

디젤 연료분사노즐 섹크실내의 압력과 유동패턴이 분류의 분열거동에 미치는 영향

Effect of the Pressure and the Flow Pattern in a Sac Chamber of a Diesel Injection Nozzle on the Issued Spray Behaviors

김 장 현*, 송 규 근**
Jangheon Kim, Kyukeun Song

ABSTRACT

The effects of the internal flow in a diesel injection nozzle on the atomization of the spray has been investigated experimentally. Flow visualization was made using a transparent acrylic model nozzle. And also, measurement of the sac chamber pressure was made for clarifying the effect of pressure fluctuation in the sac chamber on the spray behaviors. The geometry of the model nozzle was scaled up 10 times of the actual nozzle and the injection pressure for the model nozzle was adjusted so as to achieve a Reynolds number at the discharge hole which was the same as the actual nozzle. Polystyrene tracers, a laser sheet light and a still/high speed video camera were used to visualize the flow pattern in the sac chamber. When the needle lift was small, the high turbulence in the sac chamber generated by the high velocity seat flow made the spread angle of the spray large. Cavitation which arose in the sac chamber induced the pressure fluctuation and then affects the spread angle of the spray.

주요기술용어 : Diesel Injector(디젤분사노즐), Sac Chamber (섹크실), Cavitation (케비테이션), Spray Behaviors (분무거동), Internal Flow(내부유동)

1. 서 론

디젤 연료분사 노즐내의 유동이 액체연료의 분열과정에 미치는 영향에 관하여, 지금까지는 비교적 단순한 형상을 가진 홀형 노즐을 이용한 분공내의 유동과 미립화에 관한 기초적인 연구

(1-3), 실제노즐에 근사한 형상을 가진 투명한 노즐을 이용한 분공내의 가시화관찰 등의 연구(4-5)가 수행되어져 왔다.

또한 저자 등은 주로 디젤 연료분사 노즐내의 유동에 주안점을 두어, 노즐의 크기를 10배로 확대한 수류 모형노즐을 이용하여, 분공부의 레이놀즈수를 상사시킨 조건에서 실험을 행하여, 노즐내의 유동이 분류의 분열과정에 미치는 영향에 대하여 검토하였다(6). 그 결과 임의의 노즐형상에

* 정회원, 현대자동차 선행연구소

** 정회원, 전북대학교 자동차 신기술연구소

대해서는 색크실내의 선회류를 수반한 둥근 띠 모양의 케비테이션이 발생하며, 분공으로부터 분출된 분류는 중공상의 구조로 되고, 분류의 확산각은 대단히 크게 됨을 알았다. 또한, 분공내에 생성되는 케비테이션이 분공으로부터 유출되기 전에 붕괴됨에 따라 분류에 난류성분을 제공함으로써 분류의 확산각이 대단히 커짐을 알게되었다. 그러나, 노즐내의 유동이 분류의 분열거동에 미치는 영향에 대해서는 아직도 밝혀내어야 할 부분이 많이 남아있다.

이에 본 연구에서는 노즐 색크실내의 유동패턴 및 압력변동이 분류의 분열거동에 미치는 영향을 규명함을 연구의 목적으로 삼았다. 해석방법으로는, 노즐 색크실 및 분공내의 유동, 케비테이션의 거동을 고속도 비디오 카메라를 이용하여 촬영하였으며, 케비테이션의 거동에 따른 색크실내의 압력변동을 측정하여, 니들을 고정시킨 정상류의 조건 및 니들이 상승과정중인 비정상류 조건하에서의, 노즐의 형상, 색크실내의 분공의 위치, 니들 리프트가 노즐 색크실과 분공내의 유동 및 분류의 분열거동에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

2. 실험 장치 및 방법

Fig. 1에 실험장치의 개략을 보인다. 실험장치는 수류 도입부, 트레이서 혼합부, 모형노즐, 광학계와 촬영부로 구성되어 있다. 색크실내의 유동을 가시화 할 경우는, 조정압의 수도수를 혼합실에서 적당한 량의 트레이서와 충분히 혼합한 후에 모형 노즐로 보내어 축압실, 니들 시트부 및 색크실을 통하여 분공으로부터 분출시킨다.

