

직물나염용 로터리 스크린 제판 시스템 개발

한유희*, 서정, 김인용, 박정호, 정승복, 김정오(한국기계연구원)

Development of Rotary Screen System for Textile Printing

Y. H. Han*, J. Suh, I. W. Kim, J. H. Park, C. B. Jeoung, J. O. Kim (KIMM)

ABSTRACT

The objective of the research is to automate the process of making screen for textile printing. Conventional process give rise to the trouble of high cost, long development period, pollution and etc. The automatized system using laser would give the competitive power for the textile industry by reducing the production cost and period.

Key Words : Laser engraving(레이저 엔그레이빙), Rotary screen(로터리 스크린), AO modulator(광변조기), Polymer curing(폴리머 경화), Textile printing(날염 인쇄)

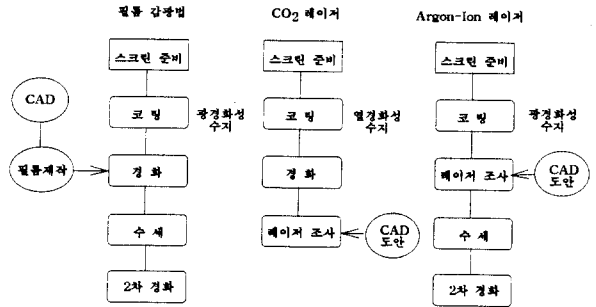
1. 서론

섬유는 과거 70년대부터 80년대에 걸쳐 주요 수출 품목이었으나 90년대에 들어서 3D 기피 현상 및 인건비 상승 등으로 국제사회에서 제품의 경쟁력을 점차 상실하고 있다. 특히 섬유 가공분야인 염색 및 나염은 이태리와 같은 새로운 대자인 기법 개발이 아닌 단순 임가공 차원에서 탈피하지 못해 더욱 후발 주자인 인도네시아, 중국, 태국 등의 저임금 국가에게 주도권을 양보하고 있는 실정이다. 그러나 이태리, 독일 등이 세계적인 섬유제품 수출국인 것을 감안할 때 섬유는 결코 사양산업이 아니며 오히려 첨단기술을 접목시킴으로써 다시금 수출 주력 업종으로 부상할 수 있음을 기대 할 수 있다.

본 연구에서 "레이저"라는 새로운 tool을 이용해 나염공정에서 시간 및 인력 소비가 가장 큰 제판공정을 단순화, 신속화 하고자 관련 시스템을 개발하였다. 개발의 구성원은 한국기계연구원이 중심이 되고 4개의 관련 기업 및 대학으로 구성되어 있다. 이는 본 개발 품이 복합적인 지식과 경험을 필요로 하고 또한 개발후 상품화를 고려하여 구성한 것이다.

2. 로터리 스크린 제판 공정

기존 로터리 스크린 제판 공정은 2가지로 분류된다. 필름 감광법은 고전적인 방법으로 CAD 도안을 우선 필름으로 제작하여 로터리 스크린에 덧씌운 다음 자외선을 조사하여 로터리 스크린에 도포되어있는 감광성 수지를 감광시켜 경화 무늬를 얻는다.



필름제작 공정과 필름을 로터리 스크린에 정밀하게 덧씌우는 작업은 제작시간이 많이 소요될 뿐 아니라 숙련된 기술이 요구되는 단점이 있다. 최근에 도입되기 시작한 CO₂레이저 제판법은 필름제작 공정 없이 직접 CO₂레이저 에너지를 이용하여 로터리 스크린에 도포된 수지를 태워 CAD 도안을 구현함으로써 공정의 단축과 함께 작업의 편의성이 얻어지게 되었다.

본 연구에서 개발된 방법은 CO₂ 레이저 대신 Argon-Ion 레이저를 사용함으로써 CO₂ 레이저가 갖는 단점들을 보완하였다.

3. CO₂ 레이저와 Argon-Ion 레이저 제판법 비교

표 1 에서 보듯이 Argon-Ion 레이저는 CO₂ 레이저에 비해 장점이 많다. 우선 파장이 CO₂레이저에 비해 1/30 수준이고 펄스 주파수도 수십배에 달하고 부피, 무게 뿐 아니라 가격면에서도 유

터는 Intra-Action사의 제품으로 사용한 레이저빔 파장에 대해서 beam deflection 각도는 약 4.25mrad이다. 그리고, optical rise time은 최대 약 55ns, active aperture height는 2mm이다. 로터리 드럼의 재생에 사용한 CO₂ 레이저는 한국기계연구원과 LG전선(주)에서 국내제작한 것으로 1800W의 최대출력을 낸다.

