

수조수 살균을 위한 고성능 관형 자외선 살균장치

임현수 · 김승모 · 최명락 · 최춘순* · 공홍진** · 김정희***

여수대학교 생물공학과, *광주보건전문대학 식품가공학과

한국과학기술원 물리학과 *한국과학기술원 생물학과

Development of UV Sterilization System Equipped in Stainless Steel Tube

Hyun-Soo Lim, Seung-Mo Kim, Myung-Rak Choi, Choon-Soon, Choi*,
Hong-Jin Kong** and Jung-Hoe Kim***

Department of Biotechnology, Yosu National University,

Department of Food Technology, Kwangju Jealth College,

**Department of Physics, Korea Advanced Institute of Science and Technology,

***Department of Biological science, Korea Advanced Institute of Science and Technology

Abstract

UV sterilization system was developed for decreasing the toxic microorganisms in aquarium tank water. Two U.V. lamps were equipped in an U type stainless steel tube and the gap between outer surface of lamp and inner surface of tube was 0.8 cm. Therefore, passing water was effectively exposed to UV ray without loss. The experiment was performed with two different size of tanks(100 L, 240 L). Flow rate of water was changed from 5 L/min to 20 L/min. In these conditions, *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio vulnificus* was decreased by about 99.9% within 1 hour of irradiation in aquarium tank water. After the irradiation during 20hours, viable cells in both gill and skin of fish were decreased to about 2 log cycle. Therefore, the using of continuous UV sterilization system which needs small space and has high sterilizing effect, it offers safety to guests who visit the restrant to eat slices of raw fish.

Key words: UV lamp, U type stainless steel tube, aquarium tank

서 론

현재 생활경제가 급속도로 발전하면서 1인당 국민 소득 증대와 더불어 국민들의 식생활 패턴도 점점 선진국화 되어감에 따라 각종 성인병의 발생과 국민보건 향상에 많은 관심을 갖게 되었다. 뿐만 아니라, 교통수단의 발달에 힘입어 어류가 전국적으로 유통됨에 따라 식품에 대한 소비 패턴도 지방질이 많은 육류의 섭취보다는 생선의 섭취를 선호하는 추세로 바뀌어가고 있으며, 동시에 각종 생선 고유의 신선한 맛과 조직감을 그대로 유지시킬 수 있는 활어회에 대한 국민의 선호도는 날로 급증하고 있다. 그러나 활어의 유통과정 및 생선횃집에서의 보관상태를 살펴

보면 주로 수조 내에 바닷물을 채운 후 활어가 도마에 오르기 전까지 보관하고 있다. 이때 바닷물을 쉽게 공급받을 수 있는 해변에 위치한 횃집의 경우에는 자주 수조내의 바닷물을 교환할 수가 있으나, 내륙 및 도시 내에 위치한 횃집의 경우에는 유통경비 때문에 그렇지 못하다.

그리고, 여름철에는 연안의 부영양화 및 26℃ 이상의 수온 상승으로 인하여 해저 침착성 패혈증 유발균인 *Vibrio vulnificus*의 창궐과 세균성 식중독을 일으키는 대표적인 균인 장염 비브리오균 외 각종 세균 및 바이러스 등이 1차적으로 수조 내에서 왕성하게 번식하고, 2차적으로는 활어 표면에 다량 부착되어 생선회를 통한 여름철 고치사성(치사율 80%) 비브리오 패혈증과 식중독을 일으키는 주범이 되고 있다(Beuchat, 1973; Kim et al., 1977; Chang et al., 1978).

