

## 가변직경을 갖는 자동차용 카울크로스바의 복합인발공정 개발에 관한 연구

김홍석<sup>#</sup> · 윤재웅<sup>1</sup>

### A Study on Development of Combined Drawing Process for Automotive Cowl Cross Bar with Variable Diameters

H. S. Kim, J. W. Youn

(Received August 6, 2009 / Revised August 17, 2009 / Accepted October 12, 2009)

#### Abstract

The cowl cross bar of an automobile is a frame component that is installed inside the cockpit module to provide a guide surface, to which functional components for electricity and air condition are attached. In the recent years, the geometries of cowl cross bars are getting more complex in order to meet the demands of a wide variety of embedded functional components and the reduced weight of frame parts with enhanced mechanical and noise/vibration characteristics. There for, welding processes between tubes with different diameters are widely conducted while the welded parts are experiencing various problems such as undermined appearance, low production efficiency and poor mechanical characteristics. Therefore, this paper seeks to develop an one-piece forming process which eliminate welding process for the cowl cross bar by applying the tube drawing process. However, it was predicted that a conventional tube drawing can not be applied directly to the current part since the area reduction ratio of the drawing process reaches 51.7% which exceeds the general limiting value. Therefore, in this study, a combined drawing process which adds a compressive force to a tensile force of the conventional drawing process was proposed and 2-stage drawing process was designed by using CAE analyses. In addition, drawing tryouts were carried out by using the manufactured combined drawing machine in order to verify the designed process.

**Key Words** : Cowl Cross Bar, Combined Drawing Process, Process Sequence Design, Drawing Tryout

#### 1. 서론

자동차의 카울크로스바(cowl cross bar)는 Fig. 1(a)에 표시된 바와 같이 각핏 모듈(cockpit module)의 후면에 장착되어 전장 및 공조 등을 위한 기능성 부품이 장착되는 안내면을 제공하고, 차체의 좌우 방향 비틀림 및 휘어짐의 억제를 위한 강성을 제공하는 프레임 부품이다. 따라서, 당초 카울크로스바는 파이프의 굽힘 공정으로 제조되는 단순한

형상의 제품이었으나 최근에 장착 부품의 다양화 및 소음·진동 특성의 개선, 차량 경량화에 대한 요구 등에 따라 서로 다른 직경의 파이프를 용접 및 굽힘 성형함으로써 보다 복잡한 형상으로 제조되고 있는 추세이다. 그러나, 용접을 이용한 이 직경 파이프 접합 제품의 경우 Fig. 1(b)에 나타난 바와 같이 제품 외관 품질의 저하 뿐만 아니라 용접 공정에 의한 생산 효율의 저하 및 불량 용접에 의한 기계적 특성 저하 등의 문제가 발생하

1. 대구대학교 자동차·산업·기계공학부  
# 교신저자: 대구대학교 자동차·산업·기계공학부,  
E-mail: kimkong@daegu.ac.kr

고 있다.

최근에는 보다 복잡한 형상의 자동차용 카울크로스바를 보다 효율적으로 성형하기 위한 노력이 시도되고 있으며 하이드로포밍(hydroforming) 공법의 적용을 통한 성형 사례도 보고된 바 있다[1, 2]. 그러나, 현재 완성차 업체에서 요구하고 있는 카울크로스바의 소음·진동(NVH: Noise, Vibration, Harshness) 특성 상 운전석측에 위치하는 대구경부 파이프의 두께가 조수석측의 소구경부 두께보다 커야 하기 때문에 확장 개념의 하이드로포밍 공법으로는 두께 조건을 만족시키기 어려운 측면이 있다. 따라서, 본 연구에서는 파이프에 대한 보다 전통적인 직경 및 두께 제어 성형법인 인발(drawing) 공정의 적용을 통하여 카울크로스바의 일체형 성형공정을 개발하고자 한다. 그러나, 본 제품의 경우 대구경부 대비 소구경부의 단면감소율이 51.7%로서 일반적인 인발공정에서 적용되는 성형량에 비해 상당히 크기 때문에 공정의 분할 및 제품의 투입구측에서 압축력을 추가적으로 가하는 복합인발공정을 채용하였다. 본 연구에서는 이러한 변형 공정의 효과를 파악하고 공정 분할을 통한 공정 설계를 위하여 CAE 해석을 수행하였으며, 전용 성형기를 이용한 시험 작업을 통하여 개발된 공정의 타당성을 검증하였다.

