

단 신

퓨록산의 고정화 및 알카인 생성을 위한 퓨록산이민 유도체의 합성과 기체상 분해 반응

김기영 · 황광진*

홍익대학교 과학기술대학 화학시스템 공학과
 (2008. 11. 13 접수)

Synthesis and Fragmentation of Furoxanimine for Immobilization and Alkyne Formation on the Solid Surface

Gi Young Kim and Kwang-Jin Hwang*

Department of Chemical System Engineering, Hongik University, 300 Shinanri, Jochiwon, Chungnam 339-701, Korea
 (Received November 13, 2008)

주제어: 알카인, 퓨록산이민, 전자빔, 분해반응

Keywords: Alkyne, Furoxanimine, E-beam, Fragmentation

서 론

Furoxan(퓨록산)은 1,2,5-oxadiazole-*N*-oxide로서 1,2,5위치에 산소와 두 개의 질소 원자를 포함하는 헥테로 오각 고리 화합물로서 생체 내에서 cysteine, glutathione과 같은 thiol 화합물과 반응하여 NO를 생성하므로 혈압조절, 항암성, 항균성 등의 다양한 생리활성과¹⁻⁵ 약리활성이 보고되었다.⁶⁻⁸ 화학적으로 퓨록산은 6개의 파이전자를 가지는 방향족성(aromaticity) 화합물이며, 이주 안정한 상태를 유지한다.⁹ 하지만, 용액 내에서는 열을 가하면 자체적으로 이성질화 반응이 일어나고,¹⁰⁻¹³ 흥미롭게도 구조적 특성상 열,¹⁴⁻¹⁵ 빛¹⁶ 및 전자빔에¹⁷ 의하여 분해반응이 진행되

어 nitrile oxide (RCNO) 또는 NO 화합물을 방출한다. 기체상 전자빔을 이용한 furoxan의 분해반응 연구결과에 따르면 furoxan 고리의 O(1)-N(2) 결합이 높은 에너지 상에서 해리 되면서 dinitroso-alkene을 거쳐 NO를 방출하고 상응하는 알카인을 생성하는 것으로 알려졌다.

Furoxan이 분해되어 NO 및 삼중결합이 생성되는 반응은 alkyne의 합성이라는 측면에서 주목을 받고 있다.^{17,18} 표면 위에 고정화된 furoxan의 분해반응을 이용하여 alkyne을 효율적으로 생성할 수 있다면 패터닝(patterning)을 비롯하여 표면의 물성개선, 고체상 합성, 바이오칩 등 다양한 분야에서 이용될 것으로 예견된다.¹⁹⁻²² 이러한 응용성을 염두에 두고 본 연구

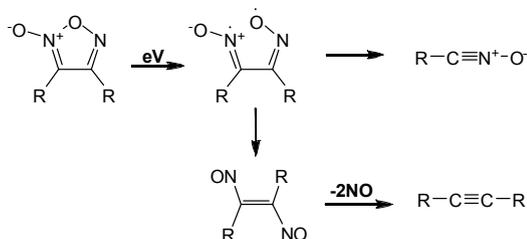


Fig. 1. E-beam mediated fragmentation of furoxan in gas phase (ref 17)

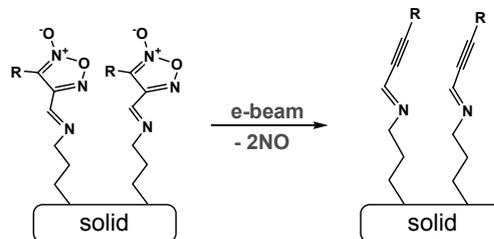


Fig. 2. Fragmentation of self-assembled furoxan for the alkyne formation.

