

1. 서론

세라믹스는 강도, 고온에 대한 내열성, 내마모, 내부식성 등과 같이 일반적인 금속재료에 비하여 상대적으로 우수한 물리적 특성을 자기고 있어 절삭공구, 자동차의 스파크 플러그, 실린더 라이너 등과 같이 고온에서 사용되는 기계부품 외에 반도체 장비용 부품, 브라운관 제조용 치구 등에 있어 그 적용분야가 확대되어 가고 있다. 그러나 금속재료에는 없는 세라믹의 우수한 특성에도 불구하고 아직까지 세라믹스의 사용용도가 광범위하지 못한 이유는 기계가공이 어렵다는 단점이 있기 때문이다. 구조용 세라믹스 제품은 통상적으로 소결에 의한 방법으로 제조되며, 소결방법으로 제작된 세라믹은 소결 후 발생하는 재료수축의 정도를 정확하게 예측하기가 어려우므로 제품에 요구되는 치수정밀도를 만족시키기에는 한계가 있다. 따라서 정밀한 공차를 요구하는 경우나 소결(sintering)에 의해서 최종 형상을 완성하기 어려운 경우에는 소결후에 기계가공이 필수적이라 할 수 있다. 그러나 기계가공에 사용되는 공구의 재질에 비하여 세라믹스의 경도와 강도가 높은 경우가 대부분이며, 세라믹스의 절삭기구(cutting mechanism)도 금속과 상이하여 주로 취성파괴에 의하여 절삭이 진행된다. 따라서, 절삭이 전혀 진행되지 않거나, 또는 가공시에 세라믹의 취성으로 인해 균열의 전파에 의한 표면파괴가 발생하여 요구되는 품질수준을 충족시키기 어렵게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 세라믹스에 기공성을 부여한 가공성 세라믹스(machinable ceramics)가 개발되어 사용되고 있다.

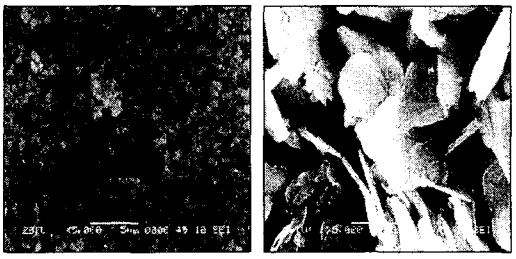
본 연구는 다양한 기계가공 조건을 만족시키는 머시너블 세라믹스의 개발과 이에 적합한 가공조건을 결정하기 위한 연구의 전단계로 Si_3N_4 에 BN(boron nitride)을 첨가하여 머시너블 세라믹스를 제조하고, 이에 대하여 마이크로 드릴에 의한 미세가공 특성을 파악하여 향후 미세가공에 적합한 머시너블 세라믹스의 개발과, 관련된 최적의 가공조건을 도출하기 위한 기반기술의 개발에 목적을 두었으며, BN의 함량을 조절하여 세라믹스의 가공성을 변화시키고 이에 따른 미세구멍의 가공특성의 변화에 대하여 실험을 통하여 고찰하였다.

2. 머시너블 세라믹스의 특성

2.1 머시너블 세라믹스의 제조

그림 1 은 본 연구에 사용된 머시너블 세라믹스를 제조하기 위한 재료분말의 SEM 사진(×5,000)을 나타낸 것이다. 세라믹스 제조를 위한 복합체의 매트리스 분말로는 α-Si_3N_4 를 사용하였으며, 가공성을 향상시키기 위하여 BN 을 사용하였다. 그림에서 보는 바와 같이 BN 분말은 판상형상을 가지고 있는 것이 관

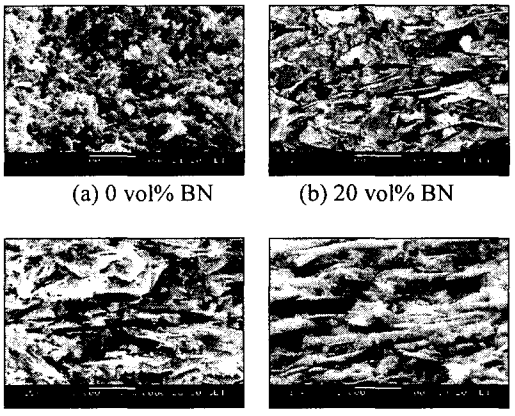
찰될 수 있으며, 이로부터 세라믹스에 층상벽개성을 부여하여 기계가공이 가능하게 된다.