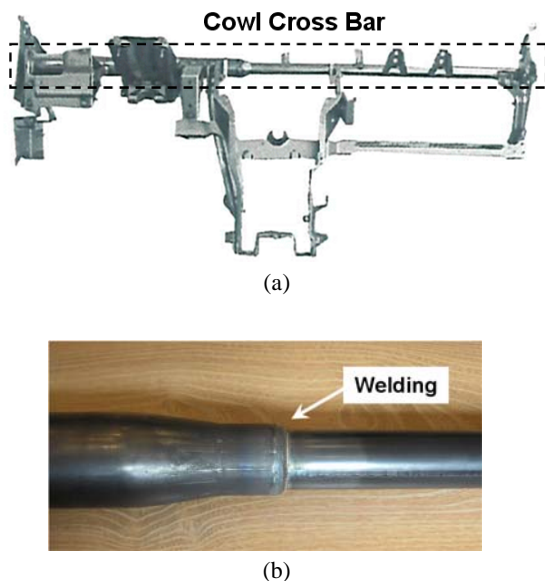


Fig. 1 An example of the currently manufactured product: (a) a cowl cross bar assembly and (b) the welding region

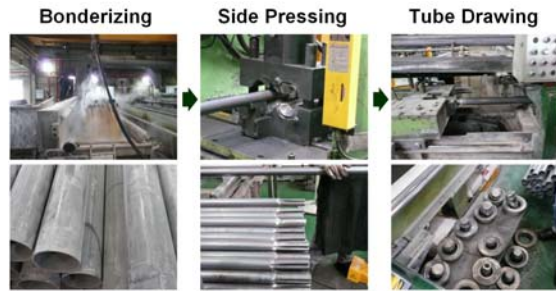


Fig. 2 The procedure of tube drawing process

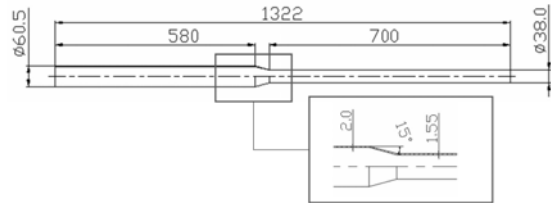


Fig. 3 The required geometrical specification of cowl cross bar

## 2. 제품분석 및 공정구상

### 2.1 단공정 단순인발

일반적인 파이프의 인발공정은 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 금형과 소재의 윤활을 위한 본테라이징(bonderizing) 처리, 인장력이 인가되는 구부의 성형을 위한 측면 가압(side pressing), 인발 금형 및 플러그(plug)를 이용한 인발의 순서로 진행된다.

본 연구의 목표 제품 형상은 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 대구경부의 직경과 두께는 각각 60.5mm와 2.0mm이고 소구경부의 직경과 두께는 각각 38.0mm와 1.55mm인 직선형의 이직경 카울크로스바이다. 제품의 길이는 1322mm로서 580mm의 대구경부와 700mm의 소구경부로 구성되는데, 인발 성형 후에 제품의 양단을 요구 길이에 맞추어 절단하기 때문에 성형품의 길이는 제조 상의 관점에서 큰 의미를 갖지 못한다.

본 제품에 대한 인발공정의 적용가능성을 검토하기 위해 상용 유한요소해석 프로그램인 DEFORM-2D를 이용하여 CAE 해석을 수행하였다. 이때, 인장력이 가해지는 구부의 성형을 위한 측면 가압 공정은 별도로 해석하지 않았고 인장력에 의한 변형이 거의 없다는 가정 하에 가상 형상을 적용하였으며, 초기 성형단계 이후 정상상태(steady state)로 진행되는 인발공정의 특성에 따라 초기