실과 공동연구진은 실리카 및 금 표면에 부착된 퓨록산을 전자빔으로 쪼였을 때 고체상 위에 생성된 삼중 결합을 확인한 바 있다.¹⁸

고체상에서 전자빔 또는 연엑스레이를 이용한 퓨록산 분해반응 결과에 따르면 삼중결합의 생성효율이 높지 않았는데 이는 furoxan의 근본적인 분해성, 박막에서의 분자들의 광감응성, 퓨록산을 고정화시키는 linker의 안정성에서 기인하는 것으로 사료되나 확실한 원인은 밝혀지지 않고 있다.¹⁸ 고체상 퓨록산의 분해반응에 의한 알카인의 생성 연구에서 중요한 점은 일차적으로 빛 또는 전자빔에서 linker가 안정해야만 한다. 실리카위에 퓨록산을 고정화 시키는 방법으로는 이미노기와 퓨록산-알데히드의 이민(imine) 결합이 주로 이용되고 있다. 이에 본 연구에서는 퓨록산 화합물로 부터 알카인의 생성효율과 아울러 이민결합의 안정성에 대하여 알아보고자 일차적으로 퓨록산 알데히드 **1-3**의²³ 이민유도체 **4-6**을 합성하고 이들에 대하여 기체상에서 전자빔에 의한 분해반응을 분석하였다.

실 험

시약 및 기기

모든 반응은 수분이 제거된 질소 가스 분위기에서 진행하였다. 실험에 사용된 시약은 Aldrich 등의 시약 상에서 구입한 것으로 정제 없이 사용하였으며 반응 진행 여부는 Merck사의 thin-layer chromatography (Silica gel 60F 254 Merk, 25 TLC glass sheet)로 알아보았는데 시료의 존재여부는 UV(254nm)램프 또는 착색용액 (H₂SO₄ / AcOH / anisaldehyde / EtOH = 1/4/5/95)을 문힌 후 heat-gun으로 가열하여 spot을 확인하였다. 형광을 나타내는 화합물은 장파장 UV (365nm)램프로 관찰하였다. 실리카겔(Merk 70-230, 40-70mesh)이 충전된 컬럼 크로마토그래피를 이용하여 시료를 분리하였다. 실험에 사용한 용매 톨루엔은 P₂O₅를 넣고 증류하여 정제하였다. UV 램프는 Spectronics 사의 model ENF-240을 사용하였고 NMR spectra는 Varian의 Gemini 200MHz기종을 사용하였으며, 내부표준물질로는 tetramethylsilane (TMS)를 사용하여 δ(ppm)값을 표시하였다. 질량분석데이터는 한국화학연구원에 의뢰하여 autospec mass spectrometer (Micromass, U.K., Manchester)기종으로

분석하였다.

합성(Synthesis)

N-(3-Methylfuroxan-4-yl)methylenaniline (**4a**)

Dean stark 장치를 한 flask에 aniline (0.24 ml, 2.6 mmol), toluene (10 ml)를 넣고 30분 동안 120°C로 reflux 시킨 후 퓨록산 알데히드 **1** (256 mg, 2 mmol)을 toluene (1 ml)에 녹여 120°C에서 천천히 떨어뜨린 후 5시간 동안 120°C에서 reflux 교반반응 시켰다. 교반을 멈춘 후 냉각 후 toluene을 제거하여 농축시킨 후, ethyl acetate로 3회 추출하였다. 반응 혼합물을 무수 황산마그네슘으로 건조, 여과 및 감압 농축한 후 column chromatography (SiO₂, 13% EA/Hexane)로 분리하여 노란색 고체 화합물 **4a** (365 mg, 90%)를 얻었다; mp = 144-146°C. ¹H-NMR (CDCl₃), δ(ppm); 8.60 (s, 1H, HC=N), 7.28-7.50 (m, 5H, Ar-H), 2.53 (s, 3H, CH₃); MS m/z (relative intensity); 203 (M⁺, 34), 186 (M-17, 15), 156 (M-147, 16) 143 (M-60, 45), 142 (M-61, 54), 115(M-88, 23), 104 (M-99, 100), 77(94).