특히, 식중독 외에 패혈증으로 인한 사망이 많이

Corresponding author : Jung-Hoe Kim, Department of Biological science, KAIST 373-1 Kusong-dong, Yusong-ku, Taejeon 305-701, Korea (Phone: 042-869-2614)

발생되고 있는데, 그 근본적인 이유로는 여름철에는 수온의 급격한 상승으로 인하여 바닷물 속에서 서식하고 있는 병원성 비브리오균을 비롯한 각종 오염성 세균의 숫자가 증가할 뿐만이 아니라, 수조 내에서도 이들 균의 번식이 왕성하여 여름철 수조의 위생상태가 극도로 악화되어 활어의 표피 및 아가미 부분에 부착되어 있는 병원균의 수가 증가되어 활어회를 만들 때에 표피에 오염된 상태 그대로 섭취하였을 때 식중독 및 패혈증을 일으키는 것으로 알려져 있다 (Chang *et al.*, 1994a; Chang *et al.*, 1973b; Kim *et al.*, 1988).

그러므로, 이를 방지하기 위하여 횃집에서 사용하고 있는 각종 활어용 수조 내의 물에 대한 제균 및 위생처리를 통하여 세균의 오염을 최소화시킴으로서 신선한 활어를 공급할 수 있다. 세균의 제균 방법에는 열처리 및 소독약 사용법 등 여러 가지 방법이 있으나, 활어용 수조수에 대한 제균법으로는 적합치 못하기 때문에 자외선 살균법이 적합할 것으로 생각된다.

이에 관하여는 보고된 예가 있지만(Choi *et al.*, 1995), 모두 살균장치를 수조 밖에 설치하는 외부조명 방식을 택하고 있기 때문에 조사된 많은 양의 자외선이 공기 중으로 방출되고 극히 일부만이 수로의 표면에 도달하기 때문에 살균 효율이 매우 낮으며 동시에 장치가 매우 크다는 단점을 갖고 있다. 기존의 단점을 개선하기 위하여 본 실험에서는 두 개의 U자형 관을 직렬로 연결하거나 단일의 관형 살균모듈을 연결하는 방식으로 설계하고, 각각의 관내에 자외선 등을 설치한 내부 조명법을 채택함으로써 살균효율을 극대화하여 수조의 해수나 활어에 오염되어 있는 세균이 효과적으로 제거되는 결과를 살펴보았다.

재료 및 방법

사용 균주 및 배지

본 실험에 사용한 균주는 장염 비브리오균인 *Vibrio parahaemolyticus*(ATCC No. 17802)과 패혈증균인 *Vibrio vulnificus*(ATCC No. 33147) 두 종류를 사용했으며, 수조 내에 접종하기 전의 액체 배양시에는 Brain heart infusion medium(Difco lab., USA)에 2% NaCl (Sigma Co. USA)을 첨가한 배지를 사용하였고, 생균수를 측정하기 위한 고체 배지는 비브리오 선택배지인 TCBS agar(Difco lab., USA)를 사용하였다.

활어용 수조

활어용 수조는 60 cm(L)×40 cm(W)×45 cm(D)와

150 cm(L)×40 cm(W)×45 cm(D) 두 가지 용량의 것을 사용하였는데, 여기에 각각 100L와 240L의 물을 채운 뒤 천일염을 해수의 농도에 맞추어 첨가하였다. 또한 수조 중의 어류에서 분비되는 배설물 등의 유기물질의 분해로 인하여 수조 내의 암모니아 농도가 높아짐에 따라 어류가 쉽게 죽게 되는데, 이를 막기 위해 압축공기를 수조 내로 불어넣어 수조 내의 물이 집진기를 통하여 수조 상단에 설치된 모래필터를 거치게 하는 방법으로 수조 내의 유기물질 등을 제거하였다. 본 장치의 전체적인 개략도는 Fig. 1(A)에서와 같이 수조수를 순환시키는 순환펌프, 수조수 내에 있는 부형물질을 제거할 수 있는 여과장치, 유량을 측정할 수 있는 유량계, 관형 살균장치, 자외선 등으로 구성되었다.