본 장치의 특징은 한대의 아르곤 이온 레이저를 로터리 엔그레이빙 장치의 물론 플랫 스크린 제판 장치에도 활용함으로써 레이저 사용의 극대화를 꾀하는 데 있다. 플랫 스크린 제판장치도 본 연구에서 개발하였으나 지면 관계상 다음 기회에 언급하기로 한다.

5. CAD 및 로터리 엔그레이빙 시스템의 구동

5.1 CAD의 구성

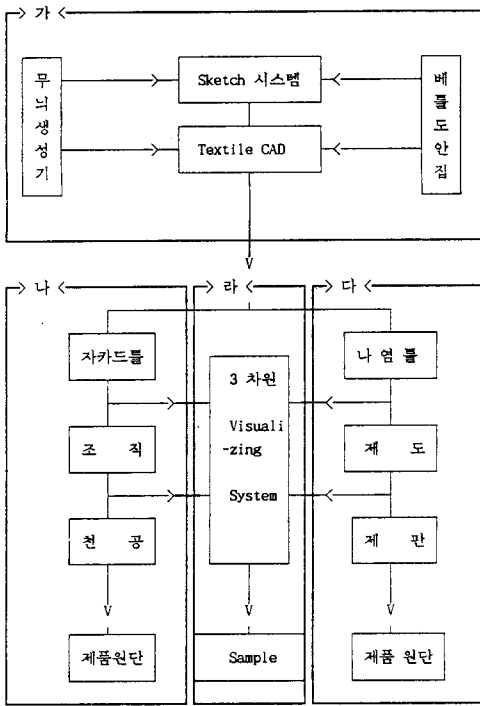


Fig. 3 CAD modules for textile printing

제작된 나염 CAD는 그림 3과 같이 구성된다.

○ Sketch system

○ 자카드 직물틀

○ 나염틀

- 나염틀

<가>의 일반적인 스케치 시스템을 통하여 디자인된 도안을 나염 디자인의 특수성에

맞는 도구들을 모아 들으로써 나염 디자인에 사용할 수 있는 도안으로 바꾸는 작업을 충실하는 모듈.

- 제도

<가>와 <1.>의 공정을 거친 도안은 본격적으로 제판을 위한 과정으로 옮겨지게 되는데 이때 각 무늬의 배치 혹은 무늬의 반복점등을 결정하여야 한다. 또한 이렇게 완성된 무늬의 각 색상별 분도 작업을 하여야 하는데 이러한 과정에서 필요로 하는 공정들의 모듈.

- 제 판

○ 3차원 Visualizing System

추후 개발되는 봉제용 CAD 시스템과 본 과제를 포함 진행되는 무늬관련된 2차원 프린팅 계열의 프로그램은 매우 연동적으로 움직이게 될 것이며 이를 바탕으로 하여 모델의 의상을 번갈아 입혀줄 수 있는 형태의 2차원 mapping 기술을 이용한 시뮬레이션과 마네킹에 봉제 CAD에서 제한된 옷본을 봉제 하여 입혀 보고 그것을 360° 회전시켜 볼 수 있게 한다. 최종적으로는 옷감의 질감을 표현할 수 있는 방법을 고찰하여 통합 솔루션을 제공하는 CAD 시스템으로 발전시킨다.

제작한 CAD 프로그램은 PCX, TGA, GIF, BMP, TIF, WOO, TRN 화일등의 그림 데이터를 읽어들일 수 있다¹⁾. 엔그레이빙 장치에서 사용하는 데이터 화일은 TRN 화일이다. TRN 화일은 디자인된 도안의 한 분판을 단색 도안으로써 각 화소단위를 순차적으로 1 및 0의 비트데이터로 저장한 것이다. 따라서 레이저 엔그레이빙 장치로 각 분판을 제작할 때 레이저빔이 조사되는 위치를 이동시키며 각 비트 데이터대로 레이저를 on/off 제어하여 원하는 결과를 얻을 수 있다.

5.2 로터리 엔그레이빙 장치의 system interface 및 구동

로터리 엔그레이빙 장치의 구동 및 제어는 PC를 사용하여 구현하였다. 그리고 그 전체적인 구동시스템에 대한 인터페이스의 개략도는 그림 4와 같다.