(a) Si3N4 powder (b) BN powder

Fig. 1 SEM micrographs of Si3N4 and BN powders

본 연구를 위하여 BN 의 체적함량이 0%, 20%, 25%, 30%인 복합체를 소결을 통하여 제조하였으며, 그림 2 는 제조된 머시너블 세라믹스 파단면의 SEM 사진을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 BN 의 양이 증가할수록 판상구조가 증가하며, 이로 인하여 절삭성이 향상된다고 볼 수 있다.



(a) 0 vol% BN (b) 20 vol% BN

(c) 25 vol% BN (d) 30 vol% BN

Fig. 2 SEM micrographs of Si3N4-BN composites

2.2 머시너블 세라믹스의 물성치

위에서 언급한 바와 같이 BN 의 양이 증가하면 절삭성을 향상시키는 판상구조가 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나, 구조용 세라믹스는 기계 등의 부품으로 사용하기 위한 것이며, 따라서, 아무리 가공성이 우수하다고 하여도 세라믹스 본연의 성질이 크게 저하되지 않아야 한다.

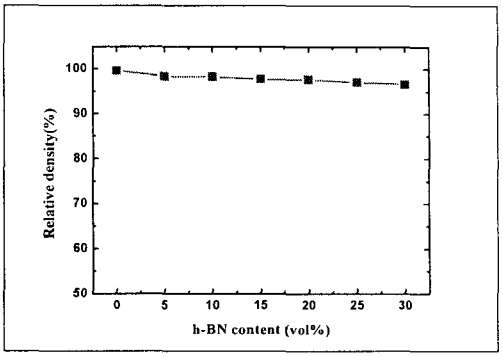


Fig. 3 Density plots of Si3N4-BN ceramics

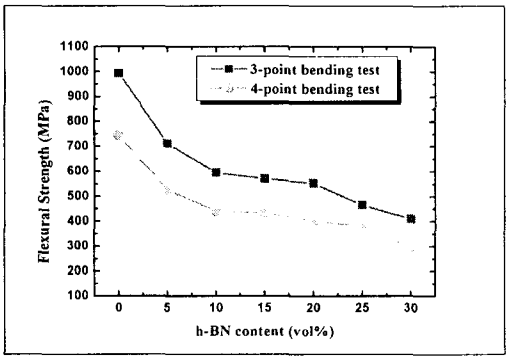


Fig. 4 Effect of BN contents on the flexural strength of Si3N4-BN ceramics

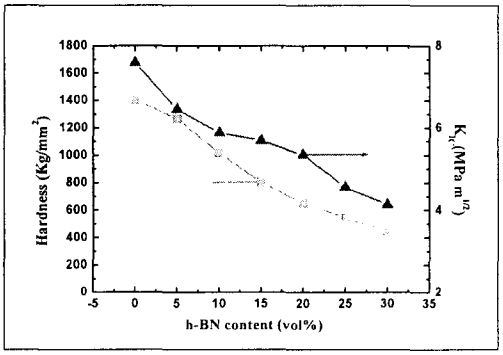


Fig. 5 Effects of BN contents on the Vickers hardness of Si3N4-BN ceramics

그림 3-5 는 제조된 세라믹스에 대하여 BN

함량에 따른 상대밀도의 변화, 굽힘강도, 그리고 경도와 파괴인성을 측정한 값을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 BN 의 양이 증가할수록 기계적 특성은 저하되고 있다. 따라서, 세라믹스 본연의 특성을 크게 저하시키지 않고 가공이 가능한 BN 의 함량 및 이에 따른 최적의 가공조건의 결정이 함께 이루어져야 요구하는 목적을 달성할 수 있다.