색크실내의 유동을 가시화하기 위한 트레이서로는 입경이 0.2-0.3 mm로 물과 비중이 거의 동일한($\rho = 1.03$) 폴리스티렌 입자를 이용하였다.

광원으로는 아르곤-이온(Ar^+) 레이저($\lambda = 488$ nm)를 이용, 폭이 1 mm의 시트빔으로 만들어 모형노즐의 하부로부터 색크실의 중심축 단면에 조사하여, 정면으로부터 폴리스티렌 입자의 궤적

을 35mm 스틸 카메라로 촬영하였다. 한편, 색크실 내 및 분공내의 케비테이션과 분류의 분열거동의 촬영에는, 트레이서를 공급하지 않은 채, 물만을 분출시켜 고속도 비디오 카메라 (Kodak, EKTAPRO HS4540, 촬영속도 9000 F/s)를 이용하여 촬영하였다.

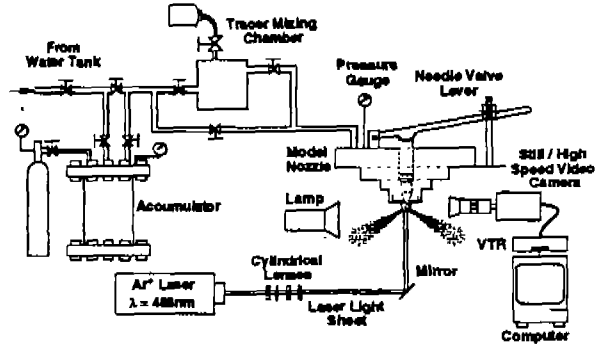


Fig. 1 Detail of experimental apparatus

한편 본 연구에서는 노즐내의 유동을 정량화하기 위한 방법의 하나로, 색크실내의 압력을 압력 센서로 측정하였다. 노즐내의 압력측정장치를 Fig. 2에 보인다. 압력측정 소자는 반도체 압력 센서(측정압력범위 : 0-500 kPa)로 노즐 색크실 중앙부에 장착되어 색크실내의 압력변화를 측정한다. 본 실험에서는 표준모델 III이 사용되었으며, 표준모델 III 노즐의 개략을 Fig. 3에 보인다.(참고문헌 6 참조)

모형노즐의 축압실에 유입하는 수류는 정상류의 조건으로 하고, 모형 노즐의 분공내의 레이놀즈수가 실제노즐과 동일한 조건이 되도록 하여 구한 압력조건으로 실험을 행하였다. 모델노즐의 분사압력은 0.2 MPa으로, 그때의 실제노즐의 상사압력은 149 MPa이다.

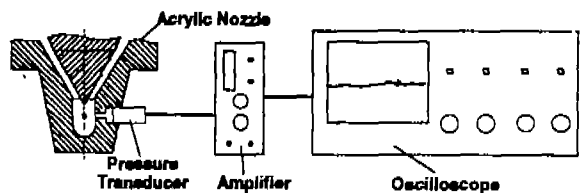


Fig. 2 Apparatus for pressure measurement

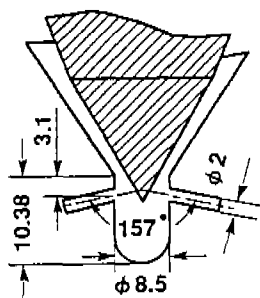


Fig 3 Configuration of test nozzle

3. 정상류 조건하에서의 실험결과

3.1 니들 리프트의 변화에 따른 색크실내의 유동패턴

Fig. 4 (a)에 니들 리프트가 0.7, 1.5, 3.5 mm 인 경우의 노즐 색크실내의 유동패턴을 보인다. 니들 리프트가 0.7 mm인 경우는, 시트부의 유동이 색크실내의 유동보다 상대적으로 빨라지게 되

기 때문에, 색크실 내는 수많은 작은 와류가 형성되며, 트레이서의 궤적은 유동의 진행방향을 알 수 없는 강한 난류 상태임을 보인다. 그러나, 니들 리프트가 1.5 mm로 되면, 시트부로부터 분공으로 향하는 유선이 보이기 시작하여, 니들 리프트가 3.5 mm의 경우는, 색크실내의 유동은 시트부로부터 직접 분공으로 향하는 유동과 분공을 포함한 단면이외의 영역의 시트부로부터 색크실로 유입되어, 색크실의 기저면에 충돌하여 방향을 바꾼 후 다시 분공을 향하는 유동의 두가지의 흐름으로 나뉘어져 있음을 보인다.