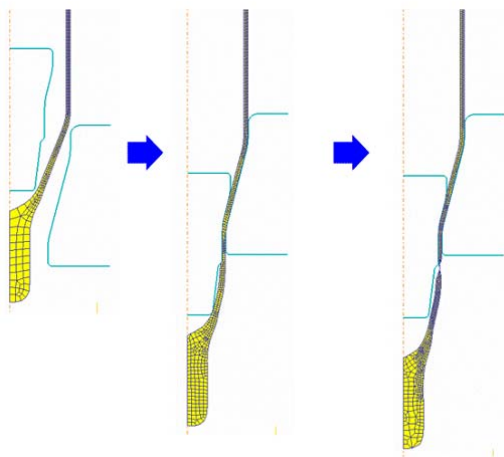


Fig. 4 Deformed geometry of one-blow drawing process with ductile fracture

소재의 길이는 실제보다 짧은 500mm 로 설정하였다. 특히, 본 제품의 경우 직경 뿐만 아니라 두께도 동시에 감소되어야 하므로 튜브 내부에 플러그를 장착하여 직경과 두께를 모두 제어하는 플러그인발(plug drawing) 공법[3~5]이 사용되었다. 본 제품에 사용된 소재는 AISI-1008 로서 DEFORM-2D 의 데이터베이스에 내장된 물성치를 사용하였으며, 소재의 피막처리 및 금형과 플러그의 연마상태를 고려하여 마찰상수는 0.04 로 설정하였다.

인발 속도를 25mm/sec 로 설정하였을 경우 CAE 해석을 통하여 얻은 성형품의 변형형상을 Fig. 3 에 나타내었다. 플러그의 전진 및 정지 단계까지는 별다른 문제가 없이 성형이 진행되지만 플러그의 정지 직후 금형 하단부에서 연성과괴(ductile fracture)에 의한 찢어짐이 발생하는 것으로 예측되었다. 따라서, 본 제품의 경우 단공정의 인발공정으로는 성형이 어려울 것으로 판단되었다.

2.2 공정 분할

일반적으로 소성가공 공정에서 과도한 성형량이 요구될 경우 공정을 분할하여 각 단계의 성형량을 한계치 이하로 제한하는 다단계 공정(multi-stage process)이 구성된다[6~7]. 따라서, 본 연구에서는 제품 성형을 위한 접근법으로 전체 공정을 2 단계로 분할하여 각 단계의 단면감소율을 성형한계치 이하로 감소시키는 방안을 고찰하였다. 원소재의 두께가 2.0mm 이고 최종 성형두께가 1.55mm 이므로 1 공정의 목표 두께를 1.8mm 로 설정하면

Table 1 The distributed area reduction ratios for 2-stage drawing process

No.	OD <sup>1)</sup> (mm)	Th <sup>2)</sup> (mm)	RA <sup>3)</sup> (%)
Workpiece	60.5	2.0	-
Proc. 1	46.9	1.8	30.6
Proc. 2	38.0	1.55	30.4

1) OD: Outer diameter of tube / 2) Th: Thickness of tube  
3) RA: Area reduction ratio

Table 1 에 나타낸 바와 같이 각 단계의 단면감소율을 약 30% 정도로 균일하게 배분할 수 있다. 그러나, 일반적인 튜브 인발공정의 단면감소율은 10~25% 범위로서 본 제품의 경우 공정을 분할한다고 할지라도 성형이 어려울 것으로 판단되었다.

2.3 복합인발공법

전절에서 고찰한 바와 같이 본 제품의 경우 높은 단면감소율로 인하여 공정을 분할한다고 할지라도 일반 인발공법으로는 제품의 성형을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구에서는 일반 인발공정보다 높은 단면감소율을 갖는 제품의 성형을 위하여 금형 출구측에서의 인장력과는 별도로 소재의 투입구측 단부에 추가적인 펀치를 설치하여 압축력을 가함으로써 성형부의 소재가 인장과 압축의 복합하중을 받을 수 있도록 공정을 수정하였으며, 이러한 방식의 공정을 복합인발공정(combined drawing process)으로 정의하였다.

