

## N-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드의 아조메틴 일리드 형성 광화학 반응

정호철 · 박기현 · 박혜정 · 조대원 · 윤웅찬\*

부산대학교 화학과  
(2009. 5. 7 접수)

## Azomethine Ylide Forming Photoreaction of N-(Tributylstannyl)methylphthalimide

Ho Cheol Jeong, Ki Hyun Park, Hea Jung Park, Dae Won Cho, and Ung Chan Yoon\*

Department of Chemistry, Pusan National University, Busan, 609-735, Korea

(Received May 7, 2009)

**요약.** 이 연구에서는 N-(트리메틸실릴)메틸프탈이미드의 광화학 반응에서 관찰한 아조메틴 일리드 반응 중간체 생성 과정과 유사하게 N-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드의 광화학반응에서도 생성되는지를 알아보기 위해 N-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드의 광화학반응을 연구하였다. N-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드를  $D_2O$ - $CH_3CN$ 에서 광화학 반응시킬 때에 생성된 아조메틴 일리드 중간체가 물 분자에 의해 포획되어 생성되는 것으로 예상되는 한 개의 중수소 원자 (D)가 메틸기의 한 개의 수소 (H) 대신에 치환된  $d_1$ -N-메틸프탈이미드 생성물을 유일한 생성물로 높은 수율로 생성시킴을 관찰하였다. 이 결과는 이 광화학 반응에서도 매우 효율적으로 물든상태 전자전달-스탄일기 이동 과정을 거쳐 트리부틸스탄일 아조메틴 일리드 반응 중간체가 생성되는 것을 뒷받침 해주고 있다. 그러나 이 반응에서 생성된 트리부틸스탄일 일리드 중간체는 스탠일기기가 가지는 큰 임체장애 때문에 첨가된 메틸 아크릴레이트나 아크릴로 나트릴과 같은 친쌍극체 (dipolarophile)에 의해 포획되지 않았다.

**주제어:** N-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드, 아조메틴 일리드, 광화학반응,  $d_1$ -N-메틸프탈이미드

**ABSTRACT.** Investigation was conducted to examine whether photochemical reaction of N-(tributylstannyl)-methylphthalimide generates an azomethine ylide intermediate in its excited state as its silyl derivative N-(trimethylsilyl)methylphthalimide which has been observed to form an azomethine ylide. The irradiation of N-(tributylstannyl)methylphthalimide in  $D_2O$ - $CH_3CN$  generates mono-deuterated N-methylphthalimide as an exclusive product which supports the efficient generation of azomethine ylide intermediate and its trapping by water molecule through a proto-destannylation pathway. However the generated tributylstannyl substituted ylide was not observed to be trapped with a dipolarophile such as methyl acrylate and acrylonitrile present in the reactions which is in contrast with the ylide from N-(trimethylsilyl)methylphthalimide.

**Keywords:** N-(tributylstaanyl)methylphthalimide, Azomethine ylide, Photochemical reaction, Mono-deuterated N-methylphthalimide

## 서 론

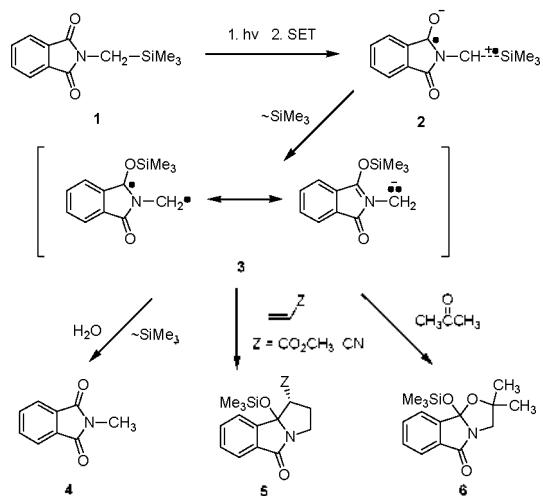
이미드 화합물들의 광화학반응 연구는 지난 연구에서 매우 광범위하게 이루어졌으며<sup>1,2</sup> 이미