한편, 분공내의 캐비테이션의 상태를 Fig. 4 (b)에 보인다. 니들 리프트가 0.7 mm의 경우는, 캐비테이션이 분공 입구부에만 생성되어 있으나, 니들 리프트가 1.5 mm의 경우는, 캐비테이션이 분공 입구부터 중간부까지 성장해 있고, 분공 출구 근처에서 붕괴되어 소멸됨을 보인다.

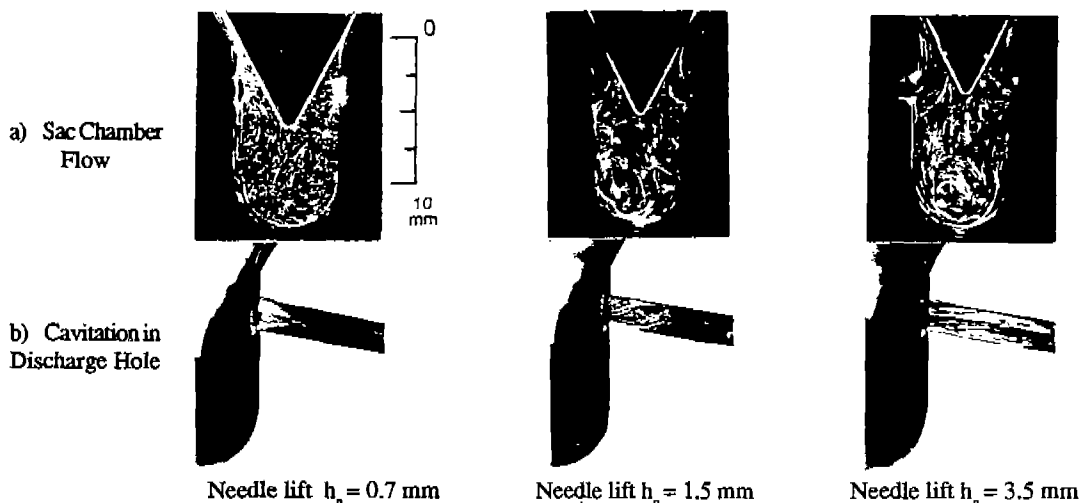


Fig. 4 Flow pattern in the sac chamber and the cavitation in the discharge hole

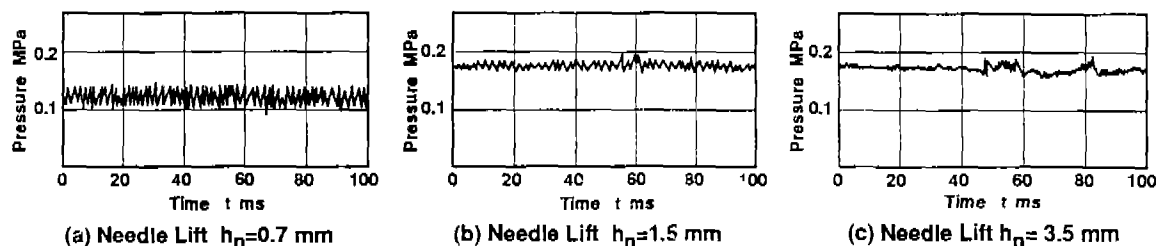


Fig. 5 Variation of sac chamber pressure under steady state flow

그러나, 니들 리프트가 3.5 mm의 경우는 분공 내의 케비테이션이 분공 입구에서 출구까지 거의 분공 전영역에 걸쳐서 생성되어 있음을 보인다.

3.2 섹크실내의 압력변동

Fig. 5에 니들 리프트가 각각 0.7, 1.5, 3.5 mm의 경우, 섹크실내의 압력을 측정된 결과를 보인다. Fig. 5 (a)는 니들 리프트가 0.7 mm의 경우로서, 섹크실내의 압력은 니들 리프트가 1.5, 3.5 mm의 경우보다 약 0.05 MPa정도 낮음을 보이나, 섹크실내의 난류성분의 영향으로 압력변동의 폭이 넓음을 보인다.

