

## Cobalt Oxime Sandwich형 화합물을 합성하기 위하여 Oxime류와 ( $\eta^5$ -Cyclopentadienyl)cobalt를 포함하는 착물과의 반응

李元植·李 赫·卞相仁·朴英培·李 侑·嚴在國\*·郭永佑†·金泰正‡

계명대학교 화학과

† 경북대학교 화학과

‡ 경북대학교 공업화학과

(1991. 10. 14 접수)

## Reaction of Cobalt Doubledecker Sandwich Complexes with Oximes for Synthesizing Cobalt Oxime Sandwich Complex

Won-Sik Lee, Hyuk Lee, Sang-In Byun, Young-Bae Park, Kwang Lee, Jae-Kook Uhm\*  
Young-Woo Kwak†, and Tae-Jeong Kim‡

Department of Chemistry, Keimyung University, Taegu 704-701, Korea

† Department of Chemistry, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

‡ Department of Industrial Chemistry, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

(Received October 14, 1991)

**요 약.** Cobalt 금속 중심으로 cyclopentadienyl을  $\pi$ -착물로 결합하고, 또 oxime 화합물을 리간드로 하는 cobalt oxime sandwich형 착물을 합성하기 위하여 본 연구를 수행하였다. Cyclopentadienyl-cobalt 부분을 도입하기 위해, ( $\eta^5$ -cyclopentadienyl) bis(ethylene)cobalt (Jonas 시약), ( $\eta^5$ -cyclopentadienyl)di(carbonyl)cobalt, 그리고 bis( $\eta^5$ -cyclopentadienyl)cobalt (cobaltocene)의 착물이 사용되었고, oxime를 각각 여러 가지 조건에서 반응시켰다. 그 중에서 Jonas 시약과 dienemonooxime인 2,4-hexadienealdoxime만이 반응되었으며, 그 생성물은 예상을 벗어난 ( $\eta^5$ -cyclopentadienyl)(2,4-hexadienenitrile)cobalt [VII]로 밝혀졌다. 이 화합물의 구조는 NMR, mass spectrometer, IR 원소분석기를 통해 확인되었다.

**ABSTRACT.** ( $\eta^5$ -Cyclopentadienyl)bis(ethylene)cobalt (Jonas reagent), ( $\eta^5$ -cyclopentadienyl)di(carbonyl)cobalt, and bis( $\eta^5$ -cyclopentadienyl)cobalt (cobaltocene) were reacted with oximes, respectively, under various conditions for synthesizing cobalt oxime sandwich complex. Jonas reagent and a dienemonooxime, 2,4-hexadienealdoxime underwent the reaction. This produced unexpected compound, ( $\eta^5$ -cyclopentadienyl)(2,4-hexadienenitrile)cobalt [VII]. The compound [VII] was identified by NMR, mass spectrometer, IR and elemental analyzer etc.

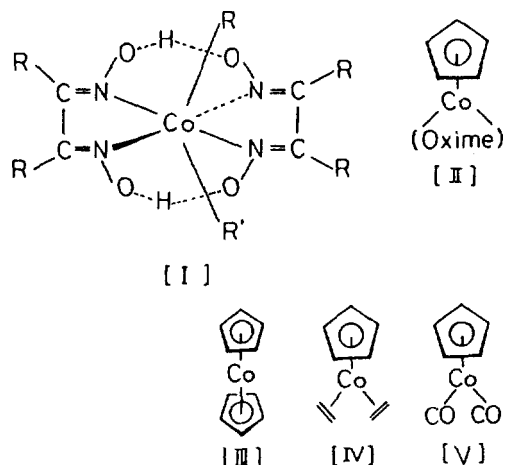
### 서 론

지금까지 밝혀진 cobaloxime 착물의 일반적인 구조는 [I]과 같다<sup>1-5</sup>. 금속 cobalt 중심으로 배위되는 질소 두 원자가 상하로 기울어져 있고 두 개의 alkyl group과 나머지 다른 원자들이 거의 평면에 놓이는 평면형으로 되어 있다. 또 최근에는 cobalt oxime tripledecker형인 CpCo(oxime)CoCp가 합성되고 그 구조가 밝혀졌다<sup>6</sup>. ligand인 cyclopentadie-

nyl을 상층으로 하고 cobalt 금속 중심으로 oxime 화합물을 ligand로 배위하는 입체구조형 [II] 즉 sandwich complex를 새로이 합성하고, 이 화합물로부터 유기합성에 대한 응용을 시도하고자 한다.

