

해수의 대장균군과 분변계대장균의 검출률 비교 분석

김영만* · 김경희¹ · 박혜정²

동의대학교 식품영양학과, ¹(주)오리엔탈바이오텍, ²동의대학교 교육대학원

Comparative Analysis of Total and Fecal Coliforms in Sea Water

Young-Man KIM*, Kyoung-Hee KIM¹, Hye-jeong PARK²

Department of Food Science and Nutrition, Dong-eui University, Busan 614-714, Korea

¹Oriental Biotech Co., Ltd, 995 Eomgwangno, Busanjin-gu, Busan 614-714, Korea

²Graduate School of Education, Dong-eui University, Busan 614-714, Korea

Seafood, if eaten raw, carries the risk of food poisoning. Seafood poisoning is often caused by pathogenic microorganisms originating from fecal contamination, such as *Salmonella* sp. and norovirus. Fecal coliforms are an important indicator of fecal contamination. Therefore, data on fecal coliforms are very important for evaluating the safety of fisheries in coastal areas. In this study, 2,226 sea water samples were collected from the southeast coast of Korea, and total and fecal coliforms were compared and analyzed. Total coliforms were detected in 76.5% of the samples and 71.4% of the total coliforms were fecal coliforms. At sea water temperatures above 20.0°C, total coliforms were found in 78.8% of the samples and fecal coliforms constituted 72.0% of the total coliforms. In sea water below 19.9°C, the respective values were 74.6% and 70.9%. These results suggest that temperature does not have a significant effect on the detection of fecal coliforms. When the salinity exceeded 30.0‰, total coliforms were found in 72.1% of the samples and fecal coliforms constituted 66.0% of these. At salinities below 29.9‰, the respective values for total and fecal coliforms were 90.4% and 85.2%. These results strongly suggest that the detection of fecal coliforms is proportional to the amount of precipitation.

Key words: Sea water, Fecal coliform

서 론

도시의 인구 집중화 현상으로 생활 오·폐수 발생량이 해마다 증가되고 있으나(Kwon, 1998), 하수구의 정비 부족과 강우의 영향으로 인해 연안 해수로 분변성 하수가 유입되고 있는 실정이다(Kim, 1999; Lee, 2003; Chigbu et al., 2004). 대장균군은 일반적으로 인축의 분변에서 기인하는 *Escherichia*, *Klebsiella*, *Citrobacter* 외에 토양이나 식물에서 기이하는 *Enterobacter*, *Erwinia* 및 분변과 관계없는 *Aeromonas* 등도 포함된다. 따라서 대장균군이 검출되었다고 분변오염에 의한 것으로 단정 지을 수 없으므로 분변계대장균의 조사도 함께 해야 지표의 신뢰성이 높다고 인정되며(Lee, 1996), 수산물 생산 해역의 위생 관리에 있어서 대장균군의 균수와 분변계대장균의 검출 비율의 파악이 위생 대책의 수립에 필요하다. 또, BGLB (Brilliant Green Bile Broth) 배지를 사용하여 대장균군을 산출한 최확수와 EC배지를 사용하여 산출한 분변계대장균의 최확수가 실험자에 따라 많은 차이가 있어서 그 원인에 대한 규명이 필요하다.

현재 우리나라에서 연안 해수에 대한 연구는 Jung and Shin (1996) 등이 여수 연안 및 동중국해의 일반세균, *Vibrio* sp.,

대장균군 균수에 대해 연구하였고, Choi (1981)와 Ahn (1981)은 마산만의 환경요인과 미생물상의 연구에 대해서 보고한 바가 있다. 또한 주로 양식장이 많은 서남해안 해역에 대한 세균학적 연구가 활발히 진행되어, Choe et al. (1974)은 거제지역 굴 양식장의 위생을 조사하였으며, Choi et al. (1998)은 경상남도 통영시 북만지역의 해수와 굴에 대해 세균학적 조사를 하였다. 또한 Yoo et al. (1980) 등은 거제 한산도의 굴에 대한 연구를 하였으며, Chin (1982)은 군산만에 서식하는 패류의 세균오염에 대해 보고하였다.