인터페이스된 장치는 크게 Argon-Ion 레이저빔의 on/off 제어

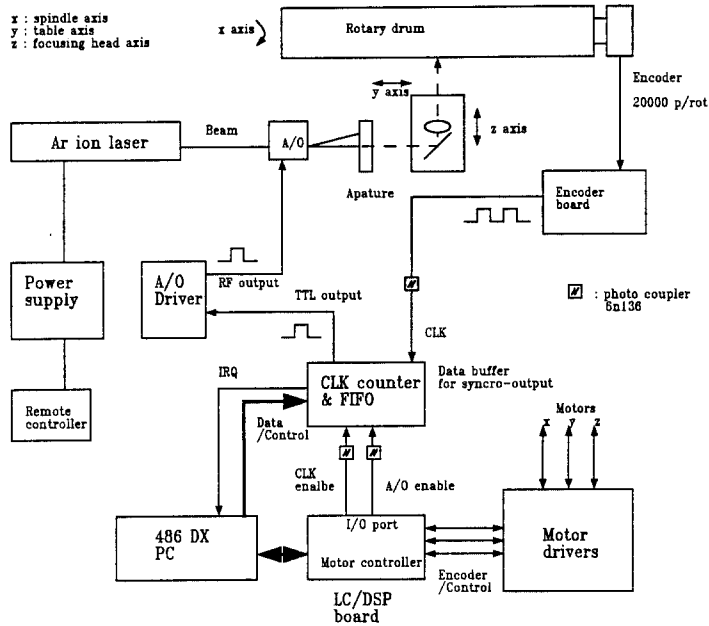


Fig. 4 Diagram of hardware interface of rotary engraving system

를 위한 A/O 모듈레이터, 구동 모터 및 그 드라이브, 모터구동용 PC 보드, 고분해능의 로터리 인코더 및 데이터버퍼 그리고 PC로 구성된다.

우선 모터의 구동 및 제어는 MEI(Motion Engineering Inc.)사의 PC에 장착하는 모터 제어 보드인 LC/DSP를 사용하였다.

로터리 엔그레이빙 장치에서 로터리 드럼을 회전시키는 스핀들축은 1200rpm의 정속 운전에 용이한 속도제어의 서보 모터 구동방식을 택하였다. 그리고, 테이블의 이송축 및 레이저빔 집속헤드부를 구동하는 축은 위치제어방식을 택하였으며 LS/DSP 보드에서는 스테퍼 모터 구동방식을 택하였다. 그리고, 각 축에 사용된 모터 인코더의 분해능 및 제어 신호에 대한 것은 표 3에 요약하였다.

Table 3 Motor control of rotary engraving system

	인코더 (펄스/회전)	최대 정격 회전 속도 (rpm)	제어신호	신호 범위
스핀들 축	4000	2000	전압	-10 ~ 10 V
테이블 이송축	4000	1000	펄스열 회전 방향 부호	0 ~ 94 kHz
광집속 헤드 이송축	4000	2000	펄스열 회전 방향 부호	0 ~ 94 kHz

우선 가공기의 구동은 CW 레이저가 계속적으로 조사된다면 로터리 드럼 위에 주사되는 레이저빔이 나선형의 자취를 남기며 진행하도록 하였다. 이때 1 회전시 테이블 이송축이 전진하는 거리는 그림의 분해능과 관계하여 기본화소의 크기만큼 진행하도록 했다. 이와 같이 레이저빔이 로터리 드럼을 일정하게 주사하며 나갈 때 그림 데이터가 새겨지도록 레이저빔을 CAD 데이터(1 또는 0)에 따라 A/O 모듈레이터를 사용하여 on/off 제어하므로써 로터리 드럼위에 도포된 폴리머를 위치에 따라 선택적으로 경화한다. 이 때 로터리 엔그레이빙의 스핀들축이 정속에서 약간의 진동이 있다하더라도 무늬가 제 위치에 새겨지도록 하기 위하여 회전당 20000 펄스가 나오는 인코더를 사용하여 위치 동기 신호를 얻었다. 그리고 이 동기신호에 따라 데이터를 순차적으로 A/O 모듈레이터에 내보내기 위한 데이터 버퍼 IDT72105 FIFO 와 드럼 원주위에서 원하는 분해능을 얻기 위한 인코더 신호의 분주를 위해 8254 카운터칩을 사용하였다.