일반적으로 oxime 화합물은 대단히 안정하고 그 종류도 dioxime, monooxime, aryloxime, 그리고 이중결합을 포함하는 eneoime 등이 많은데<sup>7,8</sup>, 이들 oxime류가 유기금속 화합물과 반응이 어려울 것이

라는 예상에서 그 출발물질을 enedioxime인 2-butene dial dioxime과 dienemonooxime인 2,4-hexadienedioxime으로 하였다. 한편, cyclopentadienyl cobalt (CpCo) 부분을 도입시킬 유기금속화합물은 bis( $\eta^5$ -clopentadienyl)cobalt<sup>9</sup> [III](cobaltocene), ( $\eta^5$ -cyclopentadienyl)bis(ethylene)cobalt<sup>10</sup> [IV](Jonas 시약), ( $\eta^5$ -cyclopentadienyl)di(carbonyl)cobalt<sup>11</sup> [V]를 각각 사용하였다.



### 실 험

#### 시약 및 기기

본 실험을 수행하기 위하여 사용된 시약은 미국의 Aldrich, Strem사, 일본의 Wako사, 독일의 Merck사, 스위스의 Fluka사 제품 특급이었고, 유기용매는 각 용매를 potassium, sodium과 benzophenone 등을 함께 가하고, 아르곤 기체를 계속 불어 넣으면서 장시간 환류시킨 후 증류한 것을 사용하였다. Ethylene 개스와 불활성가스( $N_2$ 와 Ar)는 국내에서 생산되는 99.99% 이상의 순도를 지닌 것을 사용하였다. 이 실험을 위하여 사용된 분석기기는 용점측정용으로 영국제 Gallen kamp사 제품을, NMR spectra는 독일의 Bruker사 제품 FT-80 MHz, FT-300 MHz spectrometer로부터 얻었고, IR은 일본 Shimadzu사 IR-430 spectrometer를 통해서, Mass spectra는 일본의 MS25 RTA GC-MS로 측정되었고, 그리고 원소분석은 이태리 제품 Carlo Erba Elemental analyzer CHNS-OEA 1108을 사용하였다. 또 모든 반응은 이중다기능(double manifold) 감압장치로된 Schlenk

technique에서 이루어졌다.

#### 합성 및 반응

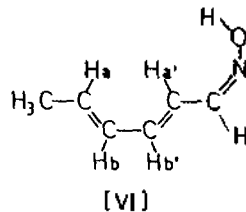
**Oxime 화합물의 합성.** Dienemonooxime을 생성시키기 위하여  $NH_2OH \cdot HCl$  염을 NaOH로 중화하고 이 때 생성된  $NH_2OH$ 를 2,4-hexadienal과 반응시켜 2,4-hexadienedioxime을 합성하였다. 이 때 얻어진 2,4-hexadienedioxime은 여러 종류의 기하 이성질체로 존재하며 승화에 의해 분리 및 정제하여 [VI]과 같은 구조를 갖는 화합물을 얻었다. 또 2-butenedialdioxime과 같은 enedioxime을 합성하기 위해 1,5-dihydro, 1,5-diacethoxy furan을 가수분해하여 생성시키는 방법과<sup>7</sup>, 1,5-dihydro, 1,5-dimethoxy furan을 가수분해시켜 합성하는 방법<sup>12</sup> 있는데, 상기법의 수율이 좋고 *cis*-, *trans*-형 분리가 용이하다. 2,4-hexadienedioxime의 NMR과 원소분석결과는 다음과 같으며 oxime의 입체구조 연구와<sup>7</sup> 같은 방법으로 구조를 결정하였다.

