영일만 해역의 요인분석에 의한 수질특성 평가

연세대학교 보건대학원

환경관리학과

이 창 수

영일만 해역의 요인분석에 의한
수질특성 평가

지도 정 용 교수

이 논문을 보건학석사학위 논문으로 제출함

2001 년 6 월 일

연세대학교 보건대학원

환경관리학과

이 창 수

이창수의 보건학 석사학위논문을 인준함

심사위원 정 용 인

심사위원 이무송

심사위원 임영욱

연세대학교 보건대학원

2001 년 6월 일

감사의 글

환경이라는 학문을 처음 접하고 지금까지의 자그마한 결실을 지금에서 맺는 것 같습니다. 뿌듯한 마음에 앞서 부족한 부분이 많기에 부끄러움에 머리가 숙여집니다.

환경이라는 학문의 깊이와 중요성을 일깨워 주시고 부족한 저에게 용기와 격려를 해주시며 배움의 길로 이끌어 주신 정용 선생님, 부족한 저를 위해 항상 곁에서 충고와 조언을 아끼지 않으신 임영욱 선생님과 바쁘신 가운데서도 세심한 지도와 조언을 해주신 이무춘 선생님께 머리 숙여 감사드립니다.

항상 좋은 말씀으로 지도해주신 신동천 선생님, 따뜻한 격려로 용기를 주신 이종태 선생님, 박성은 선생님, 많은 조언과 충고를 해주신 이보영 선생님과 조성준 선생님께 깊은 감사를 드리며, 환경보건이란 학문에 눈을 뜨게 해주신 박종안 선생님, 한성현 선생님, 손부순 선생님, 염윤기 선생님, 이종화 선생님께도 깊은 감사를 드리며, 제가 힘들 때 옆에서 많은 도움을 준 예신누나와 지연누나 형석형에게도 감사드립니다.

2년이 넘는 연구소 생활동안 많은 도움을 준 지영, 경숙, 명현, 효진이와 제가 힘들 때 많은 위로와 힘을 준 호현과 석재에게 고마움을 전하며, 짧은 만남이었지만 많은 일을 도와준 문기, 용진, 혁표, 종훈, 화성, 그리고 옆에서 많은 힘이되어준 민정이게 고마움을 전하며 저의 죽마고우인 윤기, 용석, 상우, 천국, 일호, 무일, 민, 기성, 승태에게 감사의 글을 올리고자 합니다.

마지막으로 저의 삶의 힘이 되어준 가장 소중한 가족들 할머니, 누나, 매형, 그리고 동생 승수와 어떠한 말로도 대신할 수 없는 끝없는 사랑을 베풀어주신 부모님께 감사의 마음과 함께 사랑과 존경의 마음을 전하며 이 글을 맺습니다.

2001년 6월

이창수 사룀

차 례

표 차 례

그 림 차 례

국 문 요 약

영일만은 동해안의 회유성 어류, 패류 및 해조류의 서식지로서 좋은 조건을 갖추고 있으며 양식장의 적지로서 수산업상 중요한 위치를 차지하였다. 그러나 포항제철을 비롯한 대규모 공업단지에서 배출되는 산업폐수와 지역주민에 의하여 배출되는 생활폐수 등 만내로 유입되는 오염물질의 절대량이 증가함에 따라 만내의 수질이 점차 악화되어, 만내 해역의 대부분이 Ⅱ, Ⅲ등급 해역으로 수질이 관리되고 있는 실정이다

본 연구의 궁극적인 목적은 항목간 수질오염도의 경중을 단순비교를 통해서는 해역의 복잡한 수질변동을 설명하기에는 너무 미흡한 부분이 많아 이를 해결할 수 있는 탐색적 요인분석을 사용하여 복잡·다양한 환경특성을 나타내는 영일만의 수질변동을 종합 평가하고자 한다

연구대상은 경상북도 포항시에 위치한 개방형만으로 연세대 환경공해연구소에서 1986년부터 현재까지 진행되고 있는 연구자료 중 1994년 1월부터 2000년 12월까지 2, 5, 8, 11월에 년 4회씩 조사된 결과로 수질오염공정시험방법으로 측정된 자료를 사용하였으며, 성층현상을 보이는 연안의 특성을 잘 설명할 수 있는 표층수 자료를 사용하였다.

분석대상 수질항목은 10개 항목으로 수질공정시험방법을 통하여 측정되었고, 자료의 분석은 SPSS 10.0 통계프로그램을 사용하여 요인분석을 수행하였다.

영일만은 육상으로부터 4계절동안 지속적인 영향을 받고 있고, 제 1요인은 인산계 영양염의 요인으로 볼 수 있고, 2요인은 질소계 영양염의 요인으로 볼 수 있고, 제 3요인은 오염물질을 포함한 부유물질에 의한 요인

으로 강우에 의해 유입되는 자연적인 요인으로 볼 수 있고, 제 4요인은 기후 변동의 요인으로 수온과 용존산소와 같은 물리적인 특성의 영향을 받는 요인이라고 볼 수 있다.

봄과 여름에는 유기물의 유입이 가장 큰 환경요인으로 판단되며, 가을에는 물질대사 요인으로, 겨울에는 기후변동이 가장 큰 환경요인으로 판단이 되며 측정지점에 대한 요인분석 결과 영일만의 해수유동 특성과 일치하고 있음을 알 수 있고, 내만의 지점 5와 7이 가장 큰 영향요인 지점으로 작용하였다.

해역에서 부영양화의 제한요소로 작용하는 질산염의 영일만해역의 농도는 부영양해역 발생을 위한 최소농도 0.013㎎/ℓ보다 0.022㎎/ℓ로 높게 나타났고 N/P비율은 18:1로 정상적인 해수에서 보여지는 비율이 15:1인 것을 감안하여 볼 때 부영양화를 초래할 수 있으리라 보여지며 영일만지역의 해수수질의 변동에 대한 인산염과 질산염등과 같은 영양염이 주요요인으로 나타났고 설명력 또한 높게 나타나 영일만의 해양오염지표로서 널리 이용되고 있는 COD보다 인산염과 질산염을 이용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

해역의 수질특성을 평가하는데 있어서 본 연구의 요인분석에 의한 평가시에 대상항목으로 선정한 이화학적인 수질항목과 영양염류 항목만으로는 해수수질의 변동을 종합적으로 해석하는데 부족한 점이 많았고, 총체적인 평가를 위해서는 생물학적 오염지표 항목들과의 연계연구를 통하여 종합적인 해석이 검토되어야 할 것이다.