관형 살균 module 및 순환펌프

순환펌프는 centrifugal pump 또는 peristaltic pump를 사용하며 유량이 5~50 L/min 범위 내에서 조절되는 것을 사용하였고, 이때 수조수의 양은 100 L 또는 240 L이었다. 수조수에 자외선을 조사하기 위한 관형

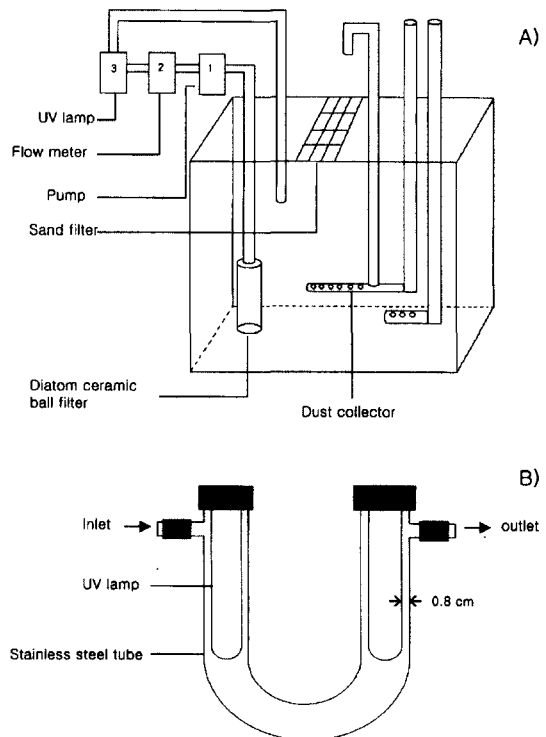


Fig. 1. UV sanitary control system (A) and UV lamp module (B).

자외선 살균장치는 직경이 3.5 cm이며, 길이가 30 cm 인 U자 형태의 스테인레스관으로, 두 개의 램프가 내장되어 있고, 관의 중심부에 5 W 용량의 석영관으로 된 저압 수은램프를 각각 설치하여 물이 관을 타고 흐르게 되어 관내에서의 물의 흐름이 소용돌이나 사구역(dead space: 자외선이 도달하지 않는 구역)이 없도록 층류 흐름 방식으로 설계하였으며, 관내에 흐르는 물의 두께는 0.8 cm로 조사되는 자외선의 손실이 없도록 하였다(Fig. 1(B)). 본 램프는 빛의 90 % 이상이 235~270 nm의 파장을 내고 있으며, 대표적인 파장은 254 nm로서 생물체의 유전자(DNA)가 가장 잘 파괴되는 파장인 260 nm와 유사한 것이다(Ernest et al., 1994). 이 관형 자외선 살균장치 내 물의 부피는 약 0.7 L이며, 물이 살균장치에 노출되는 시간을 D(Dilution rate, min⁻¹)값으로 하여 다음과 같이 나타내었다.

$$D = \frac{F}{V}$$

F: Flow rate (L/min)

V: 수조의 Volume (L)

수조내의 물을 펌프를 이용하여 유량을 5~14 L/min으로 조정하여 물이 UV관에 머무르는 시간을 3초에서 8.4 초 범위 안에서 변하게 하며 자외선에 노출되는 시간에 따른 생균수의 변화의 차이가 있는지 확인하였다.

그리고, 추후에 미생물 살균에 가장 중요한 인자인 자외선의 강도가 떨어지게 되어 램프를 교체할 경우 이를 용이하게 하기 위하여 램프를 볼트식으로 고정시켰다.