<sup>1</sup>H-NMR ( $\delta$ , DMSO- $d_6$ ): 1.98(d,  $CH_3$ ), 6.07(m, Ha), 6.18(m, Hb), 6.53(m, Hb'), 6.62(m, Ha'), 7.12(m,  $-CH=N$ ), 10.98(s,  $-OH$ )

원소분석결과; 분자식(분자량):  $C_6H_9ON(111.14)$

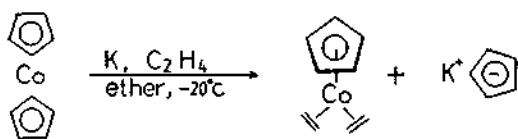
| 원 소 | 이론치(%) | 실측치(%) |
|-----|--------|--------|
| C   | 64.84  | 64.87  |
| H   | 8.16   | 8.21   |
| O   | 14.39  | 14.25  |
| N   | 12.60  | 12.67  |

융점: 89°C(분해, 공기 중에 안정)



**반응물질 유기금속화합물의 합성.** Bis( $\eta^5$ -cyclopentadienyl)cobalt (cobaltocene)를 생성시키기 위해 sodium cyclopentadienylide (NaCp)와 무수 cobalt dichloride를 반응시켜 얻어지는 생성물을 승화시켜 정제하였다<sup>13</sup>. 이 화합물은 반응물로 또는 Jonas 시약을 합성하기 위한 출발물질로 사용하였다. ( $\eta^5$ -Cyclopentadienyl)di(carbonyl)cobalt는 미국 Strem사 제품을 구입한 것을 직접 사용하였다. ( $\eta^5$ -Cyclopentadienyl)di(carbonyl)cobalt는 미국 Strem사 제품을 구입한 것을 직접 사용하였다. ( $\eta^5$ -Cyclopentadienyl)di(carbonyl)cobalt는 미국 Strem사 제품을 구입한 것을 직접 사용하였다.

tadienyl)bis(ethylene)cobalt는 Jonas의 방법<sup>10</sup>에 따라 다음과 같이 합성하였다. Cobaltocene은 19개에 원자가전자(valence electron VE)를 가져 상자기성(paramagnetic)으로 NMR상에 peak가 나타나지 않는다. 한편 합성된 Jonas 시약의 NMR 결과는 문헌치와 일치하였다. 또 합성된 cobaltocene과 Jonas 시약의 용점도 문헌치와 좋은 일치를 보여주었다<sup>10</sup>.



**Oxime과 유기금속화합물의 반응.** 2,4-Butene dial dioxime과 Jonas 시약, cobaltocene, 그리고 ( $\eta^5$ -cyclopentadienyl)di(carbonyl)cobalt와 각각 반응시키고, Na/K 합금(액체), K-거울 (potassium-mirror)의 각각의 조건에 따라 가열과 실온에서 또 반응 시간을 조절하면서 여러 가지로 반응을 시도하였으나, 생성물을 얻는데 실패하였다.

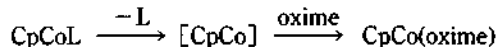
2,4-hexadienaldoxime을 cobaltocene과 ( $\eta^5$ -cyclopentadienyl)di(carbonyl)cobalt로 각각 반응시키고, 마찬가지로 여러 가지 조건을 바꾸어 주었으나 생성물을 얻지 못하였다. 이들 각 반응에서 생성물을 분리하기 위해 silicagel이나 alumina판 chromatography하면, 출발물질로 사용된 oxime류가 대부분 회수되었으므로 반응되지 않았음을 알 수 있었다.

그렇지만, 이 oxime 화합물과 Jonas 시약과는 반응이 되었으며 그 내용은 다음과 같다. 100 ml Schlenk tube에 2,4-hexadienaldoxime 0.938 g(8.38 mmol)을 넣고 약 15 ml의 정제된 THF에 녹이고, Jonas 시약 1.5 g(8.33 mmol)을 20 ml의 정제된 ethyl ether에 녹인 용액을 아르곤 기체를 불어 넣으면서 서로 혼합하여 실온에서 반응시켰다. 시간이 지남에 따라 TLC로 생성물을 확인하였다. 초기 반응물의 색깔은 오렌지색이었으나 점차 검은 갈색으로 변하였다. TLC 결과 초기에는 네개의 반점이 나타났고, 이들을 분리하기 위해 chromatography하였더니 출발물질과 소량의 생성물, 그리고 분해된 Jonas 시약을 알 수 있었다. 반응물의 색깔을 관찰하면서 계속 반응시켰다. 80시간 이후에는 크게 반점이 하나로 나타났고 흐릿한 반점을 두 개 더 얻을 수 있었다. 용매를 제거한 후 petroleum ether(PE)로