일반 인발공정에 대한 복합인발공정의 효과를 파악하기 위하여 Table 1에 나타낸 단면감소율 30.6%의 1공정에 대하여 CAE 해석을 수행하였다. Fig. 5(a)에 일반 인발공정의 변형형상을 나타내었는데, 'A'로 표시된 부위에서 직경과 두께의 감소가 발생하여 결국에는 균열이 발생함을 알 수 있었다. 반면에 복합인발공정의 경우 Fig. 5(b)에 나타낸 바와 같이 균열이 발생하지 않고 성형이 완료됨을 알 수 있었는데, 후방의 압축력은 일반 인발공정에서 예측된 성형하중의 약 10%에 해당되는 15kN으로 설정하였다. 다만, 그림의 'B'로 표시된 바와 같이 소재의 인장측에 두께 감소가 발생함을 관찰할 수 있었으나 Fig. 5(c)에 나타낸 바와 같이 압축력의 크기를 일반 인발하중의 30%로 증가시킬 경우 두께 감소가 완화되는 경향을 보이고 있음을 알 수 있었다. 결과적으로 복합인발공정을 사용할 경우 일반 인발공정에 비해 보다 큰 범위의 단면감소 효과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

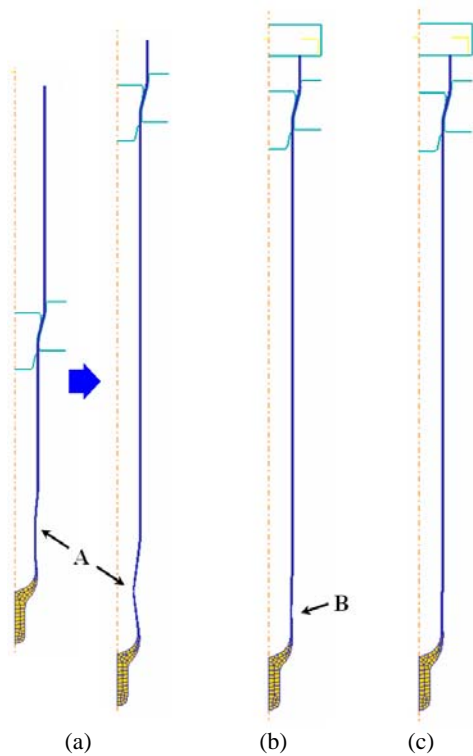


Fig. 5 The deformed geometries obtained by CAE analyses: (a) conventional tube drawing and (b) combined drawing with compressive force of 15kN and (c) 45kN

### 3. 공정 설계 및 CAE 해석

일반 인발장치에서는 소재의 후방에 압축력을 인가할 수 없기 때문에 본 연구에서는 복합인발공정을 구현할 수 있는 유압식 전용 성형기를 제작하였다. 일반 인발공정의 경우 소재의 금형 장입 전에 구부의 성형을 위한 측면 가압공정이 수행되는데, 제작된 장치에서는 후방 가압장치를 이용하여 압출과 동일한 메커니즘으로 구부를 성형할 수 있기 때문에 측면 가압공정이 불필요하다. 따라서, 제작된 복합인발 전용장치의 작동은 Fig. 6에 나타난 바와 같이 압축력을 이용한 단부성형 (tube sinking), 플러그 전진(plug moving), 복합인발의 순서로 진행된다.

이러한 복합인발공정을 사용할 경우 Fig. 5에 나타난 바와 같이 약 30%의 단면감소율에 대해서도 성형이 가능하기 때문에 Table 1에 나타난 2단계 성형공정도 채택이 가능하다. 그러나, 일반적