그러나, 니들 리프트가 크게됨에 따라 압력의 변동 폭은 좁아짐을 보인다.(Fig. 5 (b), (c)의 경우). 니들 리프트가 3.5 mm의 경우는 섹크실내의 유동이 시트부로부터 분공으로 향하는 유동과 시트부로부터 섹크실 내로 유입되는 2개의 유동 패턴으로 나뉘어져, 니들 리프트가 0.7, 1.5 mm의 경우에 비해 난류성분이 적어지게 되므로, 압력의 변동은 작게 됨을 보인다. 또한, 섹크실내의 띠모양의 케비테이션의 생성 및 소멸로 인해, 섹크실내의 압력은 약 20 ms에서 40 ms의 주기로 변동함을 보인다.

3.3 섹크실 및 분공에서의 케비테이션의 거동과 압력의 변화

Fig. 6에 고속도 비디오 카메라를 이용하여, 노즐 섹크실 및 분공부의 케비테이션 거동을 촬영한 결과를 보인다. 분사압력은 0.2 MPa, 니들 리프트는 3.5 mm로, 매초 9000 Frame 으로 촬영하였다. 섹크실 내에 띠모양의 케비테이션이 생성되기 바로 전인 0 ms의 결과에는 분공 전역에서 케비테이션이 발생되어 있음을 보인다. 이 케비테이션은 분공 하류측에서 붕괴와 재부착을 반복함으로써, 섹크실내의 압력 변동을 야기시킨다고 생각된다. 분공 입구에서의 케비테이션의 발달은 어느 순간 띠모양으로 섹크실 내로 성장하거나, 곧바로 분공쪽으로 밀려나는 경우와, 이 케비테이션이 좌우 연결되어 띠모양을 형성한 상태가 수 ms 유지되다가 소멸되는 양상을 보인다. 이 띠모양의 케비테이션은 시트부로부터 섹크실 내로 유입되는 유동과 시트부로부터 직접 분공에 유입되는 유동의 경계상에 형성됨을 알았다.

Fig. 7에 섹크실내의 띠모양의 케비테이션의 변동에 의한 분류의 상태를 보인다. 섹크실 내에 생성되는 띠모양의 케비테이션이 분공으로 유출됨과 동시에, 분류의 확산각은 변동을 겪게 된다.

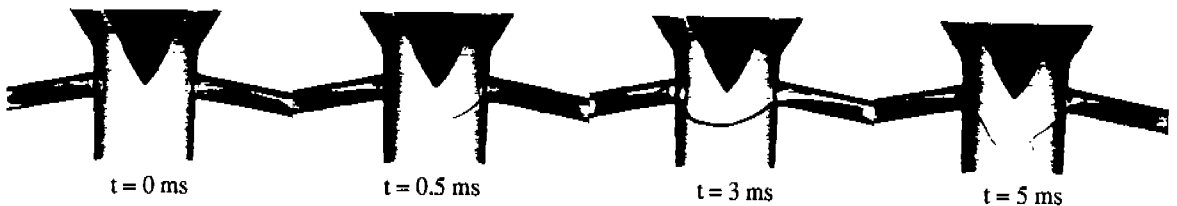


Fig. 6 Formation and collapse of the cavitation film in the sac chamber for the needle lift of $h_N=3.5\text{mm}$

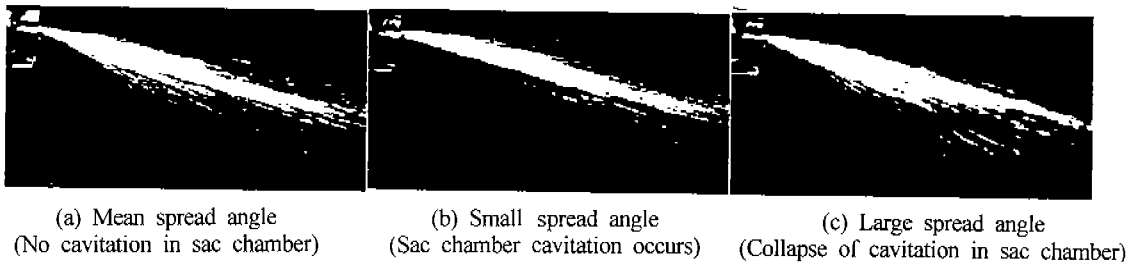


Fig. 7 Behaviors of spray plume

Fig. 7의 (a)의 경우는 섹크실 내에 케비테이션이 생성되어있지 않은 정상 상태의 분류의 상태를 보인다. Fig. 7의 (b)는 섹크실 내에 띠모양의 케비테이션이, 양분공의 사이에서 연결된 상태의 분류를 보여주는데, 분류의 확산각이 정상 상태의 분류보다도 작다. 그러나, Fig. 7의 (c)의 경우는 섹크실 내에 생성된 띠모양의 케비테이션이 분공으로 유출되는 때의 분류로서, 분류의 확산각은 가장 커져있음을 알 수 있다.