Ⅰ. 서 론

최근 연안해역의 수질오염 문제는 지상에서의 산업활동에 의한 산업폐수 및 도시하수의 유입과 해상에서 유출되는 유류 등으로 날로 심각해져가고 있다.

이러한 해양오염 문제를 해석하기 위한 기본작업으로서 해수 오염실태 파악을 위한 조사가 실시되고 있으나, 오염의 형태가 다양하게 나타나고 변화가 심한 해양 시스템의 특성을 파악하는 것은 힘든 작업이다.

따라서 영일만과 같은 복잡 · 다양한 하구의 수질특성의 연구를 함에 있어 이러한 변동의 특성을 간단한 통계처리나 회귀분석만으로 판단하는 것은 미흡하다고 사료되며, 현장측정 관측치들의 단순 비교 · 분석뿐만 아니라 관측자료들을 대상으로 이를 집약된 항목으로 표현하는 요인분석을 통하여 오염요인추정의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

요인분석을 사용한 해석법은 한가지 이상의 변수들이 서로 상관관계를 맺고 있어서 직접적으로 해석하기 어려운 변수들간의 구조적 상관관계를 원래 변수보다 적은 수 즉, 주요상관관계를 나타내는 인자를 상정하여 분석하는 방법이다. 최근 복잡한 자연적인 수질환경의 영향인자를 분석하고 변동구조의 해명 등을 통한 수질의 종합적인 평가에 대하여 많은 연구가 호소나 하천은 물론 해역에서도 광범위하게 적용되고 있다.

연구 대상지역인 영일만은 동해안의 회유성 어류, 패류 및 해조류의 서식지로서 좋은 조건을 갖추고 있으며 양식장의 적지로서 수산업상 중요한 위치를 차지하였다. 그러나 포항제철을 비롯한 대규모 공업단지에서 배출

되는 산업폐수와 지역주민에 의하여 배출되는 생활폐수 등 만내로 유입되는 오염물질의 절대량이 증가함에 따라 만내의 수질이 점차 악화되어, 만내 해역의 대부분이 Ⅱ,Ⅲ등급 해역으로 수질이 관리되고 있는 실정이다(김헌덕, 2000).

영일만의 해양환경에 관한 조사연구는 교통부 수로국이 선박의 안전운행과 항만개발의 기초자료를 제공하기 위하여 해수유동에 대한 조사를 실시한(교통부, 1971)이래, 지속적인 조사가 이루어져 왔으며, 이종섭(1995)은 1989 1990년의 체계적인 관측자료를 토대로 영일만의 해수유동, 확산 및 형산강 유출수의 거동에 대한 기초자료를 제시하였다. 이외에도 영일만내에 위치한 포항제철소의 부지확장과 배출수에 의한 영일만 해양환경 변화를 조사, 분석하여 해양환경에 미치는 악영향을 사전에 예측하고 주변 해양환경의 안정성을 유지하기 위한 목적의 해양물리 및 생태환경에 대한 조사, 분석이 포항제철에 의하여 수 차례에 걸쳐 이루어 졌다.

지금까지의 조사와, 연구는 영일만의 해양학적 특성에 관한 연구를 중심으로 많이 진행이 되어있으나 영일만의 수질오염 요인파악과 그 특성규명에 관한 연구는 불충분한 상태이며, 영일만의 수질관리를 위해서는 영일만수질에 영향을 미치는 주된 요인들의 파악이 선행되어야 한다.

따라서 본 연구는 영일만의 합리적인 수질관리를 위한 기초적 연구로서 영일만의 주요수질변동요인을 찾아 수질특성의 종합적인 평가를 하고자 한다.

본 연구에서는 항목간 수질오염도의 경중을 단순비교를 통해서는 해역의 복잡한 수질변동을 설명하기에는 너무 미흡한 부분이 많아 이를 해결할 수 있는 탐색적 요인분석을 사용하여 복잡ㆍ다양한 환경특성을 나타내는

영일만의 수질변동을 종합 평가하고자 한다. 세부목적으로는

첫째, 영일만에서 현 오염현황의 연도별 변화를 파악하고,

둘째, 요인분석을 통하여 영일만의 수질변동의 특성을 파악하여 수질변동에 영향을 미치는 주요 요인을 찾아내고,

셋째, 각 지점의 요인 분석을 통하여 수질오염의 지점별 요인을 규명하고 요인분석에 따른 연구의 결과로부터 영일만의 수질특성을 규명한다.

Ⅱ. 연구내용 및 방법

1. 대상지역

가. 대상해역

본 연구의 대상지역인 영일만 하구해역은 영일만은 길이 12㎞, 폭 약 10㎞, 수면적 약 100㎢로서 크게 북동쪽으로 개만 외해에 접해있고 만내에서 만구로 갈수록 수심이 깊어져서 만구 부근에서는 외해의 영향을 직접 받고 있고, 형산강에서 흘러 들어오는 공장폐수를 함유한 하루평균 4만ton 정도의 담수가 영일만으로 흘러 들어오고 있다(최광호, 1993).

포항제철을 비롯한 대규모 공업단지에서 배출되는 산업폐수와 지역주민에 의하여 배출되는 생활폐수 등 만내로 유입되는 오염물질의 절대량이 증가함에 따라 만내의 수질이 점차 악화되는 실정이며, 연안의 적조 발생 현황을 살펴보면 95년 이후에 매년 발생하고 있다(김헌덕, 2000).

이 수역은 동해의 해류와 교류가 이루어지고 있으며 도시 생활권으로부터 배출되는 생활오수나 공장폐수의 영향뿐만 아니라 냉천과 형산강 담수의 유입으로 인하여 다양한 수문학적 특성을 가지는 지역이다. 또한 조수간만의 차가 작아 우리 나라의 다른 해역과 비교할 때 매우 약한편으로 관측되며 조류보다 해류의 유동상태가 우세한 지역이다.