추출하여 silicagel 판 chromatography에 PE를 용매로 분리하였다. 처음에 용리되는 오렌지색은 미반응 Jonas 시약으로 확인되었고 두번째 분리되는 검붉은 색깔을 띠는 부분을 PE로 재결정하였다. 흑지색을 띠는 결정질이며 수율은 0.38 g(21%)이었다. 이 물질은 CpCo(oxime)이 될 것으로 기대하였으나 새로운 유기금속 착물인 CpCo(nitrile) [VII]이었음이 확인되었다. 이 생성물의 용점을 측정하기 위해 모세관을 감압하였다가 아르곤 개스를 불어 넣으면서 시료를 주입하고 그 주입구를 봉하였다. 측정된 용점이 55~56°C였다.

## 결과 및 고찰

**Oxime과의 반응.** CpCoL형에서 구조식 [II]와 같은 생성물이 되기 위해, 출발물질로 사용되는 착물이 분해되고 oxime 화합물이 리간드로 결합이 되는데, 이런 류의 반응은 동시에 일어날 수도 있다.



Cobaltocene의 경우 전자공여성이 좋은 CO나 PR<sub>3</sub> 등이 반응될 때 한부분의 cyclopentadienyl과 교환 반응이 가능할 수도 있지만, 또 친전자성 시약의 공격을 받으면 다른 형태의 반응이 일어난다<sup>14</sup>. Oxime 화합물은 비교적 전자공여성이 좋은 질소와 산소를 포함하지만, 이들과 결합이 되지 않을 경우를 생각하여 이중결합을 갖는 enoxime을 선택하여  $\pi$ -착물의 형성까지 예상하였다. 그렇지만 cobaltocene이 작용력이 큰 potassium 거울, K/Na 합금과 온도, 그리고 시간 변화 등 가능한 조건을 모두 가 하였으나 oxime과 반응되지 않았다.

또 CpCo(CO)<sub>2</sub>에서 마찬가지로 반응을 격렬히 시키면 CO가 이탈되고 oxime이 결합될 것이라고 예상하였으나 반응이 되지 않았고, 역시 광반응(Hg UV lamp, 420 nm)을 시켰을 때도 리간드 교환반응이 일어나지 않았다. 일반적으로 광반응에서는 CO의 이탈이 잘 되고 리간드 교환이 잘 되기 때문이다<sup>15</sup>. 한편, Jonas 시약은 열역학적으로 불안정한 물질로 아르곤 기류하 실온에서도 서서히 분해한다<sup>10</sup>. 따라서 이 화합물은 스스로 분해되면서 2,4-hexadienaldoxime의 이중결합과  $\pi$ -착물이 형성되었다. 그러나 *cis*, *trans*-2-butene dial dioxime과는 반응이 되지

않는 것으로 보아 이 화합물의 구조에 영향이 있는 것으로 생각된다. cobaltocene과  $\text{CpCo}(\text{CO})_2$ 의 경우 격렬한 반응조건에서 분해되는 중간체,  $\text{CpCo}$ -부분의 생성에 대한 문제인지 또는 이탈기의 부생성을 작용 때문인지는 아직 밝혀낼 수가 없다. 다만 생성물  $\text{CpCo}(\text{nitrile})$  [VII]의 수율이 크게 떨어지는 이유도 oxime기에서 이탈되는 물과 같은 부생성물이 너무나 극성이 커서 생성물을 분해시킬 것으로 상상된다. 다음 Scheme 1에 반응시켰던 내용을 나타내었다.

**$\text{CpCo}(\text{nitrile})$ 의 NMR 측정.** 이 화합물의 NMR 측정은 공기 중에 노출된, 중수소로 치환된 용매 (deuterated solvent)를 정제해야하는데, 먼저 몇차례 감압 가열하고 아르곤 기체를 불어 넣은 분자체(molecular sieve)속에 이 용매를 몇일간 정지한 후 액체질소로 얼게한 다음, 진공 pump로 불순물을 뽑아낸다. 이 과정을 몇차례 반복한 후 NMR 용매로 사용하였다.