3. 가공성 평가

3.1 마이크로 드릴링 시스템

제조된 머시너블 세라믹스의 미세구멍에 대한 가공성 평가를 위하여 실험이 행해졌다. 본 실험에 사용된 마이크로 드릴링 머신(그림 6, 7)은 TUNGALOY 사의 SDM-01-15BF 형 드릴링 머신으로 고속의 에어 스핀들을 사용하며 스텝이송 구동방식을 적용 미세드릴의 파손을 방지할 수 있을 뿐만 아니라 Step back 의 작용으로 칩과 열의 배출을 용이하게 할 수 있다.

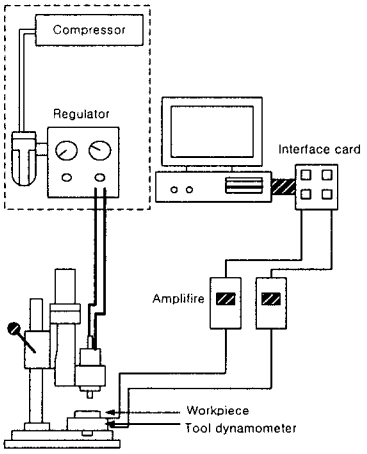


Fig. 6 Micro drilling system

또한 절삭저항의 토오크와 트러스트의 분력 측정을 위하여 KISTLER 9257A 를 사용하였으며 증폭기를 통한 출력을 변환하여 PC 상에서 관찰하였다. 그리고 가공 후 피삭재의 가공상태 즉 Micro hole 의 가공구멍 확대오차는 모니터 내장형 광학식 현미경 VH-6000 을 사용하여 측정하였다.

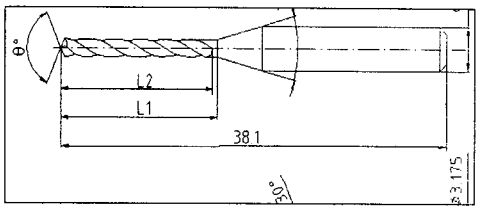


Fig. 7 Geometry of microdrill

3.2 실험 방법

드릴에 작용하는 힘은 크게 토오크와 트러스트로 나눈다. 그러나 본 실험에 사용된 공구 동력계로는 드릴의 반경 방향 즉 토오크를 측정할 수가 없기 때문에 축방향 하중인 트러스트를 측정하여 실험결과를 분석하였다.

Table 1. Experimental conditions for micro drilling

D(mm)	BN(%)	Step	RPM
0.15	0%	10	25,000
	20%		
	25%		
	30%		
0.25	0%	10	
	20%		
	25%		
	30%		
0.4	0%	7	
	20%		
	25%		
	30%		

Table2. Experimental conditions for micro drilling (Diameter = 0.4mm)

RPM	BN(%)	Step	Feed (mm/min)
15,000	0%	10 (ratio aspect:5)	30
	20%		
	25%		
	30%		
30,000	0%		
	20%		
	25%		
	30%		

Table 1 과 Table 2 에 실험에 사용된 가공조건을 나타내었다. 피삭재의 표면 거칠기와 표면 경화를 해결하기 위하여 피삭재를 폴리싱하였으며, 가공한 구멍과 구멍사이의 거리는 앞에서 뚫은 구멍의 영향을 받지 않도록 구멍사이의 거리가 최소 10mm 이상 되도록 하였으며, 가공 후 드릴의 인선은 재연삭을 하지 않았다.

미세드릴의 경우에는 드릴직경의 미세화에 따른 강성저하로 한 스텝으로 깊은 구멍을 뚫기에는 한계가 있으며, 일반 드릴과는 달리 강성 저하로 인해 가공 구멍의 깊이가 클수록 파손의 가능성이 증가한다. 따라서 미세드릴로 깊은 구멍을 가공하기 위해서는 그림 8 에 나타낸 바와 같이 스텝 이송을 이용하여 가공하는 것이 일반적이다. 그러나 절삭저항을 감소시키기 위하여 스텝수를 필요이상 많이 증가시키면 드릴의 수명은 증가하지만 가공능률은 현저하게 저하된다. 따라서, 절삭저항이 커지지 않는 범위 내에서 스텝 이송량을 크게 하면 드릴 수명을 향상시키고 가공능률의 저하를 막을 수 있다.

