

크롬(VI)-퀴놀린 화합물에 의한 알코올류의 산화반응에 대한 반응속도론적 연구

박영조^{1*}, 김수종²

¹강원대학교 교양교육센터 강사, ²한라대학교 신소재화학공학과 교수

Kinetic Study on the Oxidation Reaction of Alcohols by Cr(VI)-Quinoline Compound

Young-Cho Park^{1*}, Soo-Jong Kim²

¹Lecturer, Center for Liberal Education, Kangwon National University

²Professor, Department of Advanced Materials & Chemical Engineering, Halla University

요약 유기공업 화학에서 알코올류의 산화제에 대해 연구가 많이 진행 되고 있으며, 그중에서도 크롬(VI)-계열의 시약들이 산화제로 널리 이용되어 왔다. 그리고 일차알코올을 알데히드로만 산화시키는 산화제와 메카니즘 규명이 필요하게 되었다. 이러한 연구의 일환으로 본 연구에서는 퀴놀린과 chromium(VI) trioxide을 반응시켜 크롬(VI)-퀴놀린 화합물[(C₉H₇NH)₂Cr₂O₇]을 합성하여, FT-IR 및 원소분석에서 구조를 확인하였다. 여러 가지 유기용매를 사용하여 크롬(VI)-퀴놀린 화합물에 의한 벤질 알코올의 산화반응은 유전상수 값이 큰 유기용매인 N,N'-dimethylformamide에서 높은 산화반응성을 보였다. N,N'-dimethylformamide 용매를 사용하여 크롬(VI)-퀴놀린 화합물은 치환 벤질 알코올류를 효율적으로 산화시켰고, Hammett 반응상수(ρ)=-0.69(303 K) 이었다. 본 실험에서 알코올의 산화반응 과정은 chromate ester 형성과정과, 속도결정단계에서 수소화 전이가 일어나는 반응경로임을 알 수 있었다. 결과적으로 크롬(VI)-퀴놀린 화합물은 벤질알코올, 알릴알코올, 일차알코올 및 이차알코올류를 알데히드나 케톤으로 전환시키는 효율적인 산화제로, 이차알코올류 존재 하에서 벤질알코올, 알릴알코올, 일차알코올의 선택적인 산화제로 사용할 수 있다.

주제어 : 크롬(VI)-퀴놀린 화합물, N,N'-디메틸포름아미드, 벤질 알코올류, 일차알코올, 선택적 산화제

Abstract Cr(VI)-quinoline compound[(C₉H₇NH)₂Cr₂O₇] was synthesized by the reaction between of quinoline and chromium(VI) trioxide, and structure was FT-IR, elemental analysis. The oxidation ability of benzyl alcohol greatly depends upon the dielectric constant of the used organic solvent, where carbon tetrachloride was worst and N,N'-dimethylformamide was best solvent. Noticeably, in N,N'-dimethylformamide solvent, Cr(VI)-quinoline compound oxidized substituted benzyl alcohols. The Hammett reaction constant(ρ)=-0.69(303K). As a result, Cr(VI)-quinoline compound was found as efficient oxidizing agent that converted benzyl alcohol, allyl alcohol, primary alcohol and secondary alcohols to the corresponding aldehydes or ketones. Cr(VI)-quinoline compound was selective oxidizing agent of benzyl alcohol, allyl alcohol and primary alcohol in the presence of secondary alcohol ones.

Keywords : Cr(VI)-quinoline compound, N,N'-dimethylformamide, Benzyl alcohols, Primary alcohol, Selective oxidizing agent

*Corresponding Author : Young-Cho Park(youngjop@hanmail.net)

Received May 15, 2021

Accepted September 20, 2021

Revised August 28, 2021

Published September 28, 2021

1. 서론

유기공업 화학에서 알코올류의 산화반응은 유기합성 방법에서 매우 중요한 과정이다. 알코올의 산화반응 과정에서 사용되는 산화제에 대해 연구가 진행되고 있으며, 알코올의 산화제로 가장 많이 사용한 것은 크롬시약이었다. 그러나 크롬시약은 알코올의 산화제로 사용했을 때, 알데히드에서 카르복시산으로 산화되므로 순수 알데히드를 얻기가 힘들다. 또한 알코올과 크롬산의 산화반응 과정의 정확한 메카니즘이 분명치가 않다. 또한 분자에 hydroxy group들이 존재할 때, 한개 hydroxy group만을 선택적 산화시키는 산화제에 대해 연구가 이루어지고 있다. 그러므로 벤질릭 알코올, 알릴릭 알코올, 일차알코올 및 이차알코올 위치의 hydroxy group가 존재하고 있을 때 한개 hydroxy group만을 선택적으로 carbonyl compound로 전환시키는 산화제와 그에 따르는 정확한 메카니즘 규명이 더욱 필요하게 되었다.