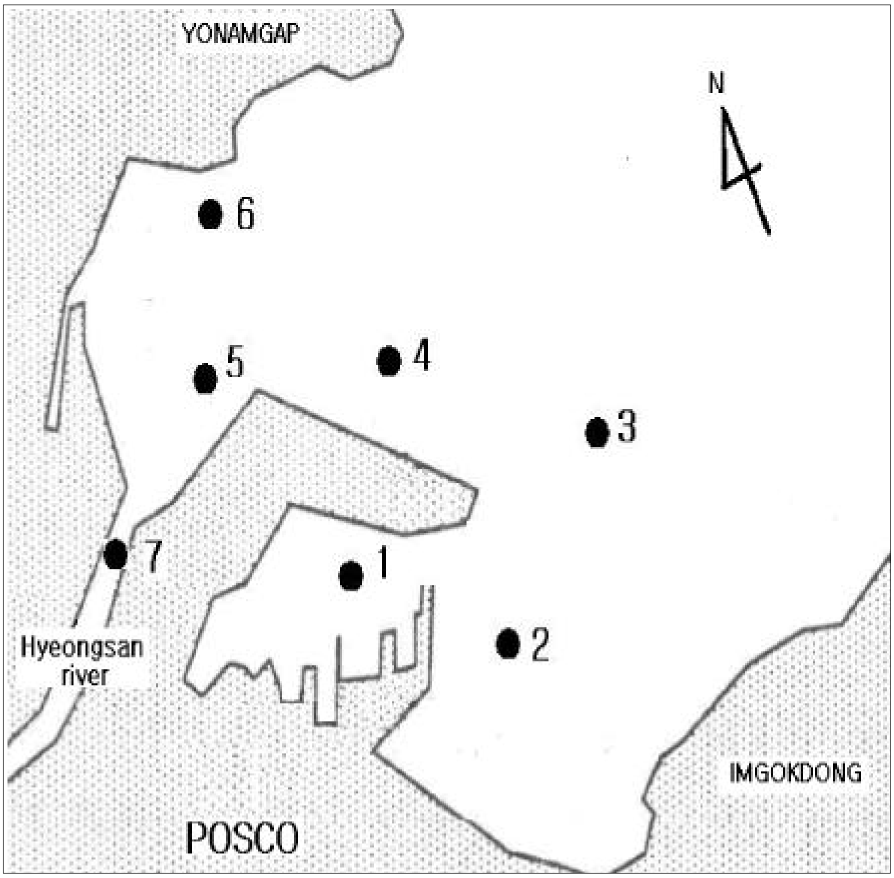

그림 1. **영일만의 조사정점 위치도**

나. 영일만지역의 현황 및 특성

1). 강수량

1994년부터 2000년까지의 총 강수량은 그림 2와 같고(통계청, 2001), 1998년에 가장 많은 강수량을 나타냈다. 월평균 변동을 살펴보면 강우는 주로 하절기에 집중되었다.

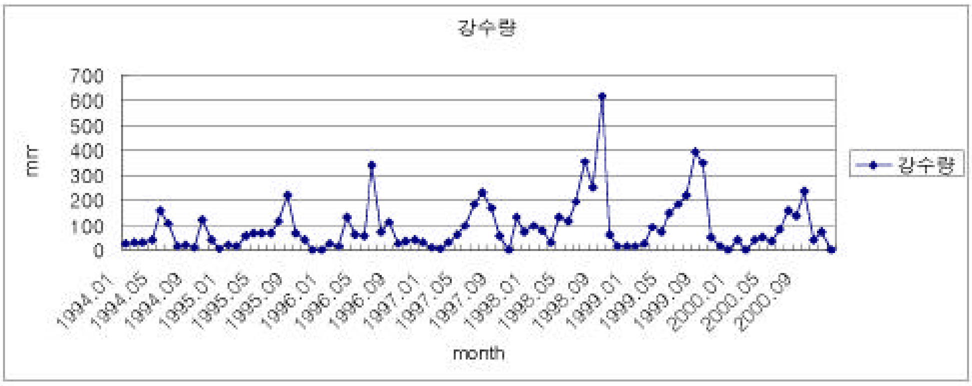

그림 2. 강수량의 계절적 변동

2) 지형

영일만은 동해안의 남쪽에 위치하고 있는 수면적 약 100㎢의 해만으로 행정구역상으로는 경상북도 포항시에 속한다. 일반적으로 영일만은 달만갑과 장기갑을 연결하는 선의 안쪽을 말하는데, 만의 폭은 약 10km이고 길이는 약 12km이며 거의 직사각형의 형태를 이루고 있다.

3) 해수유동

본 연구지역은 조차가 작기 때문에 유속도 우리 나라의 다른 해역과 비교 할 때 매우 약한 편이고, 관측된 유속은 20㎝/sec미만으로 아주 미약하며, 다른 해역에 비하여 조류가 해류보다 우세하다.

향류는 달만갑쪽에서 10㎝/sec로 만내에 유입하여 포항제철소 앞에 이르러 형산강물과 합류하여 장기갑 쪽으로 편향하여 10㎝/sec로 유출되고 있다(김헌덕, 2000).

영일만의 담수 유입에 따른 수직 성층화 형태는 10㎝/sec의 약한 유속으로 인하여 약혼합형의 형태라고 할 수 있고, 층간의 염도 변화가 매우 적은 북부해수욕장 부근에서부터 장기갑 까지를 연결한 부분까지 해수의 표층을 따라 담수의 흐름이 영향을 미친다고 할 수 있다.

4) 인구 현황

영일만에 직접적인 영향을 미치는 포항시와 형산강권역에 포함되는 경주시의 1994년부터 1999년까지의 인구변화는 표 1과 같다.

1995년 포항의 큰 인구증가 원인은 영일군과의 통합으로 인한 인구 증가를 나타냈고, 다른 연도에는 지속적으로 적은 인구증가를 나타내고 있다.

표 1. 영일만 유역의 인구변동

(단위 : 명)

연 도	포 항	경 주	합 계
1994	327,504	84,329	411,833
1995	510,867	87,505	598,372
1996	512,299	91,340	603,639
1997	512,953	94,725	607,678
1998	513,110	95,170	608,280
1999	514,523	96,664	611,187

자료 : 포항 · 경주시의 통계연보, 2000

5) 산업 현황

영일만에 영향을 주는 포항과 경주시의 폐수 배출 업소는 표 2와 같다. 포항시와 경주시의 폐수배출업소들은 1998년까지 증가된 것으로 나타났다.

표 2. 영일만 유역의 폐수배출업소 변동

(단위: 개)

Year	포 항						경 주						합 계
	1종	2종	3종	4종	5종	계	1종	2종	3종	4종	5종	계	
1995	-	-	8	17	261	286	1	1	3	23	196	224	510
1996	3	8	16	17	325	369	1	2	4	18	229	254	623
1997	4	7	22	21	344	398	1	2	4	15	257	279	677
1998	6	7	23	22	550	608	1	2	4	12	378	397	1005
1999	-	-	-	6	520	526	1	3	2	13	403	422	948

자료 : 포항 · 경주시의 통계연보, 2000

6) 축산업 현황

영일만에 영향을 주는 포항과 경주시의 축산업 현황은 표 3과 같다.