동남해안에 이루어진 연구는 부산항에 대하여 Ju et al. (1984)이 *Vibrio parahaemolyticus*에 대해 연구하였고, Lee et al. (1985)은 세균학적 분포에 대해 연구 보고하였다. 또 동계의 수영만의 수질환경과 대장균에 관하여 Lee et al. (1991)이 조사하였고, Kim et al. (1984)은 낙동강 하구지역에서 수질의 환경인자와 대장균의 계절적 변화를 조사하였다. 그러나 부산을 포함한 울산, 포항 연안 등의 동남해안에 대한 대장균군과 분변계대장균의 검출 비율에 대한 연구 보고는 찾을 수 없는 실정이다.

따라서 동남해안 지역 연안의 해수 2,226개 시료를 조사해 이 중 대장균군이 검출된 1,702개 시료에서 대장균군과 분변계대장균의 검출 비율을 비교 분석하였다. 또 해수에서 대장균군과 분변계대장균의 검출 비율과 검출 균수의 비율을 고찰

*Corresponding author: kjlee@cheju.ac.kr

하여 그 결과를 제시함으로써 해수의 대장균 검사시 실험 방법과 실험자의 미숙련에서 오는 실험 오류에 대한 문제를 규명하여 수산물 생산 해역의 위생 관리 대책 수립에 필요한 기초 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

조사 해역 및 채수

해운대, 송정, 기장, 울산, 경주, 포항 지역의 연안 앞바다에서 채수하였다. 해수 시료는 2005년 39개 지점, 2006년 140개 지점에서 총 2,226개를 채수하였으며, 연안 표층수를 멸균된 250 mL 광구병을 사용하여 채수한 후 10℃ 이하로 유지된 빙장(氷藏)함에 넣어 실험실로 옮겨 사용하였다.

수온, pH 및 염도의 측정

수온, pH 및 염도는 해수 채수시 현장에서 water quality meter (DKK-ToA Co., WQC-24, Japan)로 즉시 측정 기록하였다.

실험 방법

대장균 검사는 미국 APHA의 Recommended Procedures for the Examination of Sea Water and Shellfish (1970)에 따랐으며 구체적인 방법은 다음과 같다.

대장균군 (Total coliform)

최확수법 (MPN법; Most Probable Number Method)에 따라 추정시험은 유당 액체 (Lauryl tryptose broth, Difco, USA)배지 10 mL에 시료를 각각 10배 희석법에 따라 희석하며, 연속적인 5단계를 선택하였다. 그리고 각 희석단계마다 5개의 시험관을 사용하였다. 시료가 접종된 시험관은 35.0±0.5℃의 incubator에서 48±3시간까지 배양하였고, 가스가 발생한 시험관은 확정 시험을 실시하였다. 확정시험은 BGLB (Brilliant Green Bile Broth, Difco, USA)배지에 접종하여 35.0±0.5℃의 incubator에서 48±3시간 동안 배양하고 판정하였다. 대장균군은 MPN/100 mL의 단위로 표시하였다.

분변계대장균 (fecal coliform)

추정시험에서 가스가 발생된 시험관을 EC (EC broth, Difco, USA)배지에 이식한 후 44.5±0.2℃의 수욕조에서 24±2시간 배양하여 가스가 발생하면 확정시험 양성으로 판정하였다. 분변계대장균수는 MPN/100 mL의 단위로 표시하였다.

결과 및 고찰

조사 해역의 수온, pH 및 염도

2005년 6월부터 12월과 2006년 4월부터 12월까지 조사 해역의 수온, pH 및 염도의 측정 결과는 Table 1과 같다.