드 화합물의 한 종류인 프탈이미드화합물들은 광환원 반응 (photoreduction), 광첨가반응 (photo-addition), 광고리화반응 (photocyclization) 그리고 Norrish type I, II 반응 등 다양한 광화학 반응성

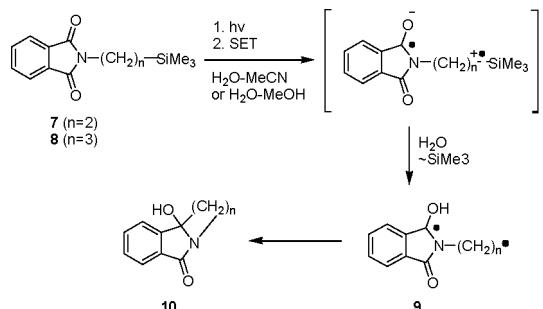
을 보여주고 있어 이들에 대한 광화학 반응 연구는 특히 많이 이루어져 있다.<sup>1</sup> 최근에 우리는 전자수용체 (electron acceptor)로 이미드 그리고 전자공급체로  $\alpha$ -실릴치환 전자공급체/다전자공급체 ( $\alpha$ -silyl terminated electron donor/polyelectron donor)들을 사용한 전자 전달과정을 통해 일어나는 광화학 반응 (single electron transfer promoted photoreaction)을 높은 효율과 위치 선택성을 가지는 거대 헤테로고리 화합물 합성 방법으로 개발할 수 있었다.<sup>2-4</sup> N-[트리메틸실릴]알킬]프탈이미드들의 광화학 반응에 대한 선행 연구에서<sup>5-11</sup> N-[트리메틸실릴]알킬]프탈이미드는 들뜬상태 (excited state)에서 경쟁적으로 수소원자 추출 (hydrogen atom abstraction) 과정과 전자전달 (single electron transfer SET) 유도 실릴기 전달 (silyl group transfer) 과정이 일어나 이 과정을 통해 다양한 광반응성이 나타남을 관찰하였다. 특히 N-[트리메틸실릴]메틸]프탈이미드 (**1**)는 전자전달 유도로 탄소원자로부터 산소원자로 일어나는 실릴기 전달 과정<sup>5-7</sup>을 거쳐 아조메틴 일리드 (**3**) 중간체를 효율적으로 생성시킴을 관찰하였다. 이들 생성된 아조메틴 일리드 중간체는 물 ( $H_2O$ ) 분자에 의해 양성자화-탈실릴화 (protodesilylation) 과정을 거쳐 N-메틸프탈이미드 (**4**)로 전환되고 반응물에 첨가되어 존재하는 메틸 아크릴레이트, 아코릴로니트릴 혹은 아세톤 등과 같은 친쌍극성체에 의해 1,3-쌍극성 첨가 반응을 통해 포획되어 1,3-쌍극성 생성물 **5**와 **6**들이 각각 생성되는 것을 관찰하였다. (Scheme 1)

메틸기 보다 더 긴 알킬 사슬을 가진 화합물 N-실릴에틸- 그리고 N-실릴프로필프탈이미드 **7-8**들은 양성자성-극성용매 (예를 들면  $H_2O$ -MeCN 또는  $H_2O$ -MeOH)에서의 광화학 반응에서 전자전달-실릴기 전달 연속과정을 통해 이가라디칼 (biradical) 중간체 **9**를 주 반응 생성물로 생성시키며 이 생성된 이가라디칼중간체는 분자 내 라디칼 짹지움 과정을 거쳐 새로운 고리화 반응물 **10**을 높은 수율로 생성시킴을 관찰하였다. (Scheme 2)

양성자성-극성용매 하에서는 전자전달-실릴기 전달 과정을 통한 고리화반응이 우세하게 관측되는 반면에 극성이 낮은 비 양성자성 (less



Scheme 1.