공업지역인 포항시에 비하여 경주시에서 더 많은 축산업이 행하여지고 있으며, 전체 사육수는 1996년 이후 큰 변동은 없었다.

표 3. 영일만 유역의 축산업 변동

(단위: 마리)

연 도	포 항				경 주				합 계
	한우	젖소	돼지	닭	한우	젖소	돼지	닭	
1995	14,407	2,927	31,134	268,708	74,763	10,716	52,316	1,711,083	2,166,054
1996	17,127	3,028	31,910	282,666	75,620	14,203	74,768	1,968,808	2,468,130
1997	18,015	3,257	40,063	250,544	70,839	15,096	85,005	1,926,307	2,409,126
1998	14,844	3,077	35,713	233,729	60,378	14,286	98,837	1,848,983	2,309,847
1999	24,889	3,080	38,866	204,697	52,836	13,367	94,943	2,028,457	2,461,135

자료 : 포항 · 경주시의 통계연보, 2000

7) 폐수발생현황 및 오염부하

영일만에 영향을 주는 포항과 경주시의 폐수발생현황은 표 4와 같다. 1997년까지 증가하는 경향을 나타냈으며, 1998년 이후 생활폐수와 포항공단의 산업폐수 방류량이 감소한 경향을 나타냈다. 산업폐수는 경주용강공단에 비하여 포항공단에서의 배출량이 더 많았다.

표 4. 영일만 유역의 폐수 발생량 변동

(단위 : ㎥/ 일)

	1995		1996		1997		1998	
	폐수 발생량	폐수 방류량	폐수 발생량	폐수 방류량	폐수 발생량	폐수 방류량	폐수 발생량	폐수 방류량
생활폐수	22,000	16,000	25,000	15,000	42,000	34,000	36,000	20,000
포항공단	1,726,591	174,760	1,774,196	173,950	223,823	159,998	181,401	141,348
포항철강 공단	-	-	-	-	-	-	450	383
경주용강 공단	1,688	1,483	1,748	1,535	1,747	1,505	3,580	3,408
합 계	1,750,279	192,243	1,800,944	190,485	267,570	195,503	221,431	165,139

자료 : 환경부. 99 오수 · 분뇨 · 축산폐수 통계 2000, 환경통계연감 2000.

영일만에서 담수유입원의 대부분을 차지하는 형산강수계의 오염발생 부하량은 표 5와 같다. 형산강수계의 오염발생 부하량을 살펴볼 때 COD는 산업폐수에서 가장 큰 오염발생 부하량을 나타냈고, T-N, T-P는 생활하수에서 가장 큰 오염발생 부하량을 나타냈다.

표 5. 영일만 유역의 오염발생 부하량

(단위 : ㎏/ 일)

	생활하수 (생활하수/N)	축산폐수 (축산폐수/N)	산업폐수 (산업폐수/N)	기 타 (기타/N)
COD	40687.1 (35.31%)	8190.2 (7.1%)	66203 (57.5%)	125.7 (1.2%)
T-N	5523.3 (75.4%)	1504.3 (20.5%)	198.2 (2.7%)	99.4 (1.4%)
T-P	1161.5 (71.1%)	272.3 (16.6%)	198.2 (12.1%)	3.5 (0.2%)

자료 : 한국수자원공사. 오염부하량, 1998

2. 수질측정

가. 수질조사

해역 수질오염은 해역의 성층화 특성에 따라 내만은 희석 및 확산이 느리기 때문에 연안지역에 누적되고 오염도가 증가하며, 해양오염은 인간의 활동에 의한 결과로서 야기되는데 이 오염 상태를 물리·화학적으로 설명할 수 있는 항목들 중 10개의 항목을 선정하였다.

요인분석을 위한 조사·분석항목은 수온(Temp), 수소이온농도(pH), 용존산소(DO), 화학적 산소요구량(COD), 부유물질(SS), 암모니아성질소(NH_3-N), 아질산성질소(NO_2-N), 질산성질소(NO_3-N), 총질소(T-N), 인산염인(PO_4-P)으로 연세대학교 환경공해연구소에서 1986년부터 현재까지 진행되고 있는 연구자료 중 1994년 1월부터 2000년 12월까지 7년간의 자료중 2, 5, 8, 11월에 연 4회씩 조사된 결과로 수질오염공정시험방법으로 측정된 자료를 사용하였으며, 성층현상을 보이는 연안의 특성을 잘 설명할 수 있는 표층수 자료를 사용하였다.

나. 수질의 이화학적 지표

수질오염은 물과 오염물질과의 관계에서 생물학적, 화학적, 물리학적 작용 등에 의해 복잡하게 구성되어 있으며, 오염의 형태가 다양하게 나타나고 매우 난해한 수질변동의 특성을 간단한 통계처리나 회귀분석만으로 판

단하는 것은 미흡하다고 사료되며, 현장측정 관측치들의 단순 비교·분석뿐만 아니라 관측자료들을 대상으로 이를 집약된 항목으로 표현하는 요인분석을 통하여 오염요인을 추정을 하기 위해 수질의 이화학적 지표가 되는 항목들을 사용하였다.

3. 수질측정자료의 요인분석(factor analysis)

요인분석(factor analysis)은 일련의 관측된 변수에 근거하여 직접 관측할 수 없는 요인을 확인하기 위한 것이다. 어떤 대상을 기술하기 위해서는 대상의 수많은 변수를 사용하여야 한다. 그러나 이러한 변수들의 바탕이 되는 몇 가지의 차원 혹은 요인을 확인할 수 있다면 대상의 기술이 훨씬 더 단순해질 것이다.

요인분석은 수많은 변수들을 적은 수의 몇 가지 요인으로 묶어줌으로써 그 내용을 단순화하는 것이 그 목적이다.