지금까지 알코올의 산화반응에 사용한 산화제 및 촉매에 관한 연구를 고찰해 보면, Davis등은[1,2] 알코올류의 산화반응에서 산화제로 이용하기 위하여 pyrazinium-N-oxide chloro-chromate, tripyridinium hydrochloride chloro-chromate, naphthyridinium dichromate를 합성하였다.

Kim등은[3] benzyl alcohol oxidation용 촉매(Ag/TiO₃)를 제조하였고, Cho등은[4-6] benzyl alcohol 산화반응을 위하여 팔라듐 이산화티탄늄(Pd/TiO₂)촉매, 팔라듐-은(Pd-Ag)촉매 등을 제조하였다. Lokhande등은[7] copper catalyzed(CuCl₂)

를 이용하여 THF 용매하에서 benzyl alcohol를 benzaldehyde까지 선택적으로 산화시켰다. Kim등은[8] Ru를 도입한 TiO₂를 합성하였고 benzyl alcohol의 산화반응에 이용하였다.

본 연구에서는 알코올 산화반응에 사용할 수 있는 효율적인 선택적 산화제 개발에 일환으로, 크롬(VI)-헥테로고리 화합물에 의한 알코올의 산화반응에서 반응 경로에 대한 메카니즘을 연구하기 위한 실험을 하였다.

1) 크롬(VI)-퀴놀린 화합물[(C₉H₇NH)₂Cr₂O₇]을 합성하여 적외선 분광법(FT-I.R) 및 원소분석에서 화합물의 구조를 분석하여 합성됨을 확인하였다.

2) 산화반응에서 최적 용매를 찾기 위하여, 여러 가지 유기용매를 사용하여 크롬(VI)-퀴놀린 화합물에 의

한 벤질 알코올의 산화반응성을 조사하였다.

3) 알코올의 산화반응 과정에서 메카니즘을 고찰하기 위하여, N,N'-dimethylformamide 용매를 사용하여 크롬(VI)-퀴놀린 화합물에 의한 치환 벤질 알코올류의 반응속도 실험을 통하여 열역학적 활성화 파라미터들(ΔH^\ddagger , ΔS^\ddagger , ΔG^\ddagger) 값들과 치환기 효과에 따른 Hammett 반응상수를 계산하여 반응경로를 고찰하였다.

2. 실험 방법

2.1 시약 및 기기

합성에 사용된 퀴놀린, 염산, chromium(VI) trioxide 등과 산화반응에 사용된 알코올류, 알데히드류, 케톤류, 여러 가지 유기용매 등은 Aldrich Chem. Co.(U.S.A) 제품을 사용하였다.

Cr 분석은 X-Ray Fluorescence Spectrometry(ZSX-100e)로 분석하였으며, C,H,N,O 함량은 Elemental Analyzer(Flash EA 1112)로 분석하였다. FT-IR(Vertex 70)을 사용하여 KBr Disk 법으로 측정하였다.

2.2 크롬(VI)-퀴놀린 화합물 합성

수용액 용매를 사용하여 chromium(VI) trioxide(0.05 mole)을 녹인 다음 5°C 이하로 유지하면서 quinoline(0.05 mole)을 서서히 가하여 물에서 재결정하여 크롬(VI)-퀴놀린 화합물[(C₉H₇NH)₂Cr₂O₇]인 황색고체(62%)를 얻었다. m.p. 158-162°C[1,2].

2.3 여러 가지 유기용매를 사용하여 크롬(VI)-퀴놀린 화합물을 이용한 벤질 알코올의 산화반응

여러 가지 유기용매 5mL(cyclohexene, 1,4-dioxane, carbon tetrachloride, chloroform, dichloromethane, acetone, N,N'-dimethylformamide)를 사용하여 크롬(VI)-퀴놀린 화합물 20 mmole과 벤질 알코올 10 mmole을 취하여 실온에서 각각 반응시켰다. GLC 사용시 알코올의 끓는점에 맞추어 사용하였고, 반응의 수율은 해당되는 표준알데히드 물질의 기준으로 수율을 구하였다[8-12].