N-[(3-Methylfuroxan-4-yl)methylene]-4-chloroaniline (**4b**)

화합물 **4a**의 합성과 같은 방법으로 4-chloroaniline (0.96 g, 7.5 mmol)/toluene (10 ml)에 화합물 **1** (0.64 g, 5 mmol)/toluene (1 ml)을 넣은 후 5시간 동안 120°C에서, reflux 교반 반응시키어 최종적으로 재결정 (10% EA/Hexane)으로 분리한 옅은 노란색 바늘모양 결정 화합물 **4b** (1 g, 90%)를 얻었다; mp = 144~146°C. ¹H-NMR (CDCl₃), δ(ppm); 8.59 (s, 1H, HC=N), 7.38-7.46 (m, 2H, Ar-H), 7.18-7.26 (m, 2H, Ar-H), 2.52 (s, 3H, CH₃).

N-[(3-Methylfuroxan-4-yl)methylene]-4-bromoaniline (**4c**)

화합물 **4a**와 같은 방법으로 4-bromoaniline (0.96 g, 7.5 mmol)과 화합물 **1** (0.64 g, 5 mmol)을 toluene (1 ml)에 녹여 120°C에서 천천히 dropping하여 120°C에서 5시간 동안 교반 반응시키어 재결정 (10% EA/Hexane)으로 분리하여 흰색 바늘모양 결정 화합물 **4c** (1 g, 90%)를 얻었다; mp = 144-146°C. ¹H-NMR (CDCl₃), δ(ppm); 8.59 (s, 1H, HC=N), 7.53-7.60

(m, 2H, Ar-H), 7.11-7.18 (m, 2H, Ar-H), 2.52 (s, 3H, CH₃).

***N*-(4-Methyl-5-oxy-furazan-3-ylmethylene)-*N'*-(4-methyl-2-oxyfurazan-3-ylmethylene)-benzene-1,4-diamine (4d)**

화합물 **4a**와 같은 방법을 이용하여 1,4-phenylenediamine (0.54 g, 5 mmol), toluene (15 ml), 화합물 **1** (1.28 g, 10 mmol)을 120°C에서 48시간 동안 reflux 교반 반응시킨 후 감압 농축 후 ethyl acetate로 재결정하여 갈색 바늘 모양 화합물 **4d** (656 mg, 40%)를 얻었다; mp = 213-215°C. ¹H-NMR (CDCl₃), δ(ppm); 8.64 and 8.65 (d, 1H, HC=N), 8.44 and 8.45 (d, 1H, HC=N), 7.33-7.38 (m, 4H, Ar-H), 2.69 (s, 3H, CH₃), 2.54 (s, 3H, CH₃): MS m/z (relative intensity); 328 (M⁺, 100), 268 (M-60, 10), 229 (M-99, 56) 208 (M-120, 29), 172 (M-156, 77), 169(M-159, 53), 145 (26), 141(31), 115(37).

***N*-(3-Methylfuroxan-4-yl)vinylbenzyleneaniline (5a)**

화합물 **4a**와 같은 방법을 이용하여 aniline (0.09 ml, 1 mmol), 화합물 **2** (230 mg, 1 mmol)를 toluene (5 ml)에 넣은 뒤 120°C에서 5시간 동안 reflux 교반 반응시킨 후 감압 농축 후 얻어진 화합물을 ethyl acetate로 재결정하여 노란색 고체 화합물 **5a** (100 mg, 32%)를 얻었다; mp = 148-150°C. ¹H-NMR (CDCl₃), δ(ppm); 8.45 (s, 1H, HC=N), 7.86~7.92 (m, 2H, Ar-H), 7.37~7.44 (m, 2H, Ar-H), 7.20-7.25 (m, 5H, N-Ar-H), 7.09 and 7.15 (d, 1H, C=CH), 6.14 and 6.20 (d, 1H, HC=C), 1.83 (s, 3H, CH₃): NMR δ_c(CDCl₃, ppm); 111.44, 114.95, 115.21, 121.02, 126.47, 128.87, 129.25, 129.30, 129.35, 130.11, 136.93, 138.01, 138.51, 138.63, 139.33, 140.38, 151.75, 159.17: MS m/z (relative intensity); 305 (M⁺, 100), 245 (M-60, 82), 208 (M-97, 26) 115(16), 104(35).