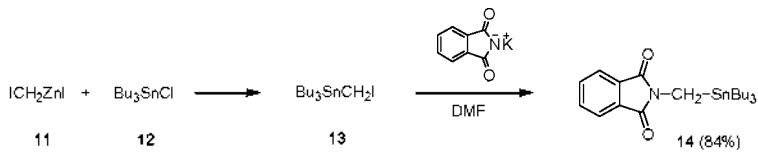


Scheme 2.

polar-aprotic) 용매 하에서는 분자 내 수소원자 추출 (hydrogen atom abstraction) 과정이 경쟁적으로 일어나는 것으로 관찰되었다.<sup>9-10</sup>

## 실험

<sup>1</sup>H-NMR 스펙트라와 <sup>13</sup>C-NMR 스펙트라는 Varian Gemini 200 분광계 (spectrometer)를 사용하여 측정하였으며 화학적 이동은 내부표준물질로 넣은 테트라메틸실란 (TMS)으로부터의 ppm으로 표시하였다. 광화학반응은 450W Hanovia medium pressure mercury lamp와 Pyrex filter 및 Vycor filter, quartz immersion well을 사용하여 질소 기류 하에서 수행하였다. 유기용매는 무수  $Na_2SO_4$ 로 탈수시켰으며 용매는 감압 하에서 증류 제거하였다. 관 크로마토그래피는 Merck silica gel 60



Scheme 3.

을 사용하였고, 물질 분리를 위한 박층 크로마토그래피 (preparative TLC)는 E-Merck silica gel PF<sub>254</sub>를 입힌 20cm X 20 cm판을 이용하여 수행하였다.

#### N-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (N-Tributylstannylmethyl)phthalimide, 14)의 합성

*N*-(트리부틸스탄일)프탈이미드 (14)는 보고된 합성 방법<sup>12</sup>을 따라 합성한 트리부틸스탄일 메틸 요오드 (13)를 프탈이미드 칼륨염과 반응시켜 높은 수율 (84%)로 합성하였다. (Scheme 3)

생성물 14의 스펙트럼자료: <sup>1</sup>H-NMR(CDCl<sub>3</sub>) 0.83 (t, 9H, *J* = 7.14, CH<sub>3</sub>), 0.92 (t, 6H, *J* = 8.06, SnCH<sub>2</sub>), 1.20-1.34 (m, 6H, CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>), 1.40-1.56 (m, 6H, CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>), 3.22 (s, 2H, CH<sub>2</sub>N), 7.64-7.67 (m, 2H, aromatic), 7.75-7.79 (m, 2H, aromatic); <sup>13</sup>C-NMR(CDCl<sub>3</sub>) 10.2 (CH<sub>3</sub>), 13.8 (CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>), 21.0 (CH<sub>2</sub>N), 27.2 (SnCH<sub>2</sub>), 28.9 (CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>), 122.5 and 133.5 (CH, aromatic), 132.4 (C, aromatic), 168.3 (C=O)

#### N-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (14)의 CH<sub>3</sub>CN용매 하에서의 광화학 반응

*N*-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (14) (0.50 g, 1.11 mmol)를 200 mL CH<sub>3</sub>CN에 녹여 질소 기류 하에서 Pyrex 필터를 이용하여 22시간 동안 광화학반응을 수행하여 *N*-메틸프탈이미드 (4) 0.11 g (88%)을 얻었다.

#### N-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (14)의 친쌍극성체 메틸 아크릴레이트 (methylacrylate) 첨가하에서의 광화학 반응

*N*-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (14) (0.50 g, 1.11 mmol)를 200 mL CH<sub>3</sub>CN에 녹이고, 메틸 아크릴레이트 (1.02 g, 11.8 mmol)를 첨가하여 질소 기류 하에서 Pyrex 필터를 이용하여 28시간, 33

시간, 46시간 동안 광화학반응을 수행하여 각각 *N*-메틸프탈이미드 (4)를 0.10 g (58%), 0.76 g (42%), 0.52 g (32%) 수율로 얻었다.