요인분석은 구체적으로 다음과 같은 목적으로 이용될 수 있다. 첫째. 변수들을 축소한다. 여러 개의 관련 있는 변수들이 하나의 요인으로 묶여지므로 많은 변수들이 적은 수의 요인으로 줄어들게 된다. 둘째, 불필요한 변수들을 제거한다. 요인에 포함되지 않거나 포함되더라도 중요도가 낮은 변수를 찾을 수 있으므로 불필요한 변수가 제거된다. 셋째. 변수들의 특성을 파악한다. 관련된 변수들이 묶여져 요인을 이루고 이들 요인들은 상호 독립적인 특성을 가지게 되므로 변수들의 특성이 밝혀진다. 넷째, 측정도구의 타당성을 판정한다. 하나의 특성을 측정하기 위해 관측된 변수들은 하나의

요인으로 묶여진다. 따라서, 이와 같은 특성을 이용하여 묶여지지 않은 변수는 서로 다른 특성을 가진다고 판단한다. 이것으로 그 특성의 측정도구가 타당한가를 판정할 수 있다.

가. 상관관계 검토

요인분석은 관련된 변수들을 서로 묶어주어야 하므로 변수들 간에는 적어도 하나 이상의 다른 변수와 높은 상관관계를 가지지 않으면 안 된다. 만일, 변수들 간의 상관관계가 낮다면 이것은 공통요인을 갖지 않는다는 것을 의미하므로 공통요인을 구하는 일이 어렵게 된다. 따라서, 변수들 간의 상관관계를 검토하는 일이 선행되어야 한다.

나. 요인추출

요인추출의 목적은 요인을 결정하는 것이다. 요인추출 방법에는 여러 가지가 있으나 일반적으로 관측된 요인의 선형결합인 주성분분석 (principal components analysis or component analysis)을 사용한다. 첫 번째의 주성분은 표본의 분산을 가장 많이 설명해주는 선형결합이며 다음은 첫 번째의 주성분과 무관한 분산을 가장 많이 설명해주는 선형결합이다. 이러한 방식으로 차례로 주성분을 구한다. 요인추출단계에서는 데이터를 가장 잘 기술하는 공통요인을 결정하게 되며, 고유치와 요인들에 의해 설명할 수 있는 분산의 비율을 고려하여 결정한다.

다. 요인 회전

요인추출단계에서 얻어진 요인행렬은 요인과 개별 변수간의 상관관계를 알려주지만 이 행렬로서 의미 있는 요인을 확인하기는 어렵다. 어떤 경우에는 변수들과 요인들이 해석 가능한 형태로 상관관계가 나타나지 않는가하면 어떤 경우에는 대부분의 요인들이 많은 변수들과 상관관계를 가진 것으로 나타나기도 한다. 그러므로, 초기의 행렬을 해석하기 쉬운 행렬로 회전시킬 필요가 있다. 회전이 목적은 단순구조를 달성시키는 것이다.

회전으로 인해 요인해의 적합도가 달라지지 않는다. 직교회전(Orthogonal rotation)을 위한 여러 가지 회전방법이 개발되어 있으나 가장 널리 사용되는 방법은 베리맥스(Varimax)법이다.

라. 요인점수

요인분석의 목적중의 하나는 변수의 수를 보다 적은 수의 요인으로 줄이려는 것이므로 각 케이스에 대한 요인점수를 추정하는 것이 바람직하며 이것은 여러 변수 대신에 요인을 사용한다는 뜻이 된다. 요인점수는 추가분석을 위해서 사용될 수 있다.

요인분석의 수리모형은 다중회귀식과 유사하다. 각 변수는 다음 수식과 같이 관측되지 않는 요인들의 선형결합으로 표시될 수 있다.

$$X_i = A_{i1}F_1 + A_{i2}F_2 + A_{i3}F_3 + \cdots + A_{ik}F_k + U_i$$

여기서 F_j : 공통요인

U_i : 변수 Xi 에만 관계된 요인

A_{ik} : k개의 요인을 결합하기 위해 사용되는 계수

한편, 각 요인들도 관측변수들의 선형결합으로 추정된다. 이는 다음 수식으로 나타낼수 있다.

$$F_j = \sum_{i=0}^{p} W_{ji}X_i = W_{j1}X_1 + W_{j2}X_2 + W_{j3}X_3 + \cdots + W_{jp}X_p$$

여기서, W_j : 요인점수의 계수

F_j : j 번째 요인

p : 변수의 수

본 연구에서는 영일만의 수질 특성을 지배하는 주요요인을 파악하기 위하여 연세대학교 환경공해연구소에서 조사된 1994년부터 2000년까지의 표층수의 자료를 사용하여 요인분석을 행하였으며, 보다 명확한 규명을 위하여 계절적 요인분석을 실시하여 주요요인을 추출하였고, 추출된 주요요인의 지점별 요인분석을 통하여 주된 영향요인 지점을 파악하였다. 요인분석은 통계프로그램인 SPSS 10.0을 이용하여 실시하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 해양수질의 연도별 변화

본 대상해역의 수질변동 요인의 특성을 규명하기 위한 변수의 특성을 파악하기 위해 시계열 변화를 검토하였다.

수온은 동절기에는 낮고 하절기에는 높은 계절적 특성이 뚜렷하게 나타났고, DO와 COD, SS는 항목간의 특성이 DO가 높았던 년도에는 COD, SS가 낮게 나타났고, DO가 낮게 나타난 년도에는 COD와 SS가 높게 나타나 항목간의 일반적 특성이 잘 나타났다. 질소계열들은 1996년 하절기에 다른 계절보다 높게 나타났고 특별한 계절적 특성은 없었으나 조금씩 증가하는 경향을 나타냈다. PO_4-P 또한 2000년 하절기에 다른 분기보다 높게 나타났고 증가하는 경향을 나타냈다. 또한 지점간의 특성이 잘 나타나고 있는데 지점 7이 다른 지점에 비하여 담수의 영향을 많이 받고 있다는 것을 보여주며 오염농도 분포 또한 높게 나타났다.

1994년부터 2000년까지의 각 항목별 시계열 분포는 그림 3 그림 19와 같다.