***N*-(3-Methylfuroxan-4-yl)vinylbenzyleneaniline (5b)**

화합물 **4a**의 합성방법과 같은 방법으로 dodecylamine (185 mg, 1.2 mmol), toluene (10 ml)를 넣고

30분 동안 120°C로 reflux 시킨 다음 푸록산 화합물 **2** (230 mg, 1 mmol)를 120°C에서 반응 시킨 후, 감압 농축한 후 재결정 (10% EA/hexane)으로 분리하여 노란색 결정 화합물 **5b** (30 mg, 8%)을 얻었다. ¹H-NMR (CDCl₃), δ(ppm); 8.26 (s, 1H, HC=N), 7.69 and 7.74 (d, 2H, Ar-H), 7.20 and 7.24 (d, 2H, Ar-H), 7.07 and 7.13 (d, H, C=CH), 6.11 and 6.17 (d, 1H, HC=C), 3.58 and 3.67 and 3.65 (t, 2H, N-CH₂-CH₂), 1.78 (s, 3H, C-CH₃), 1.19-1.32 (m, 22H, (CH₂)₁₁), 0.84 and 0.89 and 0.91 (t, 3H, CH₂-CH₃): MS m/z (relative intensity); 397 (M⁺, 19.6), 380 (M-17, 5.6), 367 (M-30, 0.7), 337(M-60, 0.7), 284(M-113, 100).

***N*-(3-Phenylfuroxan-4-yl)benzylideneaniline (6a)**

화합물 **4a**와 같은 방법으로 aniline (70 mg, 0.8 mmol)과 화합물 **3** (0.1 g, 0.4 mmol)을 120에서 반응 시킨후 감압 농축한 후 재결정 (10% ethyl acetate/hexane)으로 분리하여 노란색 결정 화합물 **6a** (88 mg, 65%)를 얻었다; mp = 162-164°C. NMR δ_H (CDCl₃, ppm); 8.50 (s, 1H, HC=N), 7.95-7.99 (m, 2H, Ar-H), 7.60-7.66 (m, 2H, Ar-H), 7.37-7.56 (m, 5H, Ph-H), 7.21-7.37 (m, 5H, N-Ar-H): ¹H-NMR (CDCl₃), δ(ppm); 118.99, 121.01, 122.77, 124.59, 126.66, 128.54, 128.66, 128.95, 129.10, 129.33, 129.67, 130.71, 130.98, 133.18, 138.57, 151.48, 157.51, 158.81, 158.94, 160.19: MS m/z (relative intensity); 341 (M⁺, 58), 325 (M-60, 7), 281 (M-97, 100).

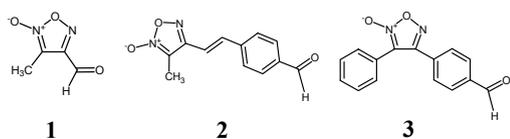
***N*-[(3-Phenylfuroxan-4-yl)benzylene]-4-chloroaniline (6b)**

화합물 **4a**와 같은 방법으로 p-chloroaniline (72 mg, 0.6 mmol)과 화합물 **3** (0.1 g, 0.4 mmol)을 120°C에서 5시간 동안, 반응시킨 후 감압 농축한 후 재결정 (10% ethyl acetate/hexane)으로 분리하여 노란색 결정 화합물 **6b** (100 mg, 66%)을 얻었다; mp = 173-175°C. ¹H-NMR (CDCl₃), δ(ppm); 8.49 (s, 1H, HC=N), 7.96 and 8.00 (d, 2H, furoxan-Ar-H), 7.63 and 7.67 (d, 2H, furoxan-Ar-H), 7.48-7.52 (m, 5H, furoxan-Ph-H), 7.36 and 7.40 (d, 2H, N-Ar-H), 7.16 and 7.20 (d, 2H, N-Ar-H): MS m/z (relative in-