#### *N*-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (14)의 아크리로니트릴 (acrylonitrile) 첨가하에서의 광화학 반응

*N*-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (14) (0.50 g, 1.11 mmol)를 200 mL CH<sub>3</sub>CN에 녹이고, 아크리로니트릴 (0.59 g, 11.1 mmol)를 첨가하여 질소 기류 하에서 Pyrex 필터를 이용하여 32시간 동안 광화학반응을 수행하여 *N*-메틸프탈이미드 (4) (0.58 g, 36%)를 얻었다.

#### *N*-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (14)와 비닐 아세테이트 (vinylacetate) 존재하에서의 광화학 반응

*N*-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (14) (0.50 g, 1.11 mmol)를 200 mL CH<sub>3</sub>CN에 녹이고, 비닐 아세테이트 (1.02 g, 11.8 mmol)를 첨가하여 질소 기류 하에서 Pyrex 필터를 이용하여 32시간 동안 광화학반응을 수행하여 *N*-메틸프탈이미드 (4) 0.61 g (38%)을 얻었다.

#### *N*-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (14)의 CH<sub>3</sub>CN-30% D<sub>2</sub>O 용매 하에서의 광화학 반응

*N*-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (14) (50 mg)을 NMR 투브에 넣고 CH<sub>3</sub>CN-30% D<sub>2</sub>O 용매 하에서 Pyrex 필터를 이용하여 100시간 동안 광화학반응을 수행하여 메틸기에 중수소 한 원자가 치환된 생성물 d<sub>1</sub>-*N*-메틸프탈이미드 (4-d<sub>1</sub>)을 90%의 수율로 얻었다.

#### *N*-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (14)의 CD<sub>3</sub>CN-30% H<sub>2</sub>O 용매 하에서의 광화학 반응

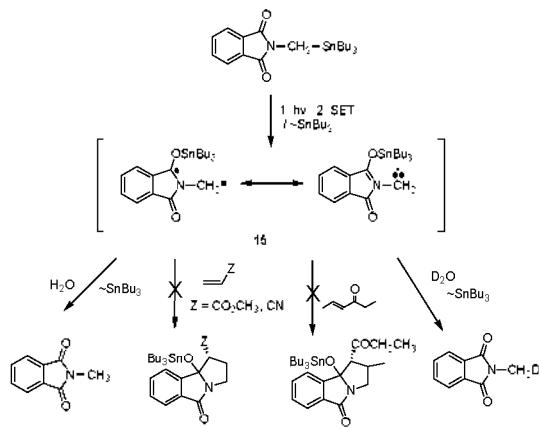
*N*-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (14) (50

mg)을 NMR 투브에 넣고 CH<sub>3</sub>CN-30% D<sub>2</sub>O 용매 하에서 Pyrex 필터를 이용하여 100시간 동안 광화학반응을 수행하여 N-메틸프탈이미드 (**4**)를 88%의 수율로 얻었다.

## 결과 및 고찰

본 연구에서는 우리들의 선행 연구를<sup>5,6</sup> 통해 관찰한 N-(트리메틸실릴)메틸프탈이미드 (**1**)의 광화학반응에서 효율적으로 생성되는 아조메틴 일리드 반응 중간체 (**3**)이 트리부틸스탄일 유도체에서도 효율적으로 생성되는지를 조사하기 위해 N-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (**14**)를 보고된 합성방법<sup>12</sup>을 따라 합성한 트리부틸스탄일메틸 요오드 (**13**)를 프탈이미드 칼륨염과 반응시켜 높은 수율로 합성하였다. (Scheme 3) 합성한 N-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (**14**)을 아세토나트릴 용매 중에서 광화학 반응시켜 반응 중간체 아조메틴 일리드 (**3**)가 생성되어 최종적으로 양성자화-탈스탄일 (protodestannylation) 과정을 거쳐 생성될 것으로 예상되는 N-메틸프탈이미드 (**4**)가 생성되는지를 관찰하였다. 이 광화학반응에서 예상되는 생성물 N-메틸프탈이미드 (**4**)가 매우 높은 수율 (88%)로 생성됨을 관찰하였다. N-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (**14**)의 아세토나트릴 용매 중에서의 광화학 반응에서 예상되는 생성물 N-메틸프탈이미드 (**4**)가 매우 높은 수율로 생성됨은 이 반응에서도 실릴유도체 N-(트리메틸실릴)메틸프탈이미드 (**1**)의 광화학 반응에서와 유사하게 트리부틸스탄일기의 탄소원자로부터 산소원자로의 전달과정을 거쳐 아조메틴 일리드 반응 중간체 (**15**)가 유사한 전자전달-스탄일기 이동 연속과정 (sequential SET-destannylation pathway)을 거쳐 효율적으로 생성됨을 보여주고 있다. (Scheme 4)