실험에서는 인코더 신호를 2분주하여 사용하였으며 약 640mm의 원주를 갖는 드럼을 사용하였을때 드럼위에서 각 화소의 기본크기는 64 μ m 였다.

로터리 드럼의 재생에서는 cw 모드의 CO₂레이저를 사용하여 로터리 드럼을 주사하여 모든 경화 폴리머를 열로서 태워 없애는 것이다. 따라서 레이저빔을 on/off 제어없이 무늬를 새겨넣을 때와 같이 가공기를 구동하였다(그림 2).

6. 폴리머의 경화²⁾⁻¹⁹⁾

Argon-Ion 레이저를 사용하여 UV의 짧은 파장으로 광중합을 일으키기 위한 폴리머로써 광반응성이 우수한 PVA계의 감광성 수지를 사용하였다.

먼저 PVA 감광성 수지의 레이저 경화 특성 조사를 위한 기초 실험으로 노광시간의 변화에 대한 경화도는 노광전후의 무게 감량비를 계산하여 얻었다. 먼저 slide glass위에 bar coater를 사용하여 PVA감광성 수지 필름을 제조한다. 이때, PVA 감광성 수지의 제작은 SCR 102 9g, 물 0.96g, diazo계 감광제 0.04g으로 구성한다. Slide glass위에 도포된 PVA 감광성 필름을 drying oven내에서 건조시킨 후, elcometer 256 FN T2로 필름의 두께를 측정하였다. 필름의 두께는 22 - 27 μ m 범위에 해당되었다. 이와 같은 과정으로 만든 감광성 필름에 주어진 노광시간만큼 레이저를 조사한 후, 온수에서 부드러운 솔을 이용하여 경화되지 않은 부분을 수세하여 제거하여 경화도를 계산하였다.

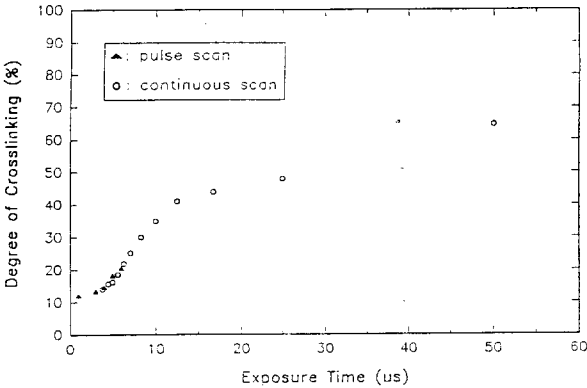


Fig. 5 Relation between exposure time and degree of cross linking (laser power : 1W, formulation : SCR 102 9g, diazo 0.08g, water 0.92g)

레이저빔의 조사방식으로 우선 수지의 한 부분을 레이저빔으로 일정시간 조사한후 그 위치를 옮겨가며 일정면적을 노광하는 방식과 일정면적을 일정한 속도로 레이저를 주사해 나가는 두 가지를 선택하여 실험하였다. 그림 5의 노광 정도에 따른 경화도이다. 일정 속도로 레이저를 조사한 결과를 노출 시간으로 환산하는 것은 레이저빔의 크기만한 면적을 주사하는데 걸리는 시간으로 계산하여 환산한 것이다. 실험에서 수지위에서의 레이저빔의 크기는 50 μ m 였다.

그림 5에서 노광 시간 및 조사 속도에 대한 경화도의 변화가 일정하지 않음을 알 수 있다. 레이저빔의 노광시간 또는 조사 속도에 의한 중합효율은 어느 범위 내에서는 급격히 변화하는 반면 어느 범위까지는 완만하게 변화한다.

로터리 엔그레이빙 장치에서 원주 640mm 드럼을 1200rpm으로 회전하며 한 화소의 크기를 64 μ m로 할경우 한 화소에 대한 평균 노광시간은 약 5 μ s가되며 이때 경화도는 그림 5에서 약 15%이다. 따라서 드럼의 수세후 UV파장이 나오는 광원(형광등)을 이용하여 2차 경화를 하게된다.

7. 엔그레이빙 실험 결과

제작한 로터리 엔그레이빙 장치는 회전속도가 클 수록 원심력에 의해 회전축에 수직인 드럼의 진동이 적어진다. 실제의 경우 600rpm에서는 gap sensor를 이용하여 측정한 최대 진동 변위가 약 1.49mm 작업속도인 1200rpm 에서는 그 최대변위가 약 1.04mm 였다. 그러나 표 2에서 예측할 수 있듯이 엔그레이빙 결과 진동에 의한 무늬의 불완전함이 발견 되지 않았다.