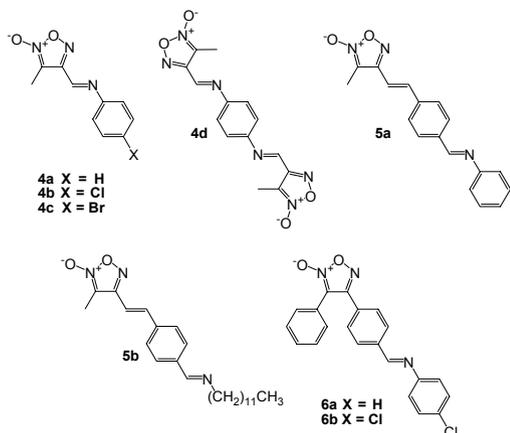
tensity); 377 (M+2, 19), 375 (M⁺, 53), 317 (M-58, 100), 317 (M-60, 100), 111(16).

결과 및 고찰

고체상위 퓨록산의 분해반응에 의한 알카인의 생성 연구에서 중요한 점은 빛 또는 전자빔에서의 고정화 작용기가 안정하여야 하고 알카인의 생성이 효율적으로 진행되어야 한다. 퓨록산의 분해에 의한 알카인의 생성은 퓨록산 고리에서의 치환기에 영향을 받고 있으므로 퓨록산고리의 치환체가 이중결합이나 방향족 고리를 포함하는 퓨록산 알데히드 **1-3**을 선정하고 이에 대한 이민 유도체 **4, 5, 6**을 합성하였다.



퓨록산이민 유도체의 합성은 toluene에서 해당 알데히드 **1-3**과 방향족 또는 알킬 아민의 응축 반응을 Dean Stark 장치로 물을 제거하는 방법으로 진행하였다.²⁴ 이민 화합물 **4a, b, c**는 컬럼 크로마토그래피로 분리하여 90% 이상의 수율로 얻어낼 수 있었다. 이민화합물의 합성에서 컬럼 크로마토그래피를 이용한 화합물의 분리 방법은 종종 이민이 가수 분해되어 반응 수율이 낮아지는 문제점이 확인되었다. 한편 알킬 아민을 이용한 이민 화합물 **5b**의 합성에서는 이민 결합이 실리카에서 쉽게 분해되고 낮은 녹는점과 낮은 극성으로 인하여 재결정으로도 생성물이 쉽게 분리 되지 않는 어려움이 있었다.



퓨록산-이민 유도체의 분해반응

합성한 퓨록산이민 유도체를 전자빔에 의한 NO 방출반응의 효율을 알아보기 위해 질량분석기내에서 20eV의 전자빔으로 분해반응을 진행시키고 그 결과를 분석하였다.

콘주게이트된 치환기가 없는 퓨록산이민 유도체

퓨록산이민 유도체 **4a**의 질량분석 스펙트럼(Fig. 3)에서는 203 (M⁺, 34), 173 (M-30, 2), 143 (M-60, 54), 104 (M-99, 100)가 특징적 피크로 나타났다. 두 분자의 NO가 방출되고 알카인의 생성을 보여주는 (M-60)의 피크가 분자량 피크(m/z=203)보다 크게 나타났다. (M-99) 피크 (m/z=104)는 퓨록산이민 **4a**에서 퓨록산 고리가 분리되고 남은 [C₆H₅N=CH]⁺ 양이온 원자단으로 해석되었는데, 이와 같이 (M-99) 피크가 크게 나타나는 이유는 질소원자의 비공유 전자쌍에 의한 [C₆H₅N=CH]⁺의 안정화 효과로 해석되었다.²⁵ 퓨록산 고리와 이민 결합의 절단반응은 화합물 **4d**의 경우 더욱 분명하게 관찰되었다. 다이이민 **4d**의 질량분

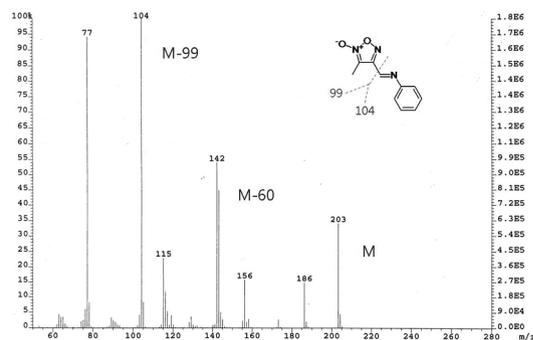


Fig. 3. Mass spectrum of furoxan imine **4a**.