N-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (**14**)의 광화학 반응에서 예상되는 생성물 N-메틸프탈이미드 (**4**)가 높은 수율로 생성되고 따라서 이 반응에서도 실릴유도체 N-(트리메틸실릴)메틸프탈이미드 (**1**)의 광화학 반응에서와 유사하게 연속과정 (sequential SET-destannylation pathway)을 거쳐 아조메틴 일리드 반응 중간체 (**15**)가 효율적



Scheme 4.

으로 생성됨을 보여주고 있어 N-(트리메틸실릴)메틸프탈이미드 (**1**)의 선행 연구에서와 유사하게 반응물 중에 첨가되어 존재하는 1,3-친쌍극체를 메틸 아크릴레이트, 아크릴로나트릴이나 비닐 아세테이트 등에 의해 생성된 아조메틴 일리드 중간체가 1,3-쌍극성 고리첨가반응을 거쳐 포획되는지를 조사하였다. 그러나 실릴유도체 N-(트리메틸실릴)메틸프탈이미드 (**1**)의 광화학 반응에서와 달리 생성된 아조메틴 일리드 중간체 (**15**)는 첨가된 친쌍극체에 의해 포획되어 생성될 것으로 예상되는 고리화합물이 생성되지 않고 유일하게 용매 중에 소량으로 존재하는 물 분자에 의해 생성되는 N-메틸프탈이미드 (**4**)만이 유일한 생성물로 32~58%로 생성되는 것을 관찰하였다. 이와 같이 N-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (**14**)의 광화학 반응에서 생성되는 트리부틸스탄일 아조메틴 일리드 중간체 (**15**)는 산소원자에 부피가 매우 큰 트리부틸스탄일기를 가지고 있어 친쌍극체와 1,3-쌍극성 고리화첨가 반응할 때에 나타나는 전이상태에서 매우 증가된 임체 장애로 인한 많은 에너지의 증가를 가지고 와서 고리화첨가 반응이 거의 일어나지 않는 것으로 보인다. 이 연구에서 생성된 트리부틸스탄일 아조메틴 일리드 중간체 (**15**)가 첨가된 친쌍극체들에 의해 포획되지 않아 친쌍극체 메틸 아크릴레이트의 첨가된 농도를 변화시키고 또한 반응시간을 연장하여 반응시켜 조사하였으나 고리첨가 생성물 (**16**)의 생성을 관찰하지 못하였고 N-

메틸프탈이미드 (**4**)만이 유일한 생성물로 생성되는 것을 관찰하였다.