조사 해역의 온도 범위는 10.8-28.7℃이었으며, 평균 19.3℃이었다. 다른 해역과 비교하였을 때 전라남도 득량만의 1995년 5월에서 1996년 11월의 표층수온인 12.0-28.0℃와 비슷한 수준이며 (Chang et al., 1998), 경상남도 북만에서 1995년 4월

Table 1. Range of environmental factors in the southeast coast

	Temp. (°C)	pH	Salinity (psu)
Range	10.80-28.70	5.09-8.71	7.90-34.50
Average±SD ^a	19.30±4.04	8.13±0.29	31.02±2.54

^aStandard deviation.

에서 12월까지의 표층수온인 10.8-23.0℃와 비교하면 최고치에서 5℃가 높았다 (Choi and Jeong, 1998).

조사 해역의 pH 범위는 5.09-8.71이었으며, 평균 pH는 8.13이었다. 해수의 일반적인 pH는 7.5-8.4 범위지만 (Hwang, 1993) 조사 해역의 pH는 최저치는 낮고 최고치는 높게 나타났다. 그러나 평균은 비슷하였다. pH의 최저치에서 차이가 많은 것은 강우에 의해 영향을 받은 것으로 사료된다. 다른 해역과 비교하였을 때 전라남도 득량만의 pH 7.22-8.19보다 최저치는 낮고, 최고치는 높은 수준이었다.

연안 하구 부근에서 하천수의 유입 정도를 알 수 있는 염도의 경우는 7.90-34.50 psu로 평균은 31.02 psu이었다. 이는 우리나라 근해의 염도 34.50 psu보다 낮은 값을 나타내었으나 (Lee, 1987), 강우량이 집중된 시기를 제외하면 정상적인 바다의 염도라고 사료되며, 조사 해역의 경우 작은 하천은 있으나 큰 하천은 없는 지역이다. 다른 해역과 비교하였을 때 전라남도 득량만은 29.16-32.37 psu, 경상남도 북만은 31.57-34.47 psu로 조사되어, 다른 해역에 비하여 강우시 하천수의 유입이 많은 해역으로 사료된다.

대장균군과 분변계대장균의 검출 비율

전체 2,226개 시료 중에서 대장균군 양성은 76.5%이었고, 분변계대장균 양성은 54.6%로 분변계대장균이 21.9% 낮은 분포를 보였다 (Fig. 1). 대장균군 양성 시료 중에서 분변계대장균 양성은 71.4%이었다.

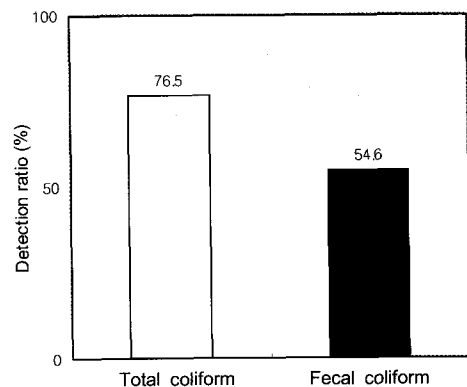


Fig. 1. Detection ratio of total coliform and fecal coliform from sea water sample collected from the southeast coast of Korea.

수온 20.0℃ 이상인 시료 중에서 대장균군은 78.8%, 분변계대장균은 56.8%가 양성으로 나타났으며, 대장균군 양성인 시료 중에서 분변계대장균 양성은 72.0%이었다. 19.9℃ 이하인

시료 중에서 대장균군은 74.6%, 분변계대장균은 52.8%가 양성으로 나타났으며, 대장균군 양성인 시료 중에서 분변계대장균 양성은 70.9%이었다 (Fig. 2, 3). 수온이 20.0°C 이상일 때 대장균군과 분변계대장균이 약간 높은 비율을 보였으나 이는 의미있는 차이라고 보기 어렵다. 그러므로 분변계대장균의 양성 비율은 수온의 영향을 거의 받지 않는 것으로 사료된다.

pH 8.00 이상인 시료 중에서 대장균군은 73.1%, 분변계대장균은 48.8%가 양성으로 나타났고, 대장균군 양성인 시료 중에서 분변계대장균 양성은 66.8%이었다. pH 7.99 이하인 시료 중에서 대장균군은 90.0%, 분변계대장균은 78.0%가 양성으로 나타났고, 대장균군 양성인 시료 중에서 분변계대장균 양성은 86.6%이었다 (Fig. 4, 5). pH 7.99 이하에서 분변계대장균 양성 비율이 29.2% 높은 것으로 나타났는데, pH가 낮은 것은 육수의 유입에 의한 것으로 육수의 유입이 많은 시기에는 분변계대장균의 비율이 높아지는 것으로 사료된다.