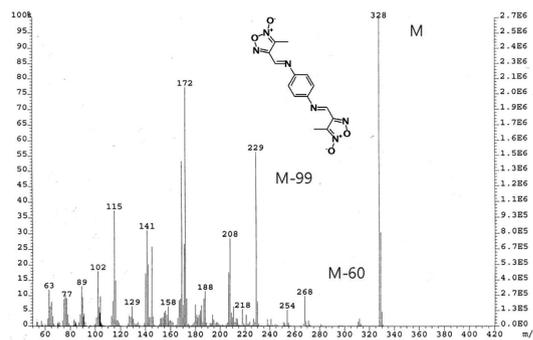


Fig. 4. Mass spectrum of furoxan imine **4d**.

석 스펙트럼(Fig. 4)에서 M-99(229, 52)는 M-60(268, 10)보다 훨씬 크게 나타났고 퓨록산 고리 하나와 NO 두 개가 방출된 ($m/z = 169$) 피크도 54%로 매우 크게 관찰 되었다. 두 개의 퓨록산 고리가 모두 제거된 130(M-198)피크는 2%로 매우 낮게 나타난 것으로 보아 퓨록산고리의 이탈 반응이 NO방출보다 잘 일어나는지는 비교할 수 없었다.

이중결합으로 콘쥬게이트된 퓨록산-이민 유도체

퓨록산 고리가 이중결합과 연결되어있는 화합물 **5a**의 질량분석 스펙트럼(Fig. 5)의 주요 피크의 m/z 값은 305 (M^+ , 100), 245 (M-60, 80), 104 (M-201, 36), 208 (M-97, 27)에서 나타났다. 화합물 **4**와 비교할 때 상대적으로 퓨록산이민 **5a**는 두 개의 NO 방출 반응이 잘 진행되었으며, NO방출 후 삼중결합이 떨어진 $m/z = 206$ (M-99 2%) 피크는 매우 작게 나타난 것으로 보아 퓨록산 오각고리의 이탈 반응은 거의 진행되지 않음을 알 수 있었다. 한편 페닐 이미늄이온 [$\text{PhN}=\text{CH}$] $^+$ 의 생성을 나타내는 $m/z = 104$ 피크가 36%로 비교적 크게 나타나서 고체상에서의 이민 결합의 불안정성을 생각할 수 있으나 이러한 결과가 NO방출 후 $[\text{Ar}-\text{C}=\text{N}]$ 에서 Ar-C 결합이 절단되는지 ($m/z = 141$) 아니면 전자빔 주사 초기단계부터 일어나는지 ($m/z = 201$)는 확인 할 수 없었다.

콘쥬게이트된 치환체가 양쪽에 있는 퓨록산이민 유도체

퓨록산 고리의 3,4번 위치가 방향족으로 치환된 퓨록산이민 유도체 **6**의 질량분석 스펙트럼(Fig. 6,7) 분석 결과 화합물 **6a**는 341 (M^+ , 57), 281 (M-60, 100) 피크가, 또한 화합물 **6b**는 377 (M^+ , 18.9), 375

(M^+ , 52.9), 315 (M-60, 100)의 피크가 특징적으로 나타났다. 화합물 **6a**, **6b** 모두 NO가 방출되는 (M-60) 피크가 base peak로 나타나는 것으로 보아 두 개의 방향족고리가 3,4위치에 치환된 화합물 **6**은 전자빔에 의하여 NO 방출반응의 효율이 가장 높고 다른 분해 반응이 거의 일어나지 않음을 알 수 있었다.