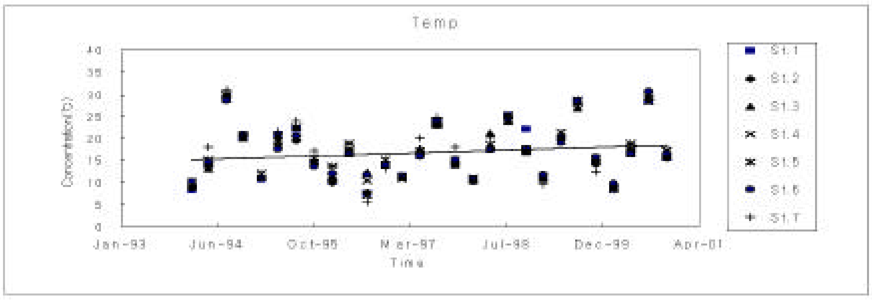

그림 3. **수온의 계절적 변동**

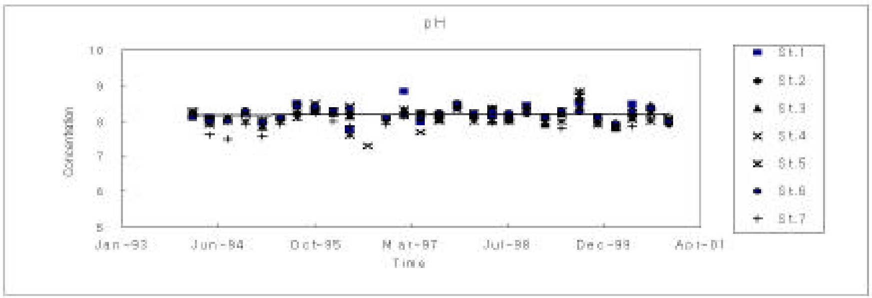

그림 4. pH**의 계절적 변동**

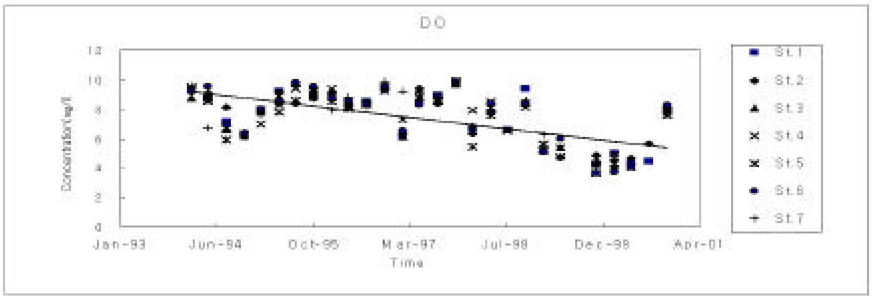

그림 5. DO**의 계절적 변동**

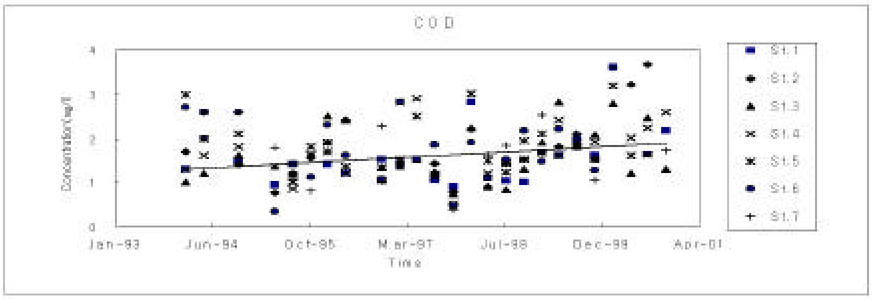

그림 6. COD의 계절적 변동

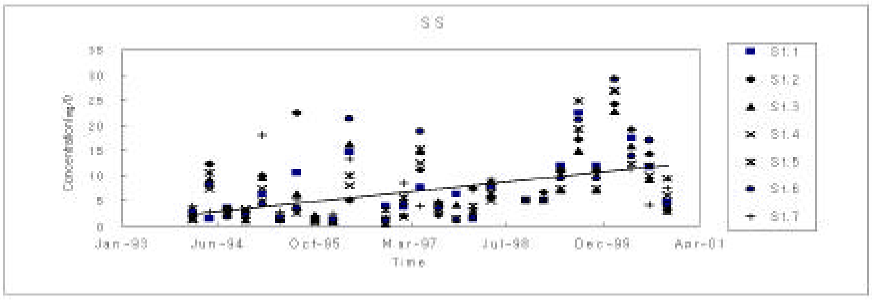

그림 7. SS의 계절적 변동

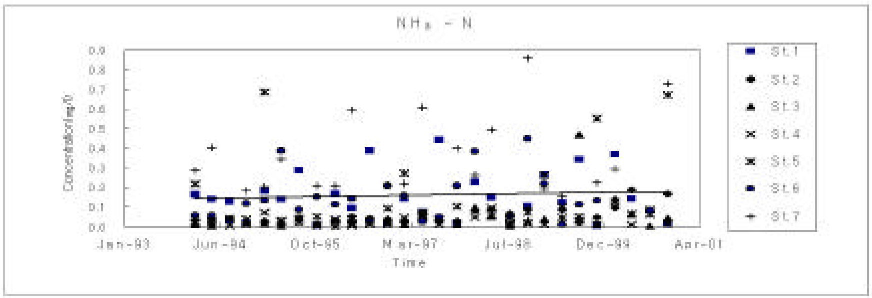

그림 8. NH_3-N의 계절적 변동

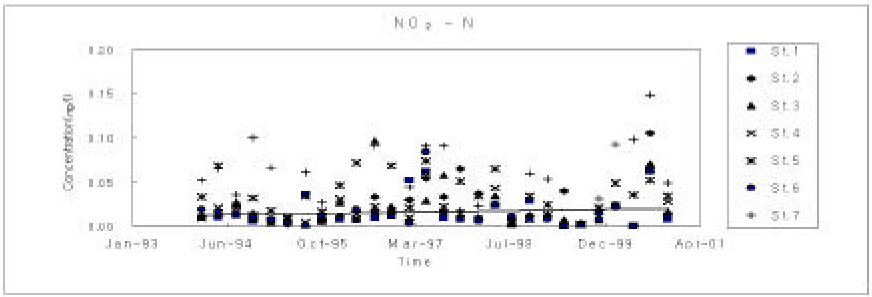

그림 9. NO_2-N**의 계절적 변동**

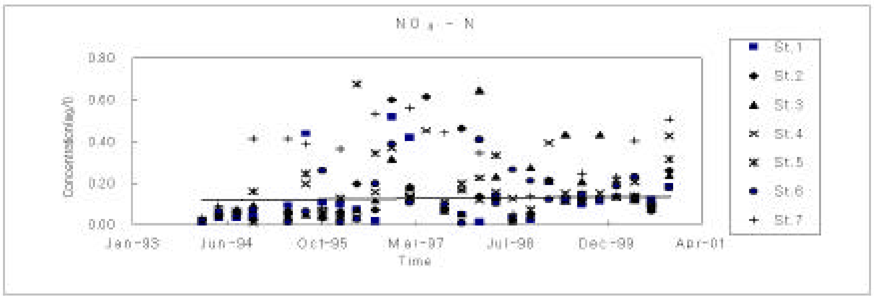

그림 10. NO_3-N**의 계절적 변동**

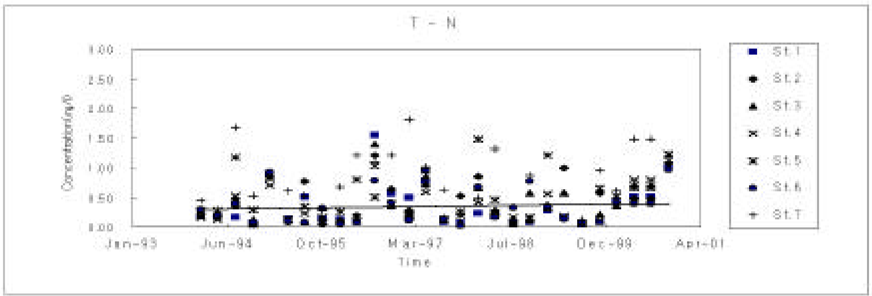

그림 11. T-N**의 계절적 변동**

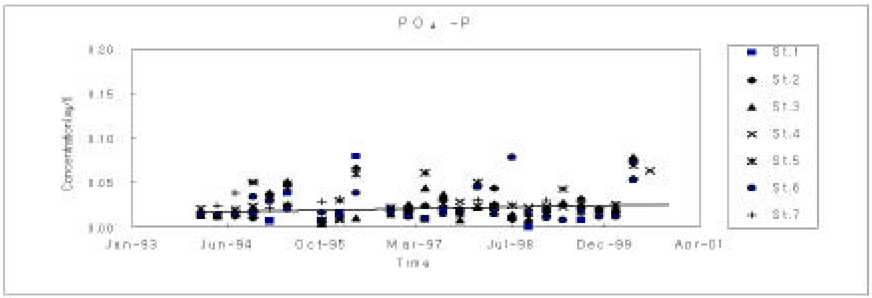

그림 12. PO_4-P**의 계절적 변동**

2. 요인분석

가. 수질오염 측정 항목간의 상관분석

수질항목간의 관계를 수치로 알아보기 위해 1994   2000년까지 측정된 10개 항목간의 단순행렬을 계산한 결과는 다음 표 6과 같다.

COD와 SS(r=0.398), COD와 NH_3-N(r=0.398) 그리고 NH_3-N과 T-N (r=0.670), T-N과 NO_2-N(r=0.457), NO_2-N와 PO_4-P(r=0.746), NO_3-N과 T-N (r=0.792)등이 정상관성을 나타냈고, DO와 COD(r=-0.301), DO 와 NH_3-N (r=-0.481), T-N(r=-0.567), pH와 NO_2-N(r=-0.711), pH와 PO_4-P (r=-0.878)등이 역상관성을 보였고, 나머지 항목들간의 상관관계는 그 다지 높지 않은 것으로 나타났다.

표 6. 수질오염 측정 항목간의 상관분석

Corr.	Temp	pH	DO	COD	SS	NH_3-N	NO_2-N	NO_3-N	T-N	PO_4-P
Temp	1.000									
pH	.209	1.000								
DO	-.078	.113	1.000							
COD	-.073	-.091	-.301	1.000						
SS	-.010	.040	-.238	.398	1.000					
NH_3-N	.049	-.107	-.314	.340	.110	1.000				