해수에 대한 제균실험

3%의 천일염을 첨가하여 인공적으로 만든 해수를 적정 온도(20~24°C)로 맞추고 안정화를 시키기 위해 UV 램프를 2개, 4개씩 조사해 가면서 overnight시켰고, 여기에 장염 비브리오균(*Vibrio parahaemolyticus*) 및 패혈증균(*Vibrio vulnificus*) 두 종류의 균주를 각각 공시의 배지에서 미리 배양하여 수조내의 해수에 오염시키고 혼합한 후, 유량을 5~14 L/min까지 변화시키면서 살균장치를 통과시킨 후의 해수를 취해 인산완충용액으로 단계 희석한 다음 균수를 측정하는 방법으로 생균수의 경시변화를 조사하였다. 100 L 수조에서의 유량은 4.8~7.2 L/min(dilution rate(D) = 0.048~0.072/min)으로, 240 L 수조에서는 유량을 8.4~13.4 L/min(dilution rate(D) = 0.035~0.056/min)으로 변화시키면서 약 2시간 동안 생균수의 경시변화를 측정하였다.

어류에 대한 제균실험

활어용 수조(240 L)의 해수를 순환시키면서 24시간 동안 안정화시킨 후 여기에 농어(*Lateolabrax japonicus*)를 넣고 미리 배양된 장염 비브리오균으로 오염시킨 후 1일동안 방치하여 균이 농어의 표피 및 아가미 속에 부착될 수 있도록 한 후 자외선 살균장치의 램프 2개를 켜 자외선을 조사하면서 농어의 표피 및 아가미 속의 균의 경시변화를 관찰하였다. 이 때의 유량은 10.8 L/min(dilution rate(D) = 0.045/min)으로 고정시켰으며, 농어의 표피 1 cm²와 아가미 1 g을 취해 세절하여 인산완충 희석수로 단계 희석한 다음 TCBS agar plate에 도말하여 균수를 측정하였다(Huge et al., 1994; Kim et al., 1990).

결과 및 고찰

UV 조사에 의한 장염 비브리오균(*Vibrio parahaemolyticus*)의 변화

자외선등 통과 전후의 장염 비브리오균의 변화를 측정하기 위하여 overnight 시켜 충분히 안정화시킨 해수를 사용하였고, 100 L 수조에서의 유량은 4.8~7.2 L/min(dilution rate(D) = 0.048~0.072/min)으로 하였으며, 여기에 장염 비브리오균(*Vibrio parahaemolyticus*)를 접종하였다. 비브리오균이 수조 내에 고르게 퍼지게 하기 위해 램프를 켜지 않은 상태에서 충분히 펌프를 돌려준 후 4개의 램프를 켜고 살균장치를 통과시킨 후 생존한 균수를 측정한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 살균 모듈을 직렬로 연결하여 자외선 램프를 4개 사용하였을 때 조사 초기부터 수조수 내

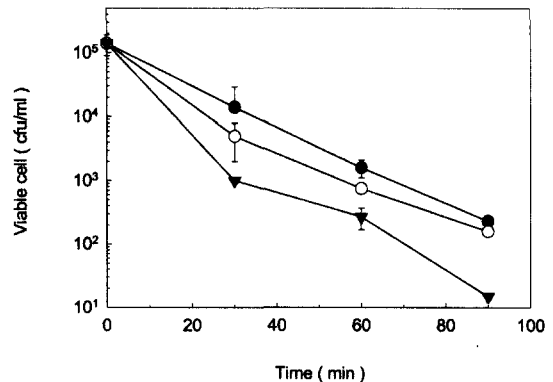


Fig. 2. The decrease of *Vibrio parahaemolyticus* concentration under UV system (100L, 4 lamp). ● : D = 0.072/min, ○ : D = 0.056/min, ▼ : D = 0.048/min. Vertical bars indicate standard deviation.