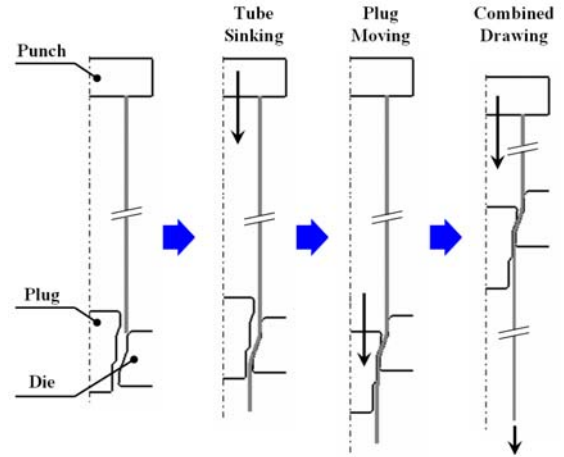


Fig. 6 The process procedure of the manufactured combined drawing machine

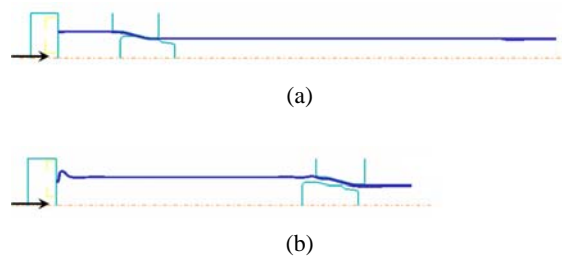
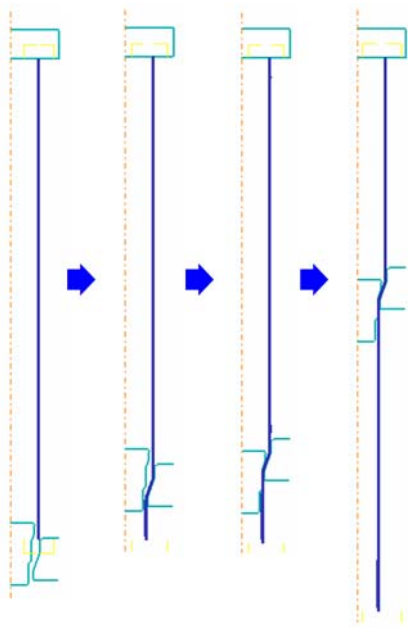


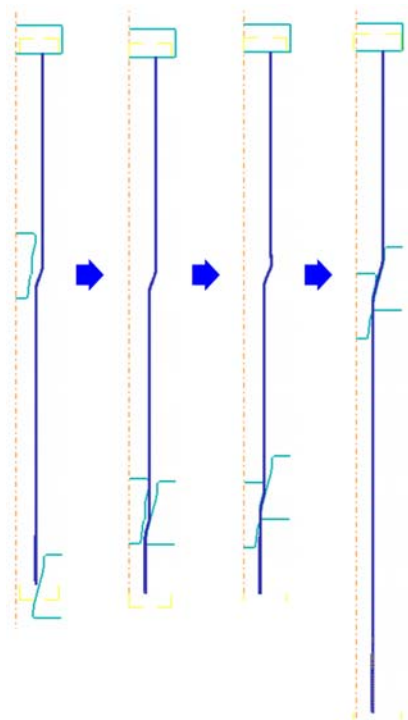
Fig. 7 The deformed geometries with area reduction ratios of (a) 33% and (b) 34%

으로 2 단계 공정에서는 최종 제품의 형상 정밀도 및 동심도의 확보를 위하여 1 단계 공정에서의 성형량을 2 단계 공정보다 크게 설정하는 것이 유리하다. 따라서, 1 단계 공정의 성형량 설정을 위한 성형 한계치의 파악이 필요하며, 본 연구에서는 1 단계 공정의 단면감소율을 31%에서 1%씩 증가시켜 CAE 해석을 수행하였다. 단, 1 단계 공정에서의 성형 두께는 1.8mm로 고정시켰으며, 인발지그와 플러그의 이동 속도는 제작된 전용성형기의 사양을 고려하여 25mm/sec로 설정하였다. 또한, 후방 펀치의 인가하중은 전절에서와 동일하게 45kN을 부여하였다. 반복 해석의 결과로 Fig. 7(a)에 나타난 바와 같이 단면감소율 33%까지는 불량 없이 성형이 가능하였지만 단면감소율 34%의 경우에는 Fig. 7(b)에 나타난 바와 같이 플러그의 전진이 시작되기 전에 소재의 투입구측에서 좌굴(buckling)이 발생함을 예측할 수 있었다.

이상의 해석을 통하여 1 차 성형에서 채택 가능



(a)



(b)

**Fig. 8** The predicted deformed geometries of the designed process: (a) 1st and (b) 2nd stage



**Fig. 9** The manufactured combined drawing machine using 2 hydraulic pumps



(a)



(b)

**Fig.10** The cowl cross bars obtained by tryouts: (a) the preform and final forgings and (b) the cross sections of the prototypes