이와 같이 *N*-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (**14**)의 광화학 반응에서 생성된 트리부틸스탄일 아조메틴 일리드 중간체 (**15**)가 산소원자에 존재하는 부피가 큰 트리부틸스탄일기의 입체장애로 인해 반응물에 첨가된 친쌍극체들에 의해 포획되지 않고 *N*-메틸프탈이미드 (**4**)만이 유일한 생성물로 생성되는 것을 관찰하여 트리부틸스탄일 아조메틴 일리드 중간체 (**15**)의 생성을 확인하기 위해 중수소원자를 가진 D<sub>2</sub>O를 포함하는 CH<sub>3</sub>CN-D<sub>2</sub>O 혼합용매에서 광화학반응을 수행하여 생성된 트리부틸 아조메틴일리드 중간체가 중수소 양성자에 의해 포획되는지를 조사하였다. 그 결과 메틸기의 수소원자 하나가 중수소로 치환된 중수소치환 *N*-메틸프탈이미드 (**4-d<sub>1</sub>**)가 90%의 수율로 얻어지는 것을 관찰하였다. (Scheme 4) 이와 같이 D<sub>2</sub>O를 포함하는 CH<sub>3</sub>CN-D<sub>2</sub>O 혼합용매에서의 광화학반응에서 얻은 결과는 *N*-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드 (**14**)의 광화학 반응에서 트리부틸스탄일 아조메틴 일리드 중간체 (**15**)가 효율적으로 생성되고 D<sub>2</sub>O에 의해 효율적으로 포획되는 것을 뒷받침해 주고 있다. 더불어 이 실험에서 생성된 중수소치환 *N*-메틸프탈이미드 (**4-d<sub>1</sub>**)가 트리부틸스탄일 아조메틴 일리드 중간체의 중수소양성자-탈스탄일과정(deutrodestannylation pathway)를 거쳐 생성되고 다른 경로를 통해 생성되지 않는 것을 알아보기 위해 중수소원자 공급원을 가진 CD<sub>3</sub>CN를 포함하는 CD<sub>3</sub>CN-H<sub>2</sub>O 혼합용매 하에서 광화학반응을 수행하여 그 반응에서 생성되는 생성물 *N*-메틸프탈이미드에 중수소원자가 치환되어 존재하는지를 조사하였다. 예상과 같이 이 반응에서는 생성된 *N*-메틸프탈이미드는 중수소원자가 치환되지 않은 *N*-메틸프탈이미드는 (**4**)가 88%의 수율로 생성되는 것을 관찰하였다.

## 결 론

이 연구에서는 *N*-(트리메틸실릴)메틸프탈이미드의 광화학 반응에서 관찰한 아조메틴 일리드 반응 중간체 생성 과정과 유사하게 트리부틸

스탄일 유도체 *N*-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드의 광화학반응에서도 생성되는지를 알아보기 위해 *N*-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드의 광화학반응을 연구하였다. *N*-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드의 CH<sub>3</sub>CN용매에서의 광화학반응에서 *N*-메틸프탈이미드 생성물이 높은 수율로 생성되며 이러한 반응 결과는 실릴 유도체 *N*-(트리메틸실릴)메틸프탈이미드의 반응에서와 유사하게 전자전달-스타일기 이동과정을 거쳐 트리부틸 아조메틴 일리드 반응 중간체가 효율적으로 생성됨을 보여주고 있다. 이때 생성된 트리부틸 아조메틴 일리드 반응 중간체의 생성을 확인하기 위해 *N*-(트리부틸스탄일)메틸프탈이미드를 D<sub>2</sub>O-CH<sub>3</sub>CN에서 광화학 반응시켜 생성된 *N*-메틸프탈이미드에 한 개의 중수소원자가 치환되어 있는 것을 관찰하였다. 이 결과는 이 광화학 반응에서도 매우 효율적으로 아조메틴 일리드 반응 중간체가 생성되는 것을 뒷받침 해주고 있다. 그러나 이 반응에서 생성된 트리부틸스탄일 일리드 중간체는 스탄일기가 가지는 큰 입체장애 때문에 *N*-(트리메틸실릴)메틸프탈이미드의 반응에서와 달리 첨가된 메틸 아크릴레이트나 아크릴로 니트릴과 같은 친쌍극체(dipolarophile)에 의해 포획되지 않았다.

## 감사의 말씀

이 논문은 부산대학교자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

## 인 용 문 현

- (a) Kanaoka, Y. *Acc. Chem. Res.* 1978, 11, 407. (b) Colye, J. D. In *Synthetic Organic Photochemistry* Horspool, W. M. Ed.; Plenum Press: New York, U. S. A., 1984; p 259; (c) Mazzocchi, P. H. In *Organic Photochemistry* Padwa, A. Ed.; Marcel Dekker: New York, U. S. A., 1981; Vol. 5, p 421 and references therein.
- (a) Yoon, U. C.; Mariano, P. S. In *Organic Photochemistry and Photophysics* Ramamurthy, V.; Schanze, K. Ed.; CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, FL, U. S. A., 2006; p 179 (b) Yoon, U. C.; Mariano, P. S. In *CRC Handbook of Organic Photochemistry and Photobiology 2nd Edition* Ramamurthy, V.;