염도 30.0 psu 이상인 시료 중에서 대장균군은 72.1%, 분변계대장균은 47.6%가 양성으로 나타났고, 대장균군 양성인 시료 중에서 분변계대장균 양성은 66.0%이었다. 염도 29.9 psu 이하인 시료 중에서 대장균군은 90.4%, 분변계대장균은 77.0%가 양성으로 나타났고, 대장균군 양성인 시료에서 분변계대장균 양성은 85.2%로 나타났다 (Fig. 6, 7). pH에서와 같이 염도가

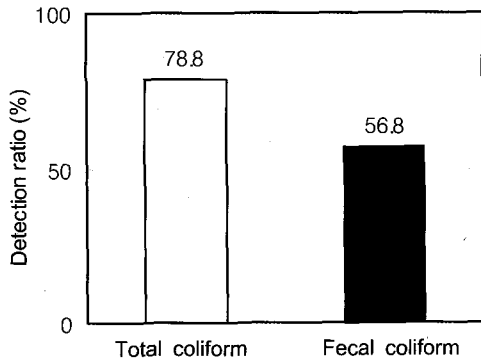


Fig. 2. Effect of sea water temperature (>20.0°C) on the detection ratio of total coliform and fecal coliform.

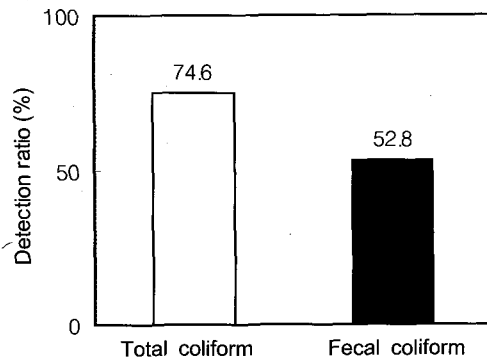


Fig. 3. Effect of sea water temperature (<19.9°C) on the detection ratio of total coliform and fecal coliform.

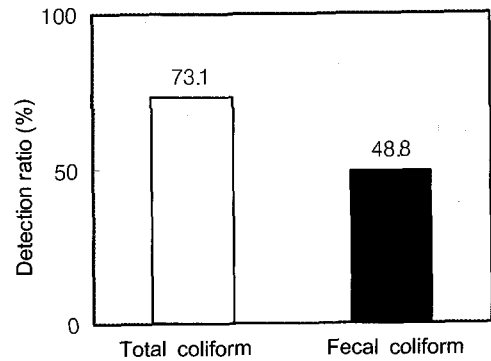


Fig. 4. Effect of pH (>pH 8.00) on the detection ratio of total coliform and fecal coliform.

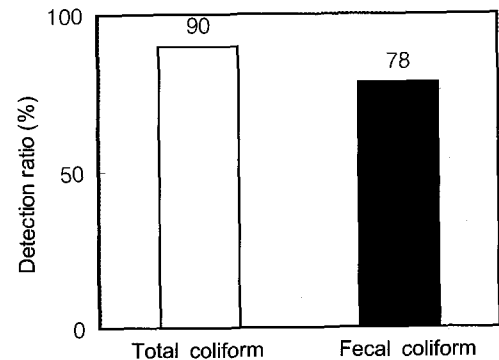


Fig. 5. Effect of pH (<pH 7.99) on the detection ratio of total coliform and fecal coliform.

29.9 psu 이하에서 분변계대장균 양성 비율이 29.4% 높게 나타났다.