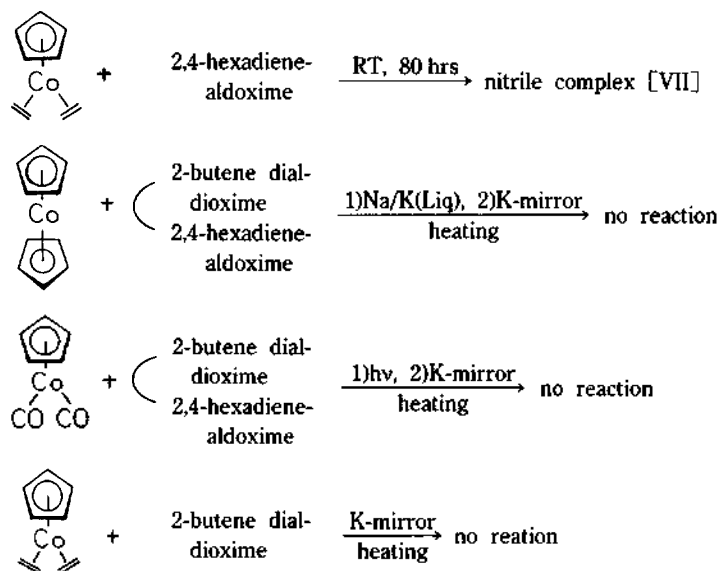
한편 이 화합물은 출발물질인 Jonas 시약에서부터 두 분자의 ethylene gas가 분리되고, 대신 2,4-hexadienaldoxime의 이중결합들과  $\pi$ -착물을 생성시킨 것으로 생각되었다. 이것을 확인하기 위해 리간드 oxime과 Jonas 시약과 참고문헌<sup>16</sup>의 NMR 결과를 비교하였다. 먼저 *s-cis* butadiene형의 구조에 methyl과 nitrile기가 결합된 리간드를 확인하면 될

것이다. 또 이 리간드는 oxime 기에서 물 한 분자가 이탈되면서 생성되는 nitrile(-CN)기를  $^{13}\text{C}$ -NMR과 IR peak로 확인할 수 있었다. 또 oxime [IV]에 결합된 aldehydic proton은 착물 [VII]의  $^1\text{H}$ -NMR에 그 peak가 보이지 않았다. 한편  $\text{Ha}'$  수소는 nitrile기의 전자끌기효과 (electron withdrawing effect)에 의해 낮은 자기장(low field)에서 나타났다. 또  $\text{Ha}$  수소는 cobalt 금속에 의한 가리움 효과(shielding effect)와 methyl기의 전자주게효과(electron donating effect)로 대단히 높은 자기장(high field)에서 나타났다. 다음에 착물 [VII]의 NMR 결과를 나타내었다.

$^1\text{H}$ -NMR ( $\delta$ ,  $\text{C}_6\text{D}_6$ ): 4.967(m,  $\text{Ha}'$ ), 4.42(s,  $\text{C}_5\text{H}_5$ ), 4.12(m,  $\text{Hb}'$ ), 0.68(d,  $\text{CH}_3$ ), 0.23(m,  $\text{Hb}$ ), -0.86(m,  $\text{Ha}$ )

$^{13}\text{C}$ -NMR ( $\delta$ ,  $\text{C}_6\text{D}_6$ ): 82.34( $\text{C}_5\text{H}_5$ ), 81.89(-CN), 75.84( $\text{Ca}'$ ), 50.92( $\text{Ca}$ ), 20.63( $\text{Cb}$ ,  $\text{Cb}'$ ), 15.43( $\text{CH}_3$ )

**IR 측정.** 생성물 [VII]이 대단히 불안정할 것을 예상하여 KBr과 그 고용체 디스크를 채우고 스캐닝 속도를 빨리하여 IR peak들을 얻었다. 먼저 출발물질 oxime과 화합물 [VII]의 주요 peak를 비교해보면, oxime의 특성인, -OH peak가 3100~3500  $\text{cm}^{-1}$ 에서 또  $\text{C}=\text{N}$ -의 peak는 1580  $\text{cm}^{-1}$ 에서 나타났다. 그러나 착물이 된 [VII]의 IR 결과는 oxime에 있던



Scheme 1. Reactions of organometallic compounds with oximes.