한 단면감소율의 범위는 30~33%임을 파악할 수 있었다. 따라서, 본 연구에서는 최종적으로 각 성형단계에서의 적절한 성형량을 고려하여 1, 2 차 성형단계에 대한 단면감소율은 각각 32.0%와 29.0%로 배분하였는데, 1 단계 공정에서의 목표 두께를 1.8mm 로 설정하면 외경은 46.0mm 로 계산된다. 최종 설계치에 대하여 1, 2 차 성형단계에서의 후방 압축력을 각각 45kN 과 35kN 으로 설정하여 수행된 CAE 해석에서 얻어진 변형 형상을 Fig. 8 에 나타내었는데, 설계된 공정을 적용하여 목표하는 형상을 무리없이 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

#### 4. 시험 성형

본 연구에서는 인장력과 압축력을 동시에 가하기 위하여 Fig. 9에 나타낸 바와 같이 유압식 전용 성형기를 제작하였다. 제작된 장치는 2개의 유압

탱크가 장착되어 소재 투입구측의 압축력과 금형 출구측의 인장력을 동시에 인가시킬 수 있다. 전용 성형기를 이용하여 본테라이징 피막처리된 파이프를 소재로 시험성형을 수행하였으며, 제작된 1, 2단계 시제품 및 지름 변경부의 절단 형상을 Fig. 10에 나타내었다. 그림에 나타낸 바와 같이 설계된 2단계 복합인발공정의 적용을 통하여 당초 목표했던 제품의 성형이 가능함을 알 수 있었으며, 별도로 제작된 측정 지그를 이용하여 제품의 요구 정밀도가 만족됨을 확인할 수 있었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 자동차 카울크로스바의 일체 성형을 위한 2단계 복합인발공정을 설계하였으며, 시험성형을 통하여 설계된 공정을 검증하였다. 이러한 일련의 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 본 제품의 경우 초기 소재인 파이프의 직경과 두께가 각각 60.5mm, 2.0mm 이고 성형 후 직경과 두께는 각각 38.0mm, 1.55mm 로서 단면감소율이 51.7%에 달하기 때문에 1 단계 튜브 인발공정으로는 성형이 어렵다.

(2) 단순히 인장력만을 가하는 일반 인발보다는 후방에서 원소재에 압축력을 가하는 복합인발 공법을 적용할 경우 단순인발공정에 비해 높은 단면감소율을 얻을 수 있다.

(3) 복합인발공법의 채용 및 공정의 분할을 통하여 카울크로스바에 대한 일체형 성형공정을 설계하였으며, 시험성형을 통하여 설계된 공정이 타당함을 입증하였다.

(4) 본 논문의 범위는 특정 형상의 카울크로스바의 성형에 국한되어 있어 제안된 복합인발공정의 가능성 및 제한점이 충분히 고찰되지 못했다.

향후 보다 다양한 소재 치수 및 후방 압축력 변화에 따른 성형성 변화에 관한 연구가 필요하다.

## 후 기

본 연구는 2009년도 대구대학교 학술연구비의 지원으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] M. Cog, T. Altan, 2001, An overall review of the tube hydroforming(THF) technology, J. Mater. Process. Technol., Vol. 108, pp. 384~393.
- [2] I. S. Um, S. M. Na, Y. G. Kim, H. S. Kim, D. S. Park, 2007, Optimal application of automotive cowl cross bar using hydroforming technology, Proc. Kor. Soc. Mech. Eng. Conf., pp. 13~18.
- [3] K. Swiatkowski, R. Hatalak, 2004, Study of the new floating-plug drawing process of thin-walled tubes, J. Mater. Process. Technol., Vol. 151, pp. 105~114.
- [4] T. Kuboki, K. Nishida, T. Sakaki, M. Murata, 2008, Effect of plug on leveling of residual stress in tube drawing, J. Mater. Process. Technol., Vol. 204, pp. 162~ 168.
- [5] S. W. Kim, Y. N. Kwon, Y. S. Lee, J. H. Lee, 2007, Design of mandrel in tube drawing process for automotive steering input shaft, J. Mater. Process. Technol., Vol. 187-188, pp. 182~186.
- [6] National Machinery Company, 1981, National Forging Talks, Tiffin, Ohio.
- [7] D. H. Kim, D. J. Kim, B. M. Kim, 1998, Process design of multi-step wire drawing using artificial neural network, Trans. Mater. Process., Vol. 7, No. 2, pp. 127~138.