Column: 30m×0.25 mm I.D.

Coating: DB-WAX, 0.1 μ m

Temp: 40°C-80°C, 10°C/min(FID)

Flow rate: N₂(7mL/min)

2.4 크롬(VI)-퀴놀린 화합물에 의한 알코올류의 산화반응속도 측정

N,N'-dimethylformamide 용매를 사용하여 크롬(VI)-퀴놀린 화합물=0.001 mole과 치환 벤질 알코올류=0.1 mole씩 취하여, HCl=0.05 mole 존재 하에서 각각 반응시켜 303 K, 303 K, 303 K 온도에서 흡광도 변화를 UV-Visible spectro- photometer로 측정하여, 반응속도상수(k) 값을 계산하였다[13-15].

또한 N,N'-dimethylformamide 용매를 사용하여 크롬(VI)-퀴놀린 화합물=(0.001 mole, 0.003 mole)과 치환 벤질 알코올류=0.1 mole씩 취하여, 각각 반응시켜 303 K, 303 K, 303 K 온도에서 흡광도 변화를 UV-Visible spectrophoto- meter로 측정하여, 반응속도상수(k) 값을 계산하였다.

흡광도 값은 최대 흡수파장인 455nm 산화제가 환원되는 부분을 택하였다. 반응속도상수 값은 시간과 log[크롬(VI)-퀴놀린 화합물]을 도시하여 얻었다.

ΔH^\ddagger , ΔS^\ddagger 및 ΔG^\ddagger 값들은 반응속도상수(k) 값에서 구하였고, 치환기 효과는 Hammett식에서 구하였다.

3. 실험 결과

3.1. 크롬(VI)-퀴놀린 화합물 합성

크롬(VI)-퀴놀린 화합물[(C₉H₇NH)₂Cr₂O₇]의 FT-IR 스펙트럼은 Fig. 1에 나타내었다.

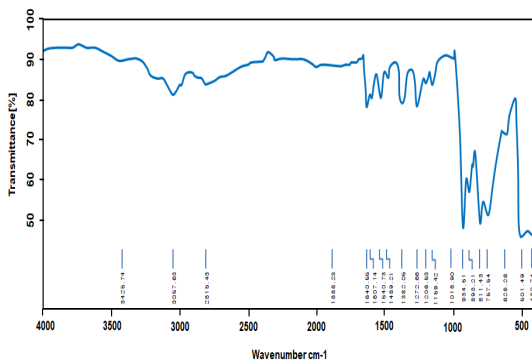


Fig. 1. FT-IR spectrum of Cr(VI)-quinoline compound

$\nu_{asym.}(Cr-O)$ 에서는 990cm⁻¹와 930cm⁻¹흡수 peak가, $\nu_{sym.}(Cr-O)$ 에서는 880cm⁻¹흡수 peak가, $\nu_{Cr-O-Cr}$ 에서는 800cm⁻¹와 710cm⁻¹흡수 peak가, $\nu(N-H)$ 에서는 3050cm⁻¹흡수 peak가⁻¹, $\nu(C-H)$ 에서는 2880cm⁻¹흡수

peak가, $\nu(C=C)$ 에서는 1650cm⁻¹흡수 peak가, $\nu(N-H)$ 에서는 1540cm⁻¹흡수 peak가, $\nu(C-H)$ 에서는 1400cm⁻¹흡수 peak가, $\nu(C-N)$ 에서는 1200cm⁻¹흡수 peak가 나타났다. 원소분석은 Table 1에 나타내었다 [1,2].

Table 1. Elemental analysis of Cr(VI)-quinoline compound

Compound	Elemental				
	C	H	N	O	Cr
Calculated	45.73%	3.38%	5.19%	23.87%	21.83%
Found	45.46%	3.57%	5.92%	23.42%	21.62%

3.2. 여러 가지 유기용매를 사용하여 크롬(VI)-퀴놀린 화합물에 의한 벤질 알코올의 산화반응

cyclohexene, 1,4-dioxane, carbontetra chloride, chloroform, dichloromethane, acetone, N, N'-dimethylformamide 등의 용매를 사용하여, 크롬(VI)-퀴놀린 화합물에 의한 벤질 알코올의 산화반응성 실험결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Oxidation of benzyl alcohol by Cr(VI)-quinoline compound in various solvents^{a)}