PVA 감광성 수지를 도포시킨 후 건조 과정을 통해 제작된 스크린을 로터리 가공기에 장착시켜 엔그레이빙한후 온수로 경화되지 않은 부분을 수세하여 제거하였다. 이 때 사용한 레이저 출력은 1.67W이며, 로터리 스크린의 mesh는 60, 100, 145, 155의 4가지 종류였으며, 로터리 가공기의 회전속도는 600rpm부터 100rpm씩 높이면서 1200rpm까지 변화를 주었다.

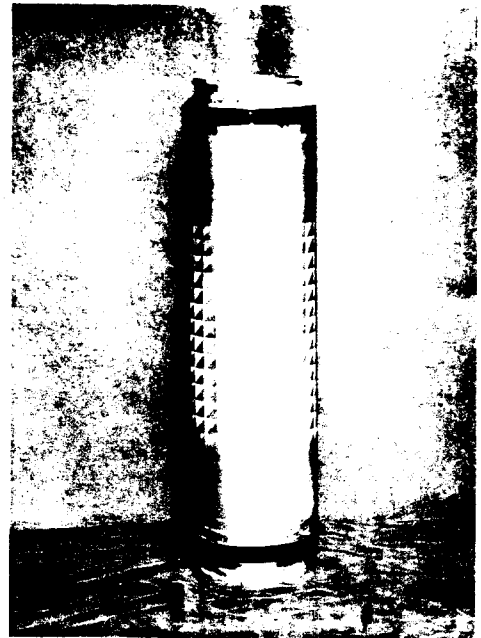


Photo. 1 Rotary screen engraved with triangular pattern (#96066006)

로터리 스크린에 경화된 폴리머 피막의 핀홀 존재여부를 분석한 결과에 의하면, 로터리 스크린의 mesh 크기에 따른 변화는 없으며, 회전 속도에 따른 변화는 다음과 같다. 이 실험에서는 각 회전 속

도마다 50개의 삼각형 패턴을 만들었다(사진 1).

Table 4 Relation between number of pinholes on hardened polymer and rotation speed of drum

회전 속도 (rpm)	핀홀이 있는 삼각형의 수(%)
600	0 (0)
700	0 (0)
800	0 (0)
900	1 (2)
1000	2 (4)
1100	7 (14)
1200	12 (24)

표 4에 나타낸 것 같이 800rpm아래의 속도에서는 핀홀이 존재하지 않으나 900rpm 부터는 회전 속도가 빠를 수록 핀홀의 수가 증가하여 불량을 나타냈다. 이 때 핀홀이 생긴 삼각형 무늬는 무작위적으로 존재하는 것이 아니라 연속적으로 연결되어 있으므로 핀홀이 생긴 이유를 PVA 감광성 수지를 로터리 스크린에 균일하게 도포시키지 못하여 생긴 결과로 볼 수 있다. 즉, 도포의 두께가 두꺼운 부분은 충분히 경화가 이루어지지 않은 관계로 박리된다고 본다. 그러나 800rpm이하에서는 감광시간의 증가에 의해 폴리머 도포상태에 영향을 받지 않는다.



Photo. 2 Recycled rotary screen(#96066009)

폴리머의 재생은 CO₂레이저를 사용하였으며 드럼의 회전속도는

600rpm. 레이저 출력은 약 400 - 800W 범위로 하였다. 그리고, 드럼 1회전당 진행거리는 약 160 μ m였다. 실험에서 집속된 레이저빔의 열에 의해 폴리머가 태워져 날아갔으며 이 때 열에 의한 mesh의 산화가 있어 Ar 가스를 보호가스로 사용해 보았으나 드럼이 고속으로 회전하기 때문에 제 역할을 하지 못하였다. 레이저 출력이 400W 이하에서는 폴리머의 일부가 제거되었지만 mesh hole을 막고 있던 폴리머가 모두 완벽하게 제거되지 않았다. 레이저 출력이 약 400W 이상인 경우 사진 2와 같이 폴리머가 비교적 깨끗이 제거된다.