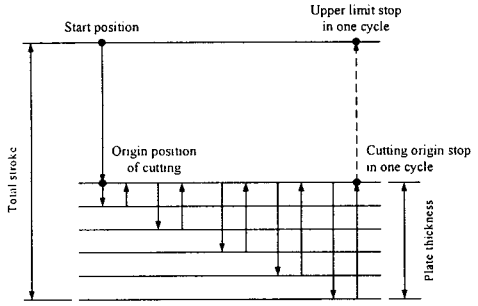


Fig. 8 Step feed diagram for micro drilling

4. 실험 결과

4.1 BN 함량에 따른 세라믹스의 가공성

드릴에 작용하는 절삭저항은 드릴의 회전을 위한 모멘트와 이송방향에 대하여 작용하는 힘으로 구분하여 고려하는 것이 일반적이다. 드릴의 절삭날은 각 위치에서 경사각, 여유각 및 절삭속도가 모두 달라지기 때문에 일정한 절삭저항값을 갖지 못한다. 특히 치즐에지의 부분은 극히 큰 음의 경사각이어서 이 부분의 절삭저항은 매우 크기 때문에 미세구멍가공에 있어 축방향의 하중 트러스트는 가공능률 및 공구의 마멸, 파손의 척도로서 매우 중요하다.

따라서 가공조건 중에서 이송과 회전수의 설정은 매우 중요하며 절삭저항, 드릴수명 등 여러 가지 드릴성능평가 기준과 비교하여 설정하여야 한다. BN 함량에 따라서 각 직경의 드릴에 의한 절삭력의 값을 측정하여 다음의 그림 9-11 에 나타내었다.

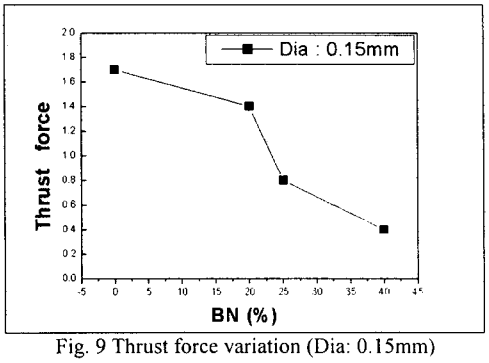


Fig. 9 Thrust force variation (Dia: 0.15mm)

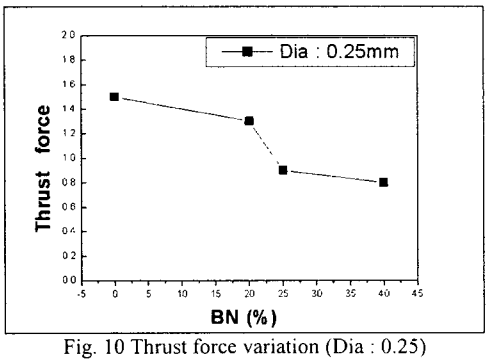


Fig. 10 Thrust force variation (Dia : 0.25)

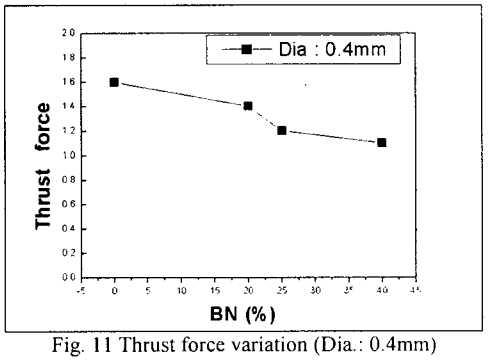


Fig. 11 Thrust force variation (Dia.: 0.4mm)

그림 9-11 의 그래프 모두 BN 의 함량이 전혀 함유되지 않은 완전한 세라믹 재료는 높은 강도와 경도로 인하여 절삭력 값은 높은 값을 나타내었다. 하지만 BN 함량의 증가와 더불어 같은 형태의 경향을 보이며 절삭력이 감소하는 것을 볼 수 있다. 특히 이러한 절삭력의 감소는 BN 함량이 20%에서 25%로 증가했을 때 나타나는 것으로 관찰되었으며, 드릴의 직경이 작을수록 이런 경향은 더욱 현저히 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 공구의 직경이 작아질수록 즉 공구의 강성이 작아질수록 절삭력은 BN 함량의 영향을 더욱 크게 받는다는 것을 알 수 있다.