4. 니들이 상승과정인 비정상류 조건하에서의 실험결과

4.1 니들의 상승과 섹크실내의 압력변화

Fig. 8에 시간 경과에 따른 니들 리프트의 변화를 보인다. 니들은 축압실내의 압력에 의해 상승하기 시작하여, 분사 개시 후 20 ms까지는 서서히 상승하다가, 분사 개시 후 약 20 ms부터 급격히 상승하여, 60ms에서 최대 니들 리프트인 3.5 mm에 도달한다. 이 기간중, $t=20$ ms, 니들 리프트 0.47 mm에서 노즐내의 유로 단면적의 변곡점이 니들 시트부에서 분공부로 바뀐다.

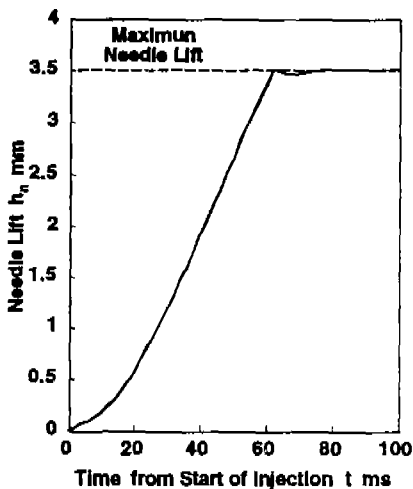


Fig. 8 Change of needle lift under needle valve opening

Fig. 9에 니들이 상승과정 중인 비정상류의 조건하에서의 섹크실내의 압력변화의 결과를 보인다. 분사개시부터 10 ms까지는 압력상승이 완만하나, 10 ms부터 20 ms까지 급격히 상승하여 0.12 MPa 정도의 압력에 도달한다. 그러나, 분사 개시 후 20 ms 이후부터는 섹크실내의 압력은 더 이상 증가하지 않은 상태에서 최대 니들 리프트인 62 ms에 이른다.

최대리프트에서는 니들이 스톱퍼와 충돌함으로써, 이에 따른 진동의 영향으로 압력이 급격히 변동이 보이나, 분사 개시 후 약 100 ms 부터는 준정상류로 안정됨을 보인다.

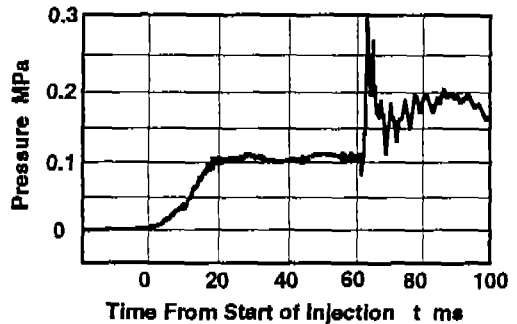


Fig. 9 Change of sac chamber pressure under needle valve opening

4.2 분류 확산각의 변화

니들이 상승과정인 비정상류의 조건에서의 분류의 거동을 Fig. 10에, 분류의 확산각의 변화를 Fig. 11에 각각 보인다. 분류 확산각은 분공으로부터 각각 하루 10 mm, 60 mm 인 지점에서의 분류의 외관을 연결하는 2점과 분공 출구와의 각으로 정의하였다. 분사개시로부터 8 ms까지는 분류가 액주상으로 분출되나, 분사 개시 후 14 ms부터는 이미 큰 확산각을 가진 분류가 분출되어 최초 형성된 분류를 추월하고 있음을 보인다. $t=36$ ms부터 40 ms까지는 분류의 확산각이 최대가 되나, 이후 분류의 확산각은 서서히 작아지게 되며, $t=80$ ms이후는 분류가 준정상류의 상태로 되어 확산각이 안정됨을 보인다.