Solvents	ϵ^b at 25°C	Benzaldehyde (%) ^{c)}	Time (h)
Cyclohexene	2.22	27	1.6
1,4-Dioxane	2.21	33	1.5
Carbon tetrachloride	2.24	56	1.5
Chloroform	4.81	80	1.8
Dichloromethane	8.93	86	1.8
Acetone	20.70	91	2.0
N,N'-Dmethylformamide	37.00	95	2.0

- a) Benzyl alcohol(10 mmole), Cr(VI)-quinoline compound(20 mmole) were combined in various solvents and then the mixtures was stirred at room temperature.
- b) Dielectric constant.
- c) Yields were calculated on the basis of GC data.

실험결과를 보면 크롬(VI)-퀴놀린 화합물에 의한 벤질 알코올의 산화반응성 실험결과 사용한 용매들의 유전상수(ϵ) 값이 증가할수록 산화반응성 수율이 증가함을 보였다[8-12].

3.3. 크롬(VI)-퀴놀린 화합물에 의한 알코올류의 반응속도 측정

Table 3에서 N,N'-dimethylformamide 용매하에

크롬(VI)-퀴놀린 화합물(0.001 mole)과 치환 벤질 알코올류(0.1 mole)를, 산 촉매(HCl, 0.05 mole)를 첨가하여 반응시킨 경우에서 보면, 반응속도상수(k) 값은 온도 증가에서 커졌다. 작은 전기음성도 값을 갖는 p-CH₃가 반응속도상수(k) 값이 가장 증가 하였고, ΔH[‡]가 양(+의) 값, ΔS[‡]가 음(-의) 값, 그리고 ΔG[‡]가 양(+의) 값을 얻은 것으로 보아, 전자를 주는 p-CH₃ 경우, 활성화 착물에서 안정화됨을 알 수 있었다.[13-15]

Table 4에서 N,N'-dimethylformamide 용매하에 크롬(VI)-퀴놀린 화합물(0.001 mole)과 치환 벤질 알코올류(0.1 mole)를, 산(HCl) 촉매를 첨가하지 않고 반응시킨 경우에서 보면, Table 3.에서 비해 p-CH₃에서 반응속도상수(k) 값이 감소하였고, m-Br, m-NO₂에서 반응속도상수(k) 값이 증가한 것은, 속도결정단계에서 촉매의 존재가 반응속도를 촉진시키는 것으로 생각된다.

Table 5에서 N,N'-dimethylformamide 용매하에 크롬(VI)-퀴놀린 화합물(0.003 mole)과 치환 벤질 알코올류(0.1 mole)를, 산(HCl) 촉매를 첨가하지 않고 크롬(VI)-퀴놀린 화합물의 농도를 높여 반응시킨 경우에서 보면, p-CH₃와 m- Br, m-NO₂에서 반응속도상수(k) 값이, Table 4에서 크롬(VI)-퀴놀린 화합물 농도가 낮을 때와 차이가 없는 것으로 산화제의 농도가 반응과정에서 반응속도에 영향을 미치지 않았다.

치환기 효과를 따른 반응과정을 고찰해 보면, Fig. 2. 에서 같이 Hammett 반응상수(ρ) 값은 촉매를 가한 경우 ρ=-0.69(303 K)이고, 촉매를 가하지 않은 경우 ρ=-0.28 및 ρ=-0.29로 감소하였다. 산(HCl) 촉매를 가했을 경우, Hammett 반응상수(ρ) 값이 음(-)으로 커진 것은 벤질 알코올과 CrO₃이 반응에서 chromate ester 형성이 일어날 때, 산(HCl) 촉매에서 양성자가 첨가되므로, 크롬(VI)-퀴놀린 화합물에서 양이온(+)을 안정시켜 주기 때문이다.

여기서 치환 벤질 알코올에 따라 반응속도상수(k) 값의 차가 커짐으로 인하여 치환기 상수(σ) 값과 Hammett 반응상수(ρ) 값에 증가를 가져왔다. 그러나 촉매가 없는 경우와 크롬(VI)-

퀴놀린 화합물의 농도를 높인 경우 ρ=-0.28 및 ρ=-0.29로 나타났다. 촉매가 없는 경우와 크롬(VI)-퀴놀린 화합물의 농도가 낮은 경우가 차이가 없는 것으로 보아, 반응속도는 크롬(VI)-퀴놀린 화합물에 의존하지 않았다.