의 생균수가 급격히 감소하기 시작하여 약 60-90분 이후에는 초기 균수의 1/1000 수준으로 제거되었다. 그 이후에는 완만하게 감소되는 것을 볼 수 있었다. 그리고 살균모듈을 단독으로 사용하여 2개의 램프를 사용하였을 때와 2조의 살균 모듈을 직렬로 연결하여 4개의 램프를 사용하였을 때 모두 유사한 결과가 나타났으므로, 240 L 수조에서는 2개의 램프를 사용하여 위와 같은 방법으로 유량을 8.4~13.4 L/min (dilution rate(D)=0.035~0.056/min)으로 변화시키면서 약 2시간 동안 생균수의 경시변화를 측정하였다. 이 결과는 Fig. 3에 나타내었는데, 이 때 초기 균수의 1/1000 수준, 즉 3 log cycle의 제균 효과를 보이는데 걸린 시간은 약 80-140분으로 나타났다.

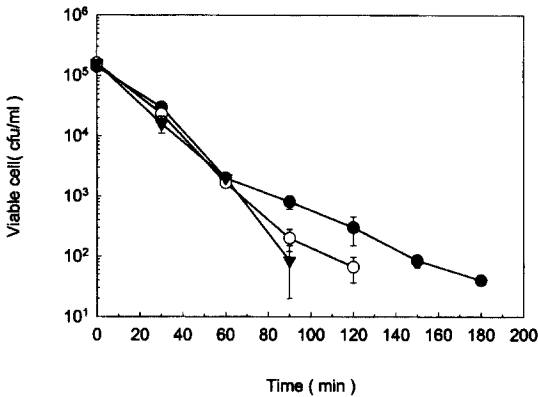


Fig. 3. The decrease of *Vibrio parahaemolyticus* concentration under UV system (240 L, 2 lamp). ● : D = 0.056/min, ○ : D = 0.048/min, ▼ : D = 0.035/min. Vertical bars indicate standard deviation.

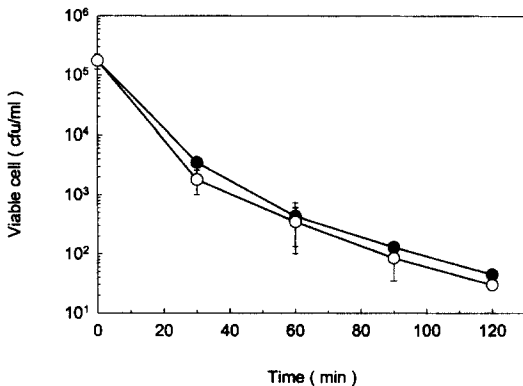


Fig. 4. The decrease of *Vibrio parahaemolyticus* concentration under UV system (100 L, 4 lamp). ● : D = 0.072/min, ○ : D = 0.056/min. Vertical bars indicate standard deviation.

위에서 나타난 결과를 보면, D값을 크게 하여 세균을 자외선에 여러 번 노출시키는 것 보다는 flow rate를 낮추어 한 번에 노출시간을 길게 하는 것이 더 효과적이었다.

UV 조사에 의한 패혈증균(*Vibrio vulnificus*)의 변화

100 L의 수조에 인공 해수를 만들어 자외선을 조사하면서 overnight시킨 수조수에 패혈증균(*Vibrio vulnificus*)를 접종한 후 충분히 해수를 순환시킨 후 4개의 자외선 램프를 켜고 살균장치를 통과시킨 후 생균수를 측정된 결과(Fig. 4)와 2개의 자외선 램프를 켜는 경우 모두 *Vibrio parahaemolyticus*의 경우와 유사한 경향을 보여 한 시간 안에 약 3 log cycle을 감소시키는 것을 알 수 있었다. 본 실험에서 Choi et al. (1995)의 보고에서와 같이 장염 비브리오균(*Vibrio parahaemolyticus*)의 제균 실험시 자외선 조사 1시간 후에 균수가 3 log cycle 감소된 결과와 비슷한 경향을 나타내었으나, 이는 사용 램프수가 본 장치에서는 2개(최 등은 5개)로써 더욱 효율이 높다 하겠다. 또한, 본 실험에 사용한 관형 자외선 살균장치는 기존의 장치에 비하여 크기가 매우 작고 단순한 구조로 설계되어 있는 동시에 내부 조명법을 채택함으로써 조사한 자외선의 손실을 최소화하였고, 살균효율을 극대화 시켜 적은 부피의 장치로 보다 큰 효과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