NO_2-N	-.093	-.711	-.056	.037	-.013	.154	1.000			
NO_3-N	-.227	-.155	-.044	.210	.069	.275	.358	1.000		
T-N	-.107	-.224	-.187	.352	.069	.670	.457	.792	1.000	
PO_4-P	-.105	-.878	-.052	.017	-.043	.058	.746	.096	.171	1.000

나. 영일만 근해의 요인분석

영일만의 수질변동의 주요요인을 파악하기 위하여 본 연구지역을 분석하였다.

10개 수질분석 대상 항목들로부터 요인분석을 수행하여 산출된 고유치(Eigen value)와 기여율은 표 7에 제시하였다. 고유값의 크기로 주요요인을 산정 하였고 고유값이 1보다 큰 요인 4가지를 선택하였다.

10개 요인중 고유치 1.0이상을 기준으로 제 1요인의 고유치는 3.20이고 기여율은 32.97%로서 이는 영일만 인근해역 수질 변동의 분산중에서 요인 1이 31.97%를 설명하고 있음을 의미한다.

요인 2부터 요인 4까지의 기여율(percentage of variance)은 20.77%, 13.31%, 10.82%로서 요인 1부터 요인 4까지의 누적기여율(Cumulative percentage)은 76.88%로서 영일만 인근해역의 수질변동분산을 76.88%까지 설명하고 있음을 알 수 있다.

요인 1은 PO_4-P, NO_2-N, 요인 2는 NH_3-N, T-N, NO_3-N, 요인 3은 SS, COD, 요인 4는 Temp로 추출되었다.

표 7. 영일만에 대한 요인들의 고유값과 누적 설명도

요 인	고유값		
	합 계	% 기여율	% 누적기여율
1	3.20	31.97	31.97
2	2.08	20.77	52.74
3	1.33	13.31	66.05
4	1.08	10.82	76.88

최초의 요인부하량(요인과 변량과의 상관계수)을 분석한 결과 요인 적재량이 특정요인에 높게 적재되어 있는지 여부를 판단하기 어려워 요인의 구조를 명확하게 하기 위하여, 직각 회전방식 중에서 Varimax 방식을 적용하여 특정 요인에 높게 적재시키고 나머지 요인들에는 낮게 적재시킴으로서 요인의 구조를 변화시켜 표 8과 같은 결과를 얻었다.

영일만의 수질변동의 주요요인 설명하는데 있어 추출된 주요 지표들은 요인 1에서는 PO_4-P, NO_2-N와 정(+)의 요인부하량을 나타내고 pH와 부(-)의 요인부하량을 나타냈고, 요인 2에서는 NH_3-N, T-N, NO_3-N와 정(+)의 요인부하량을 나타냈으며, 요인 3에서는 SS, COD와 정(+)의 요인부하량을 나타냈고, 요인 4에서는 Temp와 정(+)의 요인부하량을 나타냈고 DO와 부(-)의 요인부하량을 나타냈으며, 4개의 주 요인이 추출되었다.