낮은 pH와 염도는 강우에 의한 것으로 사료되며, 몇몇의 연구자들은 강우량이 증가하면 연안에서 유입되는 생활 오·하수와 분변성 하수가 유입되어 수산물 생산 해역의 오염을 증가시킨다고 보고하였다 (Choi, 1995; Choi, 1999). Chang et al. (1998)이 득량만 해수의 세균학적 수질에 대한 보고에서 강우시 양식장 인근 배수 유역의 인가, 가축, 농토 등으로부터 씻겨 내려오는 오염원이 그 해역을 오염시켜 세균학적 수질에 크게 영향을 미쳤다고 보고하였으며, 가막만에서 강우에 따른 해수와 굴의 세균학적 연구 (Park, 1990)에 따르면 강우량이 해수의 세균학적 수질에 큰 영향을 미치고 있고 강우 후 24-48 시간 이후에야 평소의 수질로 회복되어 간다고 보고한 바 있다. Chigbu et al. (2004)은 강우량이 분변계대장균의 수치와 정 (positive)의 관계에 있으며, 염도가 26 psu 이하일수록 분변계대장균의 수치가 높아진다고 보고한 것과 우리 연구 결과와 일치하였다. 따라서 해수의 pH와 염도가 낮아질 때 오염 방지를 위한 특별한 대책 수립이 필요하다.

대장균군과 분변계대장균의 검출균수 비교

조사 해역의 대장균군과 분변계대장균 양성인 시료에서 수온, pH 및 염도에 따른 균수는 Table 2에 나타내었다.

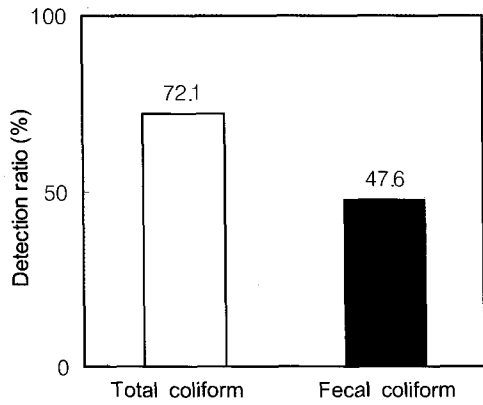


Fig. 6. Effect of salinity (>30.0 psu) on the detection ratio of total coliform and fecal coliform.

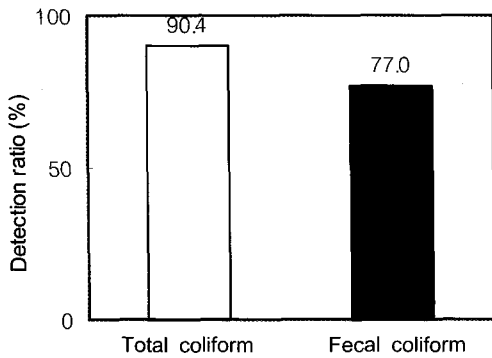


Fig. 7. Effect of salinity (<29.9 psu) on the detection ratio of total coliform and fecal coliform.

수온 20.0°C 이상에서 대장균군의 중앙치는 599이고, 최고치는 110,000이었으며, 분변계대장균의 중앙치는 158이고, 최고치는 24,000이었다. 수온 19.9°C 이하에서 대장균군의 중앙치는 2,506이고, 최고치는 700,000이었으며, 분변계대장균의 중앙치는 560이고, 최고치는 140,000이었다.

검출 비율에서는 수온 20.0°C 이상과 19.9°C 이하에서 대장균군과 분변계대장균의 차이가 거의 없었으나, 검출 균수는 19.9°C 이하에서 최고치도 높고 중앙치도 높게 나타났다. 이러한 결과는 해수에서 *E. coli*의 경우 온도가 낮아질수록 (8.9-14.5°C) 안정성이 강화된다는 보고 (Rozen and Belkin, 2001)와 비슷하다. 그리고 아드리아해 연안에서 2-9월 (12-25°C)에 실