본 연구를 요약하면, 고체상에서 퓨록산의 분해반응을 알아보고자 알데히드가 콘쥬게이트된 퓨록산의 이민 유도체 **4-6**을 합성하고 이들을 질량분석기내에서 전자빔에 의해 분해반응을 진행한 결과 퓨록산 고리가 방향족 고리 또는 이중결합과의 콘쥬게이션 정도가 커질수록 NO 방출반응의 효율이 높아지는 것을 볼 수 있었다. 화합물 **6a,b**에서와 같이 퓨록산의 3,4위치에 방향족 고리가 치환된 경우 전자빔에 의한 분해반응에서 NO 방출반응이 주요반응으로 진행되는 것으로 관찰 되었다. 또 퓨록산이민 **5a**의 경우에도 알카인 생성이 효율적으로 진행됨을 확인 하였다. 한편 화합물 **4a-c**의 경우와 같이 퓨록산 고리가 이민결합과 직접 연결되어 있을 경우는 퓨록산 고리의 이탈

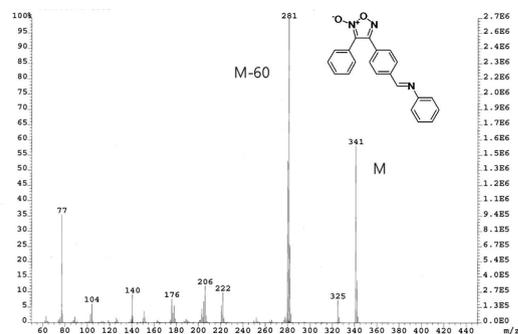


Fig. 6. Mass spectrum of furoxanimine **6a**.

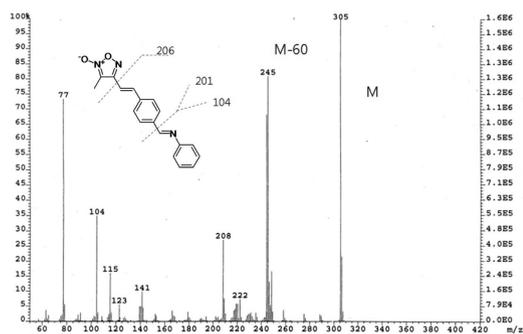


Fig. 5. Mass spectrum of furoxanimine **5a**.

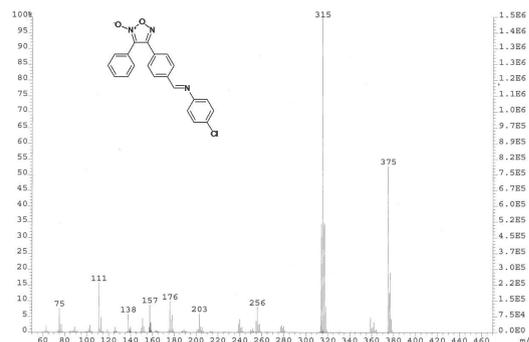


Fig. 7. Mass spectrum of furoxanimine **6b**.

이 쉽게 진행되었다. 따라서 퓨록산을 고체상에 이민으로 결합하는 경우 퓨록산 고리에 방향족 고리가 콘쥬게이트된 퓨록산 **6a,b** 경우에 전자빔 또는 빛에서 안정하고 알카인 생성이 효율적으로 진행되어 향후 이는 자기조립박막의 고체상 나노 패터닝에 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

이 논문은 2007학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.