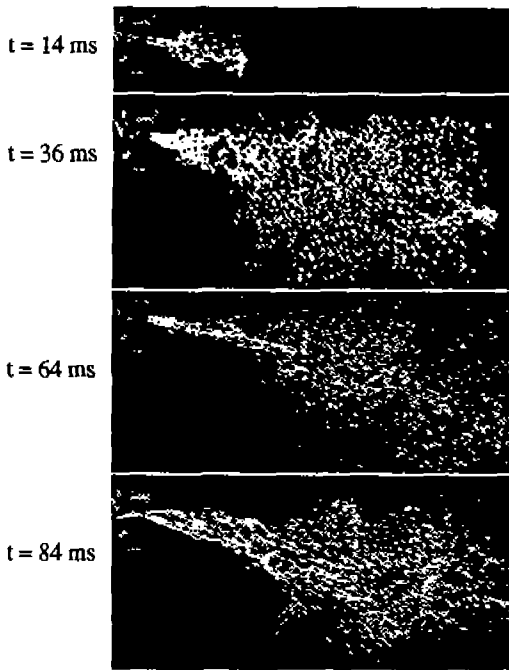


Fig. 10 Behavior of spray plume under needle valve opening

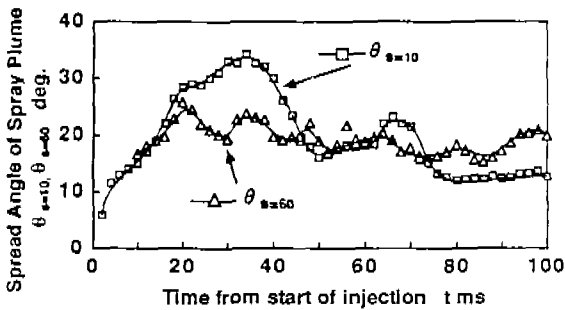


Fig. 11 Effect of needle lift on spread angle of spray under needle valve opening

5. 결 론

노즐 섹크실내의 유동 패턴 및 압력 변동이 분류의 분열거동에 미치는 영향에 대하여 고찰한 결과, 다음과 같은 사실을 알게 되었다.

1) 니들 리프트가 작은 경우는 분공의 입구부 근에서 캐비테이션이 발생하여, 분공 출구보다 상류부에서 붕괴되기 때문에 섹크실내의 압력변

동이 커짐을 알았다. 그러나, 니들 리프트가 큰 경우는 분공 입구에서부터 출구까지의 전 영역에 걸쳐 캐비테이션이 발생하여, 분공내에서 붕괴되지 않고 그대로 분출되기 때문에 압력의 질대치는 크나, 압력변동의 수준은 낮게된다.

2) 니들 리프트가 큰 경우는 분공 출구에서 캐비테이션의 붕괴와 재부착은 섹크실내의 압력변동을 유발시켜, 섹크실 내에 발달하는 띠모양의 캐비테이션이 생성되는 원인이 된다고 생각된다.

3) 섹크실 내에 발달하는 띠모양의 캐비테이션이 붕괴되어 분공으로 유출될 때에 분류의 확산각이 커짐을 알았다.

참 고 문 헌

1. H. Hiroyasu, M. Aria and M. Shimizu, Break-up Length of a Liquid Jet and Internal Flow in a Nozzle, Porch. 5th. ICLASS, pp.275-282, 1991.
2. W. H. Nurick, "Orifice Cavitation and its Effect on the Spray Mixing", Journal of Fluids Engineering, pp 681-684, 1976.
3. 玉木, 西田, 清水, 廣安, 液体噴流 微粒化 噴孔內流影響(第1報:加速度噴孔內攪亂特性測定)微粒化, VOL 5-2, NO 10, pp56-63, 1996.
4. K. Date, M. Manabe, H. Kano, M. Kato and T. Oya, Combustion of Fuel Improvement in Nozzle to Spray Formation, SAE Paper 920622, 1992.
5. H. Hosoya and T. Obogata, Effects of Nozzle Configuration on Characteristics of Steady State Diesel Spray, SAE Paper 930593, 1993.
6. 김장현, 송규근 : 정상류 조건에서의 디젤연료분사 노즐내의 유동가시화, 한국자동차공학회 논문집, 1999. 8.