시한 연구에서도 대장균과 수온은 역의 관계에 있으며, 대장균은 수온의 계절적인 변화보다 태양열의 변화가 더 영향이 크다는 보고 (McFeters and Stuart, 1972)도 있어서 앞으로 대장균과 수온과의 관계에 대해 더 연구되어야 할 필요성이 있다고 생각된다.

pH 8.0 이상에서 대장균군의 중앙치는 511이고, 최고치는 110,000이었으며, 분변계대장균의 중앙치는 127이고, 최고치는 24,000이었다. pH 7.99 이하에서 대장균군의 중앙치는 2,597이고, 최고치는 700,000이었으며, 분변계대장균의 중앙치는 592이고, 최고치는 140,000이었다. pH 7.99 이하에서 대장균군과 분변계대장균의 중앙치와 최고치가 높게 나타나 육지로부터 분변성 하수의 유입에 의한 오염이 높은 것으로 사료된다.

염도 30.0 psu 이상에서 대장균군의 중앙치는 263이고, 최고치는 92,000이었으며, 분변계대장균의 중앙치는 75이고, 최고치는 24,000이었다. 염도 29.9 psu 이하에서 대장균군의 중앙치는 2,842이고, 최고치는 700,000이었으며, 분변계대장균의 중앙치는 643이고, 최고치는 140,000이었다. 염도 29.9 psu 이하에서 대장균군과 분변계대장균의 중앙치와 최고치가 높게 나타났다.

이는 해수의 *E. coli* 생존에 있어 염도 30 psu 이하에서 높은 비율로 검출되었다는 보고 (Charles et al., 1976)와 일치하며, 25.0 psu 이하일수록 분변계대장균의 수치가 높아지고, pH 6-7 범위에서 대장균이 최적 생존한다는 보고 (McFeters and Stuart, 1972; Solic and Krstulovic, 1992; Rozen and Belkin, 2001; Chigbu et al., 2004)와 유사하여 해수의 대장균군과 분변계대장균의 검출 균수는 pH와 염도에 의한 영향을 많이 받는 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 2005학년도 동의대학교 연구년 지원에 의해 작성되었으며, 또한 해양수산부의 지원에도 감사드립니다.

참 고 문 헌

Chang, D.S., E.T. Jeong, H.S. Yu, E.W. Lee and S.M. Lim. 1998. Bacteriological quality of sea water in Deukryang Bay, Korea. J. Kor. Fish., Soc., 31, 77-81.
Charles, P.G. and J.S. McLeod. 1976. Effect of sediments

Table 2. MPN's of total coliform and fecal coliform in positive samples

Environmental data	Total coliform MPN/100 mL		Fecal coliform MPN/100 mL	
	Range	Mean value	Range	Mean value
>20.0°C	1.8-110,000	599	1.8- 24,000	158
<19.9°C	1.8-700,000	2,506	1.8-140,000	560
>pH 8.00	1.8-110,000	511	1.8- 24,000	127
<pH 7.99	1.8-700,000	2,597	1.8-140,000	592
>30.0 psu	1.8- 92,000	263	1.8- 24,000	75
<29.9 psu	1.8-700,000	2,842	1.8-140,000	643