Table 3. Rate constants for the oxidation of substituted benzyl alcohols^{a)} by Cr(VI)-quinoline compound^{b)} in the presence of hydrochloric acid^{c)}

Alcohols	Rate constant (10 ³ k/s ⁻¹)			ΔH [‡] (KJmol ⁻¹)	ΔS [‡] (Jmol ⁻¹ K ⁻¹)	ΔG [‡] (KJmol ⁻¹)
	303K	308K	313K			
p-CH ₃	6.01	7.93	8.60	26.69	-241	101.692
H	4.88	5.65	7.63	30.45	-235	101.479
m-Br	3.00	3.71	4.06	36.81	-237	100.280
m-NO ₂	1.74	2.87	3.38	41.94	-233	102.781

a) 0,1 mole. b) 0.001 mole. c) 0.05 mole.

Table 4. Rate constants for the oxidation of substituted benzyl alcohols^{a)} by Cr(VI)-quinoline compound^{b)}

Alcohols	Rate constant (10 ³ k/s ⁻¹)			ΔH [‡] (KJmol ⁻¹)	ΔS [‡] (Jmol ⁻¹ K ⁻¹)	ΔG [‡] (KJmol ⁻¹)
	303K	308K	313K			
p-CH ₃	3.98	4.08	4.95	19.20	-258	101.537
H	3.51	5.02	4.40	17.88	-259	102.137
m-Br	2.95	3.50	4.06	19.94	-220	102.381
m-NO ₂	2.54	2.34	3.51	21.86	-225	103.970

a) 0,1 mole. b) 0.001 mole.

Table 5. Rate constants for the oxidation of substituted benzyl alcohols^{a)} by Cr(VI)-quinoline compound^{b)}

Alcohols	Rate constant (10 ³ k/s ⁻¹)			ΔH [‡] (KJmol ⁻¹)	ΔS [‡] (Jmol ⁻¹ K ⁻¹)	ΔG [‡] (KJmol ⁻¹)
	303K	308K	313K			
p-CH ₃	3.82	4.76	4.82	27.00	-265	101.908
H	3.37	3.84	5.04	31.15	-290	102.880
m-Br	3.02	3.10	5.16	37.05	-220	102.725
m-NO ₂	2.81	2.96	4.09	40.10	-250	103.823

a) 0,1 mole. b) 0.003 mole.

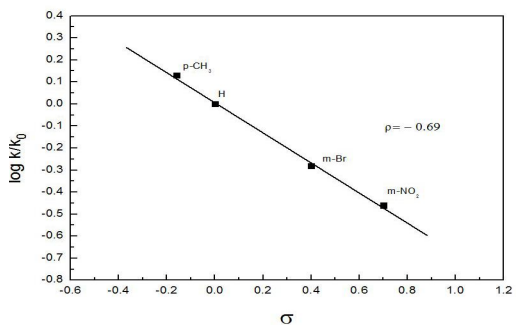


Fig. 2. The Hammett plot for the oxidation of substituted benzyl alcohols^{a)} by Cr(VI)-quinoline compound^{b)} in the presence of hydrochloric acid^{c)} at 303 K.

a) 0.1 mole. b) 0.001 mole. c) 0.05 mole.

Fig. 3에서 제시한 것처럼 알코올의 산화반응과정을 두 가지 반응경로 예상할 수 있다. Scheme I는 크롬(VI)-퀴놀린 화합물과 알코올이 반응으로, 속도결정단계에서 수소화전이이 일어나 알코올의 α-위치 탄소에 양이온(+) 생성경로 높은 음ρ(-)의 값이 예상된다. 그리고 Scheme II는 크롬(VI)-퀴놀린 화합물과 알코올이 반응으로, chromate ester가 형성된 다음 크롬(VI)-퀴놀린 화합물에서 γ-위치인 크롬(VI)에 양이온(+)이 생겨 치환기 효과가 적어 낮은 음ρ(-)의 값이 예상된다. 그러므로 본 실험에서 얻은 낮은 ρ=-0.69 값과, 산 촉매가 없을 때 낮은 ρ=-0.28 및 ρ=-0.29 값이 나타났다. 이러한 결과들을 볼 때, 크롬(VI)-퀴놀린 화합물과 알코올의 산화반응 과정에서 먼저 chromate ester 형성과정을 거친 후, 속도결정단계에서 양성자 전이가 일어나는 메카니즘으로 생각되며, Fig. 3 에서 Scheme II과 같은 반응경로가 예상 된다.