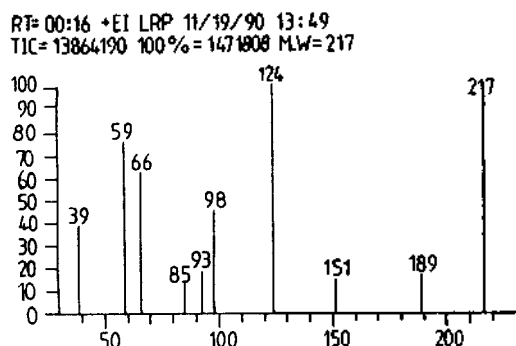
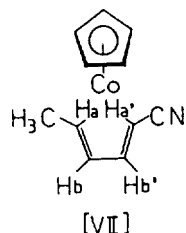


Fig. 1. EI-Mass spectrum of compound CpCo(nitrile) [VII].

-OH와 C=N-의 peak가 사라지고, 대신 2195 cm에서 강한 -CN peak가 나타남을 볼 수 있었다<sup>17</sup>.

**Mass spectrum 측정.** 생성물 [VII]의 분자량을 알기 위해 전자살(electron beam) 충격에 의한 EI-mass spectrum의 결과를 Fig. 1에 나타내었고 그 결과는 다음과 같이 확인하였다. 이 화합물의 분자량은 217이고, 124를 base peak로 하여 각 주요 peak들의 intensity도 같이 나타내었다.

$m/e$  : 217( $M^+$ , 93), 189[( $M-CH_3CH$ )<sup>+</sup>, 11], 151 [ $M-C_3H_5$ ]<sup>+</sup>, 11], 124[( $CpCo$ )<sup>+</sup>, 100], 98 [ $CpCo-C_2H_2$ ]<sup>+</sup>, 46], 93[( $Ligand$ )<sup>+</sup>, 15], 85[( $CpCo-C_3H_5$ )<sup>+</sup>, 10], 66[( $CpH$ )<sup>+</sup>, 61], 59( $Co^+$ , 77), 39[( $C_3H_3$ )<sup>+</sup>, 40]



**원소분석 결과.** 화합물 [VII]의 원소분석 결과는 다음과 같다.

분자식:  $C_{11}H_{12}NCo(217.16)$

| 원소 | 계산치(%) | 실측치(%) |
|----|--------|--------|
| C  | 60.84  | 60.95  |
| H  | 5.57   | 5.73   |
| N  | 6.45   | 6.38   |

**반응 mechanism.** 생성물 [VII]의 구조로 보아 Jonas 시약에서 두 분자의 ethylene이 이탈되고 그 위치에 2,4-hexadienealldoxime가 결합된 것으로 생

각된다. 다만 oxime기(-CH=N-OH)에서  $H_2O$ 가 이탈되는 과정을 밝혀야 하는데, 구조상으로 보아 ethylene이 떨어져 나오는 중간과정에 oxime기와 작용하여 ethanol이 형성되는지 계속 연구 중에 있다. 생성물의 수율이 너무 저조한 것으로 보아 극성 부생성물이 작용된 것으로 생각할 수 있었다.