- on the survival of *Escherichia coli* in marine waters. *Appl. Environ. Microbiol.*, 32, 114-120.
- Chigbu, P., S. Gordon and T. Strange. 2004. Influence of inter-annual variations in climatic factors on fecal coliform levels in Mississippi Sound. *Water Res.*, 38, 4341-4352.
- Chin, S.I. 1982. The studies on bacteria contamination of shells in Kunsan Bay. M.S. Thesis, Graduate School, Wonkwang University, Iri, Korea, 1-28.
- Choe, W.K., D.S. Chang, J.G. Lee and J.G. Kwon. 1974. Sanitary survey of oyster growing area in Geoje Bay. *Bull. Pusan Fish. Coll.*, 14, 28-42.
- Choi, J.D. 1995. Distribution of marine bacteria and coliform groups in Puksin bay, Korea. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 28, 202-208.
- Choi, J.D. 1999. Marine bacteriological quality and dynamics in Tongyeong coastal area. Gyung-nam Korea, Korea Research Foundation Report, 25-26.
- Choi, J.D. and W.G. Jeong. 1998. A bacteriological study on the sea waters and oyster in Puk Man, Korea. *Kor. J. Malacol.*, 14, 19-26.
- Choi, Y.K. and T.S. Ahn. 1981. Distribution of microorganism at Masan-Bay (The environmental factors and microflora in summer at Masan-Bay). *Bull. Environ. Sci., Res. Inst. Environ. Sci., Hanyang Univ.*, 2, 80-92.
- Hwang, C.S. 1993. Present status of environmental pollution in Chungmu coastal area and measures for protection. M.S. Thesis, Industrial Graduate School, Kyungnam University, Masan, Korea, 1-68.
- Jin, W.J., C. Song, J.Y. Sohn, S.H. Im and G.H. Rhee. 1984. Studies on *Vibrio parahaemolyticus* from sea water, sea mud, fishes and algae at Pusan sea sides in Korea. *Sci. Pusan Nat. Univ.*, 38, 247-253.
- Jung, K.J. and S.U. Shin. 1996. Bacterial flora of East China Sea and Yosu coastal sea areas. *J. Kor. Fish. Soc.*, 29, 9-16.
- Kim, J.J. 1999. Multivariate analysis of coastal eutrophication in Pusan south harbor. M.S. Thesis, Graduate School, Kyungnam University, Pusan, Korea, 1-105.
- Kim Y.G., H.K. Shim, H.R. Cho and S.J. You. 1984. Seasonal variations of water of water quality in the lower part of the Nagdong river. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 17, 511-522.
- Kwon, M.A. 1998. A study on the bacterial flora in sewages of Yosu area. M.S. Thesis, Graduate School, Yosun National University, Yosun, Korea, 1-73.
- Lee, G.Y., S.Y. Chang and Y.K. Choi. 1985. Distribution of Microorganism in Pusan harbour. *Res. Inst. Environ. Sci., Hanyang Univ. Bull. Environ. Sci.*, 6, 91-103.
- Lee, H.B. 2003. Characteristics of water quality in Mokpo coastal area during wet and dry seasons. M.S. Thesis, Graduate School, Mokpo National Maritime University. Mokpo, Korea, 1-79.
- Lee, J.B. 1987. Studies on the structure and dynamics of dinoflagellates community in Masan Bay. Korea, M.S. Thesis, Graduate School, Hanyang University, Korea, 1-134.
- Lee, W.J., Y.T. Park, W.B. Kang, W.A. Lim and J.H. Lee. 1991. The environmental factors and coliform group in Suyeong Bay. *J. Fish Pathol.*, 4, 23-30.
- Lee, Y.O. 1996. Comparative studies of detection of *E. coli* in surface water. *J. Kor. Soc. Limnol.*, 26, 313-321.
- McFeters, G.A. and D.G. Stuart. 1972. Survival of coliform bacterial natural waters: Field and laboratory studies with membrane-filter chambers. *Appl. Environ. Microbiol.*, 24, 805-811.
- Park, J.H. 1990. Bacteriological quality study of sea water and oyster in association with rainfall in Kamakman. M.S. Thesis, National Fish. Univ. of Pusan. Korea, 1-63.
- Rozen, Y. and S. Belkin. 2001. Survival of enteric bacteria in seawater, *FEMS Microbiol. Rev.*, 725, 1-17.
- Solic, M. and N. Krstulovic. 1992. Separate and combined effects of solar radiation, temperature, salinity, and pH on the survival of faecal coliforms in seawater. *Mar. Pollut. Bull.*, 24, 411-416.
- Yoo, S.K., J.S. Park, P. Chin, D.S. Chang, C.K. Park and S.S. Lee. 1980. Comprehensive studies on oyster culture in Hansan, Geoje Bay. *Bull. Fish. Res. Develop. Agency*, 24, 7-46.

2007년 6월 26일 접수
2007년 10월 16일 수리