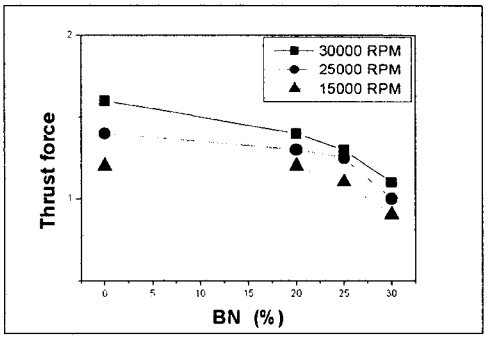


Fig. 12 Thrust force variation according to rpm (Dia.: 0.4mm)

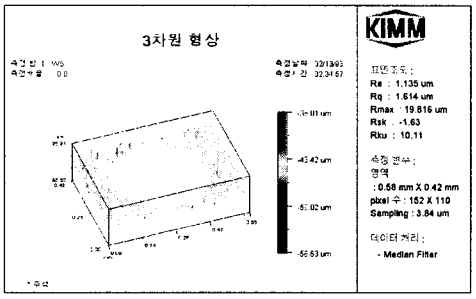


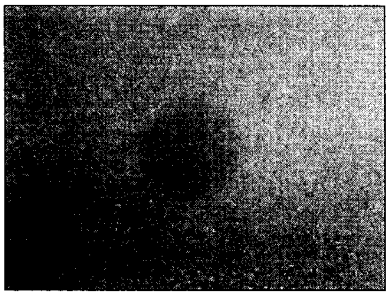
Fig. 13 3-dimensional plot of a machined hole

그림 12 는 BN 함량에 따라 회전수의 변화시 절삭력 값들을 측정하여 나타낸 것이다. 마찬가지로 회전수가 증가할 때 절삭력 또한 감소하고 있지만, 오히려 BN 의 함량이 증가할수록 주축의 회전속도에 의한 절삭력의 감소량은 줄어들고 있는 것을 볼 수 있다.

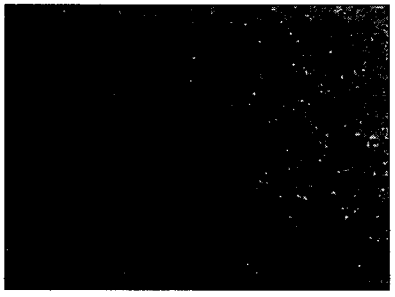
4.2 가공면의 관찰

ACURA 1500M 을 사용하여 그림 13 과 같이 가공된 구멍의 형상을 관찰하였으며, 또한 구멍의 진원도 및 직경도 측정하였다.

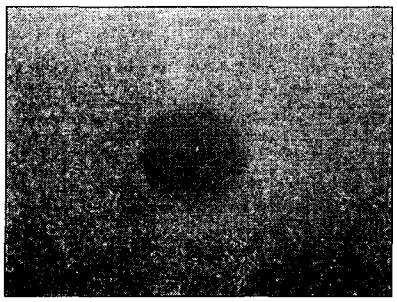
(a) 0 vol% BN
(Hole size = 0.230mm, Roundness = 0.0314)



(b) 20 vol% BN
(Hole size = 0.183mm, Roundness = 0.0307)