8. 결론

로터리 엔그레이빙 장치에 CO₂ 레이저를 이용한 스크린위의 경화된 수지를 태우는 방식이 아닌 짧은 UV파장(351.1nm & 363.8nm)의 Argon-Ion 레이저를 광원으로한 광경화방식을 택하였다. 광경화성 수지로는 PVA계 폴리머를 사용하였고 diazo계의 감광제를 사용하였다. 짧은 광원을 사용함으로써 스크린위에서 깊은 초점깊이를 얻을 수 있었고 로터리 스크린의 진동방지를 위한 장치없이 섬세한 무늬를 얻을 수 있었다. 그리고 Argon-Ion 레이저의 on/off 제어를 위해 A/O 모듈레이터를 채용함으로써 수 MHz의 빔모듈레이션이 가능해 로터리의 회전속도를 1200rpm의 고속으로 유지하며 레이저 엔그레이빙이 가능하였다.

로터리 엔그레이빙 장치의 구동은 PC용 LC/DSP보드를 사용하였으며 레이저빔의 정밀한 위치제어를 위해 고분해능(2000 펄스/회전)의 신호동기용 엔코더를 로터리의 스피들축에 설치하여 스피들축의 회전속도에 무관하게 하였다. 실험에서는 2분주를하여 원주 640mm의 드럼을 사용할 경우 64 μ m의 화소를 갖도록 하였다. 그리고 CAD 데이터를 엔그레이빙장치로 구현하기 위한 데이터버퍼를 자체 제작하였다.

로터리 스크린의 재생에는 cw CO₂ 레이저를 사용하였으며 600rpm으로 구동할 때 약 400W- 800W 출력에서 깨끗이 제거되었다.

나염용 CAD 소프트웨어를 제작하였다. 그리고 로터리 스크린 엔그레이빙 장치와 플랫 스크린 엔그레이빙 장치를 하나의 Argon-Ion 레이저 광원을 이용하도록 하고 CO₂ 레이저를 이용한 로터리 스크린 재생기를 함께 집적하여 제작하였다. 이는 나염공정에서 제판공정을 단순화 신속화 자동화하는데 있어서 중요한 핵심 기술이 될 것이다.

참고문헌

- 1) Craig A. Lindly, "Practical Image Processing in C", John Wiley & Sons, 1991.
- 2) 신 중규, "나염기술", 형설출판사, 1992.

- 3) Jean-Pierre Fouassier Ed., "Lasers in Polymer Science and Technology : Application", Vol.I~IV., CRC Press, Boca Raton, 1990.
- 4) H. F. Mark, N. M. Bikales, C. G. Overberg, G. Menges and J. I. Kroschwitz, "Encyclopedia of Polymer Science and Engineering", John Wiley & Sons, Vol. 1 ~17, 1985.
- 5) "감광성 수지의 합성과 응용", CMC, 1982.
- 6) C. E. Hoyle and J. H. Kinstle, "Radiation Curing of Polymer Materials", American Chemical Soc. Washington, D. C., 1990.
- 7) J. P. Fouassier, D. J. Loughnot and T. Pilot, *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.*, 23, 569(1985).
- 8) M. A. Williamson, J. D. B. Smith, P. M. Castle and R. N. Kauffman, *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.*, 20, 1875(1982).
- 9) R. K. Sudhis, J. D. B. Smith and P. M. Castle, *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.*, 21, 1315(1983).
- 10) T. Tsunoda and T. Yamaoka, *J. Appl. Polym. Sci.*, 8, 1379(1964).
- 11) E. S. Cockburn et al, *Eur. Polym. J.*, 24, 1015(1985).
- 12) C. Decker and A. D. Jenkins, *Macromolecules*, 18, 1241(1985).
- 13) R. K. Sadhis, J. D. B. Smith and P. M. Castle, *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.*, 23 411(1985).
- 14) J. D. Fouassier, P. Jacque, D. J. Loughnot and T. Pilot, *Polym. Photochem.*, 5, 57(1984).
- 15) C. Decker, *J. Polym. Sci. Polym. Chem.*, 21, 2451(1983).
- 16) K. Iwata, T. Hagiwara and H. Matsuzawa, *J. Polym. Sci. Polym. Lett. Ed.*, 22, 215(1984).
- 17) C. Decker, *Polym. Photochem.*, 3, 131(1983).
- 18) M. Feng, Z. Liang and Y. Chen, *Chinese J. Polym. Sci.*, 9, 24(1991).
- 19) G. E. Frigerio and A. Stefanini, *Lettere al Nuovo Cimento*, 2, 810(1971).