- Schanze, K. Ed.; CRC Press, Talyor & Boca Raton, FL, U. S. A., 2003; Vol. 85, p 1 (c) Yoon, U. C.; Mariano, P. S. *Acc. Chem. Res.* **2001**, *34*(7), 523 (d) Yoon, U. C.; Jin, Y. X.; Oh, S. W.; Cho, D. W.; Park, K. H.; Mariano, P. S. *J. Photochem. Photobiol. A* **2002**, *150*, 77.
3. (a) Yoon, U. C.; Oh, S. W.; Lee, J. H.; Park, J. H.; Kang, K. T.; Mariano, P. S. *J. Org. Chem.* **2001**, *66*(3), 939 (b) Yoon, U. C.; Jin, Y. X.; Oh, S. W.; Park, C. H.; Park, J. H.; Campana, C. F.; Cai, X.; Duesler, E. N.; Mariano, P. S. *J. Am. Chem. Soc.* **2003**, *125*(35), 10664 (c) Yoon, U. C.; Kwon, H. C.; Hyung, T. G.; Choi, K. H.; Oh, S. W.; Yang, S.; Zhao, Z.; Mariano, P. S. *J. Am. Chem. Soc.* **2004**, *126*(4), 1110 (d) Cho, D. W.; Choi, J. H.; Oh, S. W.; Quan, C.; Yoon, U. C.; Wang, R.; Yang, S.; Mariano, P. S. *J. Am. Chem. Soc.* **2008**, *130*(7), 2276 (e) Yoon, U. C.; Oh, S. W.; Lee, C. W. *Heterocycles* **1995**, *41*(12), 2665.
4. (a) Wang, R.; Zhao, Z.; Mariano, P. S.; Choi, K. H.; Kim, S. H.; Yoon, U. C. *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* **2005**, *175*(2-3), 232 (b) Yoon, U. C.; Jin, Y. X.; Oh, S. W.; Cho, D. W.; Park, K. H.; Mariano, P. S. *J. Photochem. Photobiol. A* **2002**, *150*, 77 (c) Maeda, H.; Tierney, D. L.; Mariano, P. S.; Banerjee, M.; Cho, D. W.; Yoon, U. C. *Tetrahedron* **2008**, *64*(22), 5268.
5. Yoon, U. C.; Kim, D. U.; Kim, J. C.; Lee, J. G.; Mariano, P. S.; Lee, Y. J. and Ammon, H. L. *Tetrahedron Lett.* **1993**, *34*, 5859.
6. Yoon, U. C.; Kim, D. U.; Lee, C. W.; Choi, Y. S.; Lee, Y. J.; Ammon, H. L.; Mariano, P. S. *J. Am. Chem. Soc.* **1995**, *117*, 2698.
7. Yoon, U. C.; Cho, S. J.; Lee, Y. J.; Mancheno, M. J.; Mariano, P. S. *J. Org. Chem.* **1995**, *60*(8), 2353.
8. Lee, Y. J.; Lee, C. P.; Jeon, Y. T.; Mariano, P. S.; Yoon, U. C. *Tetrahedron Lett.* **1993**, *34*, 5855.
9. Lee, Y. J.; Ling, R.; Mariano, P. S.; Yoon, U. C.; Kim, D. U.; Oh, S. W. *J. Org. Chem.* **1996**, *61*(10), 3304-3314.
10. Yoon, U. C.; Oh, S. W.; Lee, S. M.; Cho, S. J.; Gamlin, J.; Mariano, P. S. *J. Org. Chem.* **1999**, *64*(12), 4411-4418.
11. Yoon, U. C.; Oh, S. W.; Mancheno, M.; Su, Z.; Falvey, D. F.; Mariano, P. S. *J. Am. Chem. Soc.* **1999**, *121*(16), 3926-3932.
12. Davis, D. D.; Chambers, R. L.; Johnson, H. T.; *J. Organomet. Chem.* **1970**, *25*, C13.