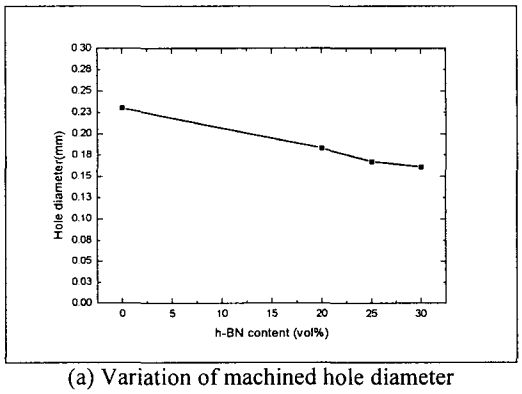


(c) 25 vol% BN
(Hole size = 0.167mm, Roundness = 0.0297)

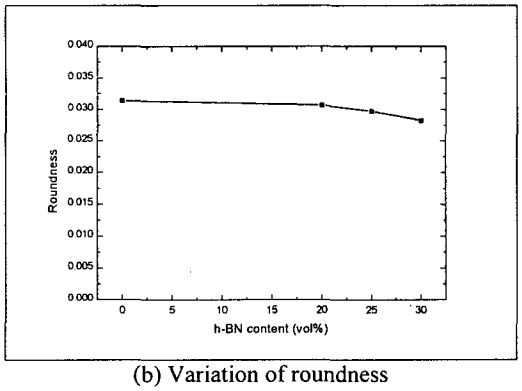


(d) 30 vol% BN
(Hole size = 0.161mm, Roundness = 0.0282)

Fig. 14 Micrographs of machined micro holes



(a) Variation of machined hole diameter



(b) Variation of roundness

Fig. 15 Variations of hole size and roundness

그림 14 는 BN 함량에 따라 드릴직경 0.15mm 에서의 가공된 면을 보여주는데, 그림으로부터 BN 의 함량이 적을 수록 가공된 면의 구멍의 직경은 점점 커지는 것을 관찰할 수 있다. 이는 BN 의 함량이 적을 수록 제조된 머시너블 세라믹의 강도와 경도가 증가하며, 따라서 드릴의 초기 가공 진입이 힘들어져서 입구에서 wandering 현상이 크게 발생하여 구멍의 가공확대 오차가 증가하는 것에 기인한다고 사료된다. 측정된 구멍의 직경과 진원도를 그림 15 에 나타내었다.

5. 결론

본 연구는 머시너블 세라믹 성분에 BN(Vol)을 각각 0%, 20%, 25%, 30% 혼합하여 마이크로 드릴을 이용하여 절삭 특성을 알고자 하였다. h-BN 입자의 첨가량이 없는 경우 즉 0%일 때 높은 경도와 강도로 인하여 마이크로 드릴에 의한 절삭력은 높은 값을 가졌다. 하지만 BN 의 첨가량이 증가할수록 절삭력은 낮아졌으며 또한 드릴의 직경이 작아질수록 그 감소하는 정도 또한 현저히 증가함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Yuqing Cao, "Failure analysis of exit edges in ceramic machining using finite element analysis", Engineering Failure Analysis 8,pp. 325-338, 2001.
2. Guangming Zhang, Yuqing Cao and Lixun Qi, "Single point cutting of machinable glass ceramics", Transactions of NAMRI/SME, Vol.XXVII, pp.159-164, 1999.
3. Guangming Zhang, Lixun Qi and Yuqing Cao, "Assessment of machining performance of dental ceramics", Transactions of NAMRI/SME, Vol.XXVI, pp.105-110, 1998
4. C.K. Chyung, "Secondary Grain Growth of Li2O-Al2O3-SiO2-TiO2 Glass Ceramics," J. Am. Ceram. Soc. 52, pp.242-245, 1969.
5. Sofia Saori Suzuki, Seiichi Taruta, Nobuo Takusagawa, "Sintering and Microstructure of Alumina/Mica and Spinel/Mica Composites", The Korean Journal of Ceramics, 4(4), 363-367, 1998.
6. Dong Soo Baik, Kwang Soo No, John Soung-Soon Chun, "Mechanical Properties of Mica Glass-Ceramics", Journal of the American Ceramic Society, 78(5), 1217-1222, 1995.
7. 이병열외 4 인,"미세구멍 가공의 최적절삭성을 위한 절삭조건에 관한 연구",한국정밀공학회,'94 년도 추계학술대회 논문집, pp131- 135, 1994.