## 결론

Oxime을 리간드로 갖는 cobalt oxime sandwich형 착물을 생성시키기 위하여 본 연구가 행해졌으며, 사용된 oxime류는 이중결합을 포함하는 화합물이었다. 이들과 반응된 착물은 CpCo-부분을 갖는 Jonas 시약, cobaltocene, 그리고  $CpCo(CO)_2$ 였다. 먼저 착물에서 CpCo-부분을 분리시키기 위해 potassium-mirror, K/Na 합금, 광조사 등을 작용시키고 반응 온도도 여러 가지로 변화시키고 각각의 oxime과 반응시켰으나 오직 Jonas 시약과 2,4-hexadienealldoxime만이 반응하여( $\eta^5$ -cyclopentadienyl)(2,4-hexadienenitrile)cobalt [VII]를 생성시켰다. 이 반응 과정 중 cobaltocene과  $CpCo(CO)_2$ 에서 분리되는 CpCo-부분은 강제 생성과정이기 때문에 존재 시간이 너무 짧거나 쉽게 분해하는 경우를 생각할 수 있다. 그렇지만 Jonas 시약은 실온에서도 스스로 분해하여 어느 정도 CpCo-부분을 유지할 수 있으며, 이 때 enoxime과  $\pi$ -착물을 생성시킬 것으로 생각된다. 또 이 화합물의 생성 중 oxime 기에서  $H_2O$ 가 이탈되는 것은 중간과정에서 ethylene과 oxime기가 작용하여 ethanol이 부생성물로 얻어지는 것을 생각할 수도 있다. 이런 이유의 하나가 생성물의 수율이 너무 저조하기 때문에 극성이 큰 부생성물의 작용도 배제할 수가 없다. 이렇게 생성된 착물 [VII]은 NMR, mass spectrometer, IR, 원소분석 등을 통하여 그 구조를 확인할 수 있었다.

본 연구는 한국학술진흥재단 1988년도 자유공모 과제 학술연구 조성비와 한국과학재단(Grant No. 88-0304-04)의 지원에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

## 인용문헌

1. A. Hantsch and H. Werner, *Chem. Ber.* **23**, 11

- (1980).
- L. Tshugaeff, *Chem. Ber.* **38**, 2520 (1905), *J. Chem. Soc.*, **115**, 2187 (1914).
  - F. J. Welcher, "Organic Analytical Reagents", Vol. 3, pp. 157~354, Van Nostrand Reinhold Co. New York, U.S.A., 1947.
  - F. Feigl, "Chemistry of Specific and sensitive Reactions", pp. 251~281, Academic Press, New York, U.S.A., 1949.
  - A. E. Martel and M. Calvin, "Chemistry of Metal Chelate Compounds", pp. 328~333, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A., 1952.
  - T. Carofiglio, S. Stella, C. Floriani, A. Chiesi-Villa, and C. Guastin, *J. Chem. Soc. Dalton Trans.*, 1957 (1989).
  - Y. S. Hong, B. K. Park, and H. K. Lee, *J. Kor. Chem. Soc.*, **19**, 21 (1975).
  - Beilstein, "Organic Chemistry", 2nd ed. Vol. VII, Deutsch Press, 1932.
  - (a) E. O. Fischer and R. Jira, *Z. Naturforsch.* **8** Teil **B**, 327 (1953); (b) G. Wilkinson, F. A. Cotton, and J. Birmingham, *J. Inorg. Chem.* **2**, 95 (1956).
  - (a) K. Jonas and C. Krueger, *Angew. Chem.*, **92**, 513 (1980); (b) R. Bruce King and John, J. Eisch, "Organometallic Syntheses", Vol. 3, pp. 109~111, Elsevier Science Publishing Co. Inc. New York, U.S.A., 1986.
  - (a) E. O. Fischer and R. Jira, *Z. Naturforsch.*, **10** Teil **B**, 355 (1955); (b) T. S. Piper, F. A. Cotton, and G. Wilkinson, *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **1**, 165 (1955).
  - Jørgen Fakstorp, Dolores Raleigh, and L. E. Schniepp, *J. Am. Chem. Soc.*, **72**, 869 (1950).
  - J. F. Cordes, *Chem. Ber.*, **95**, 3084 (1962).
  - G. Wilkinson and F. G. A. Stone "Comprehensive Organometallic Chemistry", Vol. 5, pp. 239~258, Pergamon Press, Oxford, U.K., 1982.
  - G. Wilkinson and F. G. A. Stone "Comprehensive Organometallic Chemistry", Vol. 5, pp. 226~258, Pergamon Press, Oxford, U.K., 1982.
  - R. Bruce King and John, J. Eisch, "Organometallic Syntheses". Vol. 4, pp. 37~40, Elsevier Science Publishing Co. Inc. New York, U.S.A., 1988.
  - N. B. Colthup, L. H. Daly, and S. E. Wiberley, "Introduction to Infrared and Raman Spectroscopy", Chapter 7, 13, Academic Press International Edition, Tokyo, Japan, 1964.