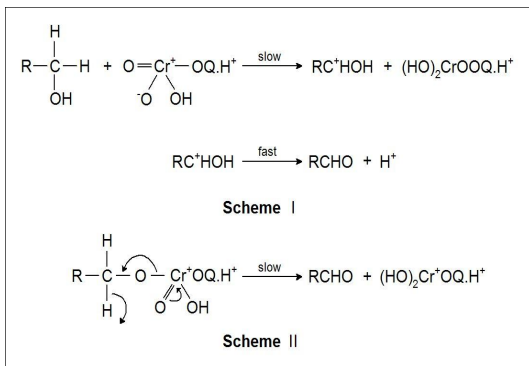


Fig. 3. Mechanism of the oxidation of benzyl alcohol by Q [Cr(VI)-quinoline compound=(C₉H₇NH)₂Cr₂O₇] in the presence of hydrochloric acid[HCl]

이러한 산화제가 개발되면, 선택적인 산화제로서 다음과 같이 사용할 수 있다.

유기공업 화학에서 벤질릭, 알릴릭, 일차 및 이차-위치의 hydroxy group중에서 특정 hydroxy group만을 선택적으로 산화시켜 carbonyl compound로 전환되는 산화제로 사용할 수 있다.

또한 유기화학 합성 과정에서 한 분자내의 특정 hydroxy group만을 보호 했다가 원래대로 전환시키는 과정을 줄일 수 있고, 수율감소를 줄일 수 있다. 그러므로 이 산화제들은 공업화학 분야의 유기합성 과정

에서 특정 물질을 선택적으로 산화시켜 다른 물질로 전환 혹은 제거할 수 있는 산화제로 사용할 수 있다.

4. 결론

1) 크롬(VI)-퀴놀린 화합물을 합성하여 적외선 분광법 및 원소분석에서 화합물의 구조를 분석하여 합성됨을 확인하였다.

2) 여러 가지 유기용매를 사용하여 크롬(VI)-퀴놀린 화합물에 의한 벤질 알코올의 산화반응성 실험결과 유전상수 값이 큰 N,N'-dimethyl- formamide 용매에서 높은 산화반응성이 나타났다.

3) 산(HCl) 촉매 존재에서 온도변화에 따라 크롬(VI)-퀴놀린 화합물에 의한 치환 벤질 알코올류의 반응속도를 측정된 결과, Hammett 반응상수(ρ)=-0.69(303 K)가 나타났다.

4) 크롬(VI)-퀴놀린 화합물에 의한 알코올의 산화반응에서 chromate ester 형성 과정과, 속도결정단계에서 수소화 전이가 일어나는 반응경로를 추정 할 수 있다.

5) 크롬(VI)-퀴놀린 화합물은 유기공업 화학에서 벤질알코올, 알릴알코올, 일차알코올 및 이차알코올류를 알데히드나 케톤으로 전환시키는 효율적인 산화제로, 이차알코올류 존재 하에서 벤질알코올, 알릴알코올, 일차알코올류의 선택적인 산화제로 사용할 수 있다.

REFERENCES

- [1] H. B. Davis & R. M. Sheets. (1984). High Valent Chromium Heterocyclic Complexes-II: New Selective and Mild Oxidants. *Heterocycles*, 22, 2029-2035. DOI : 10.3987/R-1984-09-2029
- [2] M. R. Pressprich & R. D. Willett. (1988). Preparation and Crystal Structure of Dipyrazinium Trichromate and Bond Length Correlation for Chromate Anions of the Form CrnO₃n¹²⁻. *Inorg. Chem.*, 27, 260-264. DOI : 10.1021/jc00275a009
- [3] C. S. Kim & K. S. Yoo. (2013). Preparation of Ag/TiO₂ Particle for Aerobic Benzyl Alcohol Oxidation. *Appl. Chem. Eng.*, 24(6), 663-667. DOI : 10.14478/ace.2013.1094
- [4] T. J. Cho & K. S. Yoo. (2014). Synthesis of Pd/TiO₂ Catalyst for Aerobic Benzyl Alcohol Oxidation. *Appl. Chem. Eng.*, 25(3), 281-285.