활어용 수조 내의 어류에 대한 제균 효과

인공 해수를 만들어 충분히 안정화 시킨 240 L의 수조 내에 농어(*Lateolabrax japonicus*)를 넣고 미리

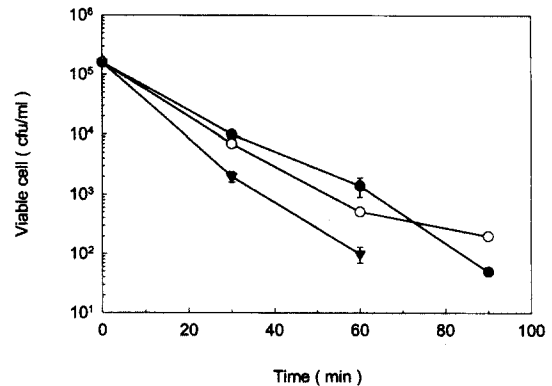


Fig. 5. The decrease of *Vibrio parahaemolyticus* concentration under UV system (240 L, 2 lamp). ● : D = 0.072/min, ○ : D = 0.056/min, ▼ : D = 0.048/min. Vertical bars indicate standard deviation.

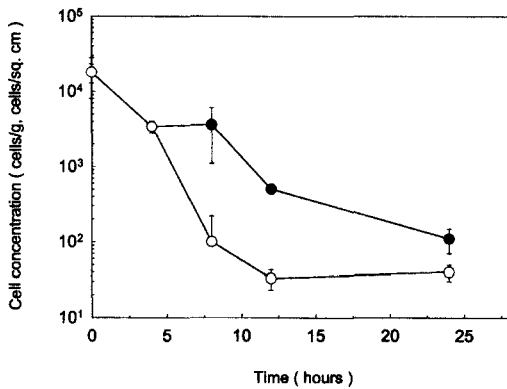


Fig. 6. The decrease of *Vibrio parahaemolyticus* concentration under UV system (240 L, 2 lamp). ● : Gill (cell/g), ○ : Skin (cell/sq.cm). Vertical bars indicate standard deviation.

배양된 장염 비브리오균(*Vibrio parahaemolyticus*)을 오염시킨 후 24시간 방치하여 균이 농어의 표피 및 아가미 속에 부착될 수 있도록 한 후, 살균장치의 램프 2개를 통하여 자외선을 조사하면서 농어의 표피 및 아가미 속의 균의 경시변화를 관찰한 결과는 Fig. 6과 같다. 농어의 표피 1 cm²와 아가미 1 g 속에는 초기 균의 수가 3 × 10⁴개였다. 아가미의 경우 초기 균 제거율이 낮는데 그 이유로는 아가미가 능동적인 물의 유입·유출을 담당하므로 균의 밀집도가 높기 때문이다. 그러나 표피와 아가미 모두 자외선 조사 20시간 경과 후 초기 균수의 약 1/100(2 log cycle)가 제거되었으며, 그 이후에는 서서히 감소하는 경향을 나타내었으므로, 해수가 정화됨에 따라 아가미와 표피에서의 감소율이 높으므로 계속적으로 순환 해수에 자외선을 조사할 경우 상당한 제균 효과가 있을 것으로 생각되며, 살균 모듈을 직렬, 혹은 병렬로 두 개 이상 연결시킬 수 있으므로 큰 부피를 차지하지 않고도 다양한 활어용 수조 크기에 적합하게 적용할 수 있을 것으로 여겨진다.

요 약

횃집의 수조수에 대한 위생 대책 수립의 방법으로 관형 자외선 살균 모듈을 개발하여 이를 이용한 제균 효과를 검토하였다.