인용문헌

- Boiani, M.; Cerecetto, H.; González, M. *Il Farmaco* **2004**, *59*, 405.
- Takayama, H.; Shirakawa, S.; Kitajima, M.; Aimi, N.; Yamaguchi, K.; Hanasaki, Y.; Ide, T.; Katsuura, K.; Fujiwara, M.; Ijichi, K.; Konno, K.; Sigeta, S.; Yokota, T.; Baba, M. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters* **1996**, *6*, 1993.
- Hwang, K.-J.; Park, Y. C.; Kim, H. J.; Lee, J. H. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **1998**, *62*, 1693.
- Velazquez, C.; Rao, P. N. P.; McDonald, R.; Knaus, E. E. *Bioorganic & Medicinal Chemistry* **2005**, *13*, 2749.
- Galli, U.; Lazzarato, L.; Bertinaria, M.; Sorba, G.; Gasco, A.; Parapini, S.; Taramelli, D. *European Journal of Medicinal Chemistry* **2005**, *40*, 1335.
- Bertinaria, M.; Stilo, A. D.; Tosco, P.; Sorba, G.; Poli, E.; Pozzoli, C.; Coruzzi, G.; Fruttero, R.; Gasco, A. *Bioorganic & Medicinal Chemistry* **2003**, *11*, 1197.
- Ascenzi, P.; Bocedi, A.; Gentile, M.; Visca, P.; Gradoni, L. *Biochimica et Biophysica Acta* **2004**, *1703*, 69.
- Lo'pez, G. V.; Batthyany, C.; Blanco, F.; Botti, H.; Trostchansky, A.; Migliaro, E.; Radi, R.; Gonzalez, M.; Cerecetto, H.; Rubbo, H. *Bioorganic & Medicinal Chemistry* **2005**, *13*, 5787.
- Willer, R. L.; Moore, D. W. *J. Org. Chem.* **1985**, *50*, 5123.
- Fruttero, R.; Ferrarotti, B.; Serafino, A.; Stilo, A. D.; Gasco, A. *Heterocyclic Chem.* **1989**, *26*, 1345.
- Friedrichsen, W. *Journal of Molecular Structure (Theochem)* **1995**, *342*, 23.
- Klenke, B.; Friedrichsen, W. *Tetrahedron* **1996**, *52*, 743.
- Stevens, J.; Schweizer, M.; Rauhut, G. *J. Am. Chem. Soc.* **2001**, *123*, 7326.
- Curran, D. P.; Fenk, C. *J. Am. Chem. Soc.* **1985**, *107*, 6023.
- Mitchell, W. R.; Paton, R. M. *Tetrahedron Lett.* **1979**, *20*, 2443.
- Hwang, K.-J.; Kim, S. K.; Shim, S. C. *Chemistry Lett.* **1998**, *8*, 859.
- Hwang, K.-J.; Jo, I.; Shin, Y. A.; Yoo, S.; Lee, J. H. *Tetrahedron Lett.* **1995**, *36*, 3337.
- Kim, C. O.; Jung, J. W.; Kim, M.; Kang, T.-H.; Ihm, K.; Kim, K.-J.; Kim, B.; Park, J. W.; Nam, H.-W.; Hwang, K.-J. *Langmuir* **2003**, *19*, 4504.
- Zhang, Y.; Luo, S.; Tang, Y.; Yi, L.; Hou, K. Y.; Cheng, J. P.; Zeng, X.; Wang, P. G. *Anal. Chem.* **2006**, *78*, 2001.
- Lee, J. K.; Chi, Y. S.; Choi, I. S. *Langmuir* **2004**, *20*, 3844.
- Sun, X. L.; Stabler, C. L.; Cazalis, C. S.; Chaikof, E. L. *Bioconjugate Chem.* **2006**, *17*, 52.
- Nandivada, H.; Chen, H.-Y.; Bondarenko, L.; Lehann, J. *Angew. Chem.* **2006**, *45*, 3360.
- a) Kim, G. Y. *Synthesis of Furoxan Derivatives for Cleavage Reaction on Solid Surface* MS thesis, **2005** December, Hongik University. b) Kim, G. Y.; Kim, J.; Lee, S. H.; Kim, H. J.; Hwang, K.-J. *Bull. Kor. Chem. Soc.* **2009**, *30*(2), in publication.
- R. Calvino, A. Serafino, B. Ferrarotti, A. Gasco, *Archiv der Pharmazie* **1984**, *317*, 695-701.
- Heo, J.-M.; Kim, G. Y.; Hwang, K.-J. *J. Kor. Chem. Soc.* **2007**, *51*, 160.