- DOI : 10.14478/ace.2014.1028
- [5] Y. J. Choo & K. S. Yoo. (2014). Synthesis of Pd-Ag on Charcoal Catalyst for Aerobic Benzyl Alcohol Oxidation Using[Hmim][PF₆]. *Appl. Chem. Eng.*, 25(4), 425-429.
DOI : 10.14478/ace.2014.1063
- [6] T. J. Cho & K. S. Yoo. (2015). Preparation of Pd/TiO₂ Catalyst Using Room Temperature Ionic Liquids for Aerobic Benzyl Alcohol Oxidation. *Appl. Chem. Eng.*, 26(3), 351-355.
DOI : 10.14478/ace.2015.1044
- [7] P. D. Lokhande & S. R. Waghmare. (2012). Copper Catalyzed Selective Oxidation of Benzyl Alcohol to Benzaldehyde. *Journal of the Korean Chemical Society*, 56(5), 539-541.
DOI : 10.5012/jkcs.2012.56.5.539
- [8] Y. Y. Kim & K. Y. Kwon. (2014). Synthesis of Ru Incorporated TiO₂ and Application to Oxidation of Benzyl Alcohol with Molecular Oxygen. *Appl. Chem. Eng.*, 25(6), 645-647.
DOI : 10.14478/ace.2014.1106
- [9] K. W. Kim & S. M. Lee. (2014). A Study on Characterization for Catalytic Oxidation of Nitrogen Monoxide Over Mn/TiO₂ Catalyst. *Appl. Chem., Eng.*, 25, 474-480.
DOI : 10.14478/ace.2014.1061
- [10] J. O. Jo & Y. S. Mok. (2014). Oxidation of Isopropyl Alcohol in Air by a Catalytic Plasma Reactor System. *Appl. Chem. Eng.*, 25(5), 531-537.
DOI : 10.14478/ace.2014.1082
- [11] Y. H. Lee & K. Y. Kwon. (2017). Synthesis and Oxidative Catalytic Property of Ruthenium-doped Titanate Nanosheets. *Appl. Chem. Eng.*, 28(5), 593-596.
DOI : 10.14478/ace.2017.1056
- [12] S. G. Lee & S. S. Park. (2011). Solvothermal Preparation of Nanocrystalline TiO₂ Using Alcohol-water Mixed Solvent. *Appl. Chem. Eng.*, 22(6), 685-690.
- [13] R. Tayeb. (2008). Simple Heteropoly Acids as Water Tolerant Catalysts in the Oxidation of Alcohols with 34% Hydrogen Peroxide, A Mechanistic Approach. *J. Korean Chem. Soc.*, 52, 23-29.
DOI : 10.5012/jkcs.2008.52.1.023
- [14] Y. S. Kim & H. Choi. (2010). Kinetics and Mechanism of Nucleophilic Substitution Reaction of 4-Substituted-2,6-dinitrochloro- benzene with Benzylamines in MeOH-MeCN Mixtures. *Bull.*

Korean Chem. Soc., 31, 3279-3282.
DOI : 10.5012/jkcs.2008.52.1.023

- [15] F. K. Behbahani & M. Farahani. (2011). Iron (III) Phosphate as a Green and Reusable Catalyst Promoted Chemo Selective Acetylation of Alcohols and Phenols with Acetic Anhydride Under Solvent Free Conditions at Room Temperature. *Journal of the Korean Chemical Society*, 55(4), 633-637,
DOI : 10.5012/jkcs.2011.55.4.633

박 영 조(Young-Cho Park)

[정회원]



- 1987년 2월 : 경남대학교 화학과 (이학석사)
- 1993년 8월 : 경남대학교 화학과 (이학박사)
- 2009년 8월 ~ 현재 : 강원대학교 삼척교양교육센터 강사

· 관심분야 : 정밀화학

· E-Mail : youngjop@hanmail.net

김 수 종(Soo-Jong Kim)

[정회원]



- 1991년 2월 : 충북대학교 화학공학과(공학석사)
- 2000년 3월 : 동경농공대학 공학연구과(공학박사)
- 2003년 8월 ~ 현재 : 한라대학교 신소재화학공학과 교수

· 관심분야 : 기능성 고분자, 세라믹 합성

· E-Mail : sjkim@halla.ac.kr