기존의 살균장치의 대형화, 자외선량의 손실 그리고 낮은 살균효율을 극복하기 위하여 본 실험에서는 수 개의 관을 직렬로 연결한 관형 살균모듈을 설계하였고, 각각의 관내에 자외선 등을 설치한 내부 조명법을 채택함으로써 살균효율을 극대화 하여 수조

의 해수나 활어에 오염되어 있는 대표적인 세균인 장염 비브리오균(*Vibrio parahaemolyticus*) 및 패혈증균(*Vibrio vulnificus*)에 대하여 생존균수의 감소를 측정하였고, 농어를 인위적으로 장염 비브리오균에 노출시켜 표피 및 아가미 속 세균이 효과적으로 제거되는 결과를 살펴보았다.

장염 비브리오균과 패혈증균 모두 자외선 조사 한 시간 이내에 초기 균수의 약 1/1000(3 log cycle) 감소하였으며, 수조수의 세균이 자외선에 노출되는 것은 동일한 시간동안 살균 system을 작동하는 경우 D값을 크게 하여 여러 번 노출시키는 것 보다 flow rate를 낮추어 D값을 0.056/min 이하로 하였을 때 살균효과가 더욱 높게 나타났다.

그리고 농어에 같은 조건으로 처리하였을 때 표피와 아가미에서의 생존균수 감소율은 20시간 후에 초기 균수의 약 1/100(2 log cycle)이었다. 결론적으로, 연속 UV 살균장치를 이용할 경우 수조수 살균장치의 단순화 및 높은 제균능으로 인하여 여름철 횃집의 수조수에 장착시 균의 오염에 의한 위생상 문제를 감소할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 주식회사 한배검 전자의 연구비 지원으로 수행한 연구 결과로 이에 감사드립니다.

문 헌

- Beuchat, L.R. 1973. Interacting effects of pH, temperature and salt concentration on growth and survival of *Vibrio parahaemolyticus*. *Appl. Microbiol.* **25**: 844-846
- Chang, D.S. and W.K. Choe. 1973. Bacteriological Studies on Market Sea foods. *Bull. Korean Fish. Soc.* **6**(3,4): 92-96
- Chang, D.S. and Y.M. Kim. 1978. Isolation on *Vibrio parahaemolyticus* in marine samples collected during months in Yongho Bay. *Bull. Korean Fish. Soc.* **11**(3): 147-153
- Chang, D.S. and S. Sumio. 1994. Toxin Produced by Pathogenic Vibrios Isolated from Sea Food. *Bull. Korean Fish. Soc.* **27**(2): 107-113
- Choi, S.T., M.Y. Park and D.S. Chang. 1995. Sanitary Control of Aquarium Tank Water with U.V. Light. *J. Korean Fish. Soc.* **28**(4): 428-434
- Ernest, R.B. III. and A.H. Bruce. 1994. Bioassay for Full-Scale UV Disinfection systems. *Wat. Sci. Tech.* **30**(4): 115-123
- Huge, R. and R. Sakazaki. 1972. Mineral number of characters for the identification of *Vibrio species*, *Vibrio*

- cholerae* and *Vibrio parahaemolyticus*. *pub. Health Lab.* **30**: 133-137
- Kim, Y.M. and D.S. Chang. 1977. A study on the distribution of *Vibrio parahaemolyticus* in Busan coastal area. *Bull. Nat. Fish. Univ. Busan.* **17**(1,2): 45-54
- Kim, Y.M. and D.S. Chang. 1988. The Growth of *Vibrio vulnificus* in Meat Homogenates of Fish and Shellfish. *Bull. Korean Fish. Soc.* **21**(2): 80-84
- Kim, Y.M., B.H. Lee, S.H. Lee and T.S. Lee. 1990. Distribution of *Vibrio vulnificus* in Sea Water of Kwangan beach Pusan, Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.* **22**(6): 385-390