표 8. 영일만 각 요인의 주요변수

	요 인			
	1	2	3	4
PO_4-P	0.96	-6.27×10^{-3}	-2.43×10^{-3}	-1.02×10^{-2}
pH	-0.94	-5.37×10^{-2}	-6.44×10^{-2}	8.41×10^{-2}
NO_2-N	0.84	0.313	-5.23×10^{-2}	-3.56×10^{-2}
T-N	0.18	0.95	0.12	-1.28×10^{-2}
NO_3-N	9.60×10^{-2}	0.83	-1.11×10^{-2}	-0.33
NH_3-N	4.38×10^{-2}	0.70	0.28	0.36
SS	-5.83×10^{-2}	-5.69×10^{-2}	0.80	-0.13
COD	4.51×10^{-4}	0.29	0.75	-6.75×10^{-2}
DO	-0.12	-0.12	-0.61	-0.41
Temp	-0.12	-8.78×10^{-2}	-8.79×10^{-2}	0.85

Varimax 방법에 의해 회전시킨 후의 새로운 요인들에 적재되어 있는 변수들의 적재 상태(Factor loading)는 그림 13부터 그림 16까지에서 보는 바와 같다. 그림 13.는 제 1요인과 제 2요인, 그림 14는 제 2요인과 제 3요인, 그림 15는 제 3요인과 제 4요인, 그림 16은 제 4요인과 제 1요인에 적재되어 있는 상태를 보여주고 있다.

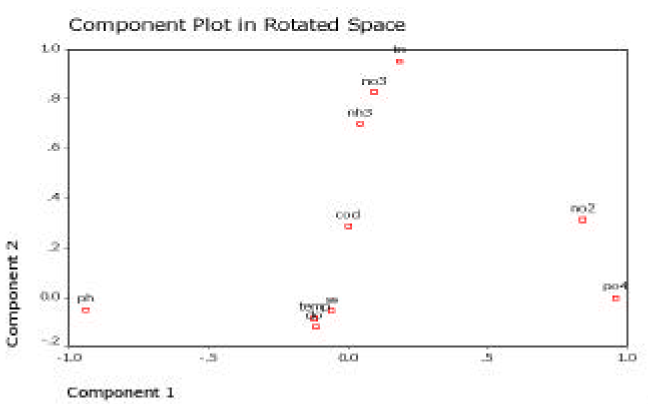

그림 13. 요인 1과 요인 2에 대한 요인적재상태

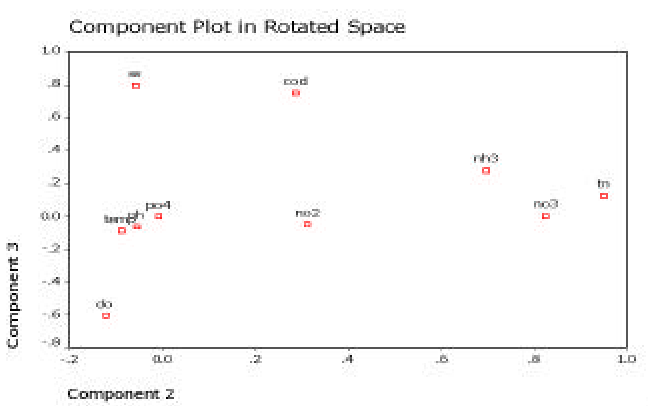

그림 14. 요인 2과 요인 3에 대한 요인적재상태

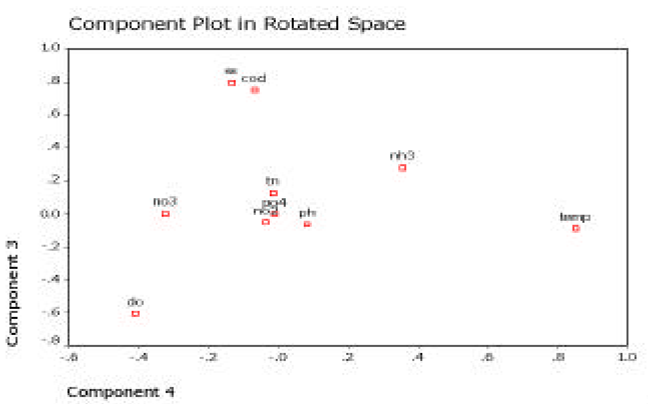

그림 15. 요인 3과 요인 4에 대한 요인적재상태

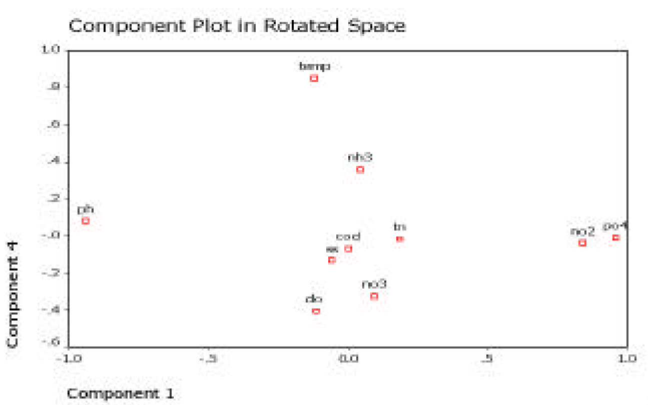

그림 16. 요인 4과 요인 1에 대한 요인적재상태

다. 영일만 근해의 계절별 요인 분석

영일만의 수질변동의 주요요인의 특성을 보다 명확하게 파악하기 위하여 계절별로 주요요인을 추출하였다.

봄에는 SS, COD와 정(+)의 요인부하량을 나타냈고, 여름에는 SS, NH_3-N, T-N, COD와 정(+)의 요인부하량, pH와 부(-)의 요인부하량을 나타냈고, 가을에는 pH와 정(+)의 요인부하량, PO_4-P와 부(-)의 요인부하량을 나타냈다. 또한, 겨울에는 Temp와 정(+)의 요인부하량, DO와 부(-)의 요인부하량을 나타냈고, 본 연구 지역에서는 수온, DO, T-N, COD, PO_4-P가 4계절동안 주요요인변수로 나타났다.

표 9. 계절에 각 요인의 주요변수

계 절	요 인(설명도%)	주요변수
봄	1(31.63)	T-N, COD, SS, NO_3-N, NO_2-N, -Temp,
	2(20.10)	pH,
	3(13.21)	PO_4-P, DO,
	4(9.61)	NH_3-N
여름	1(35.58)	NH_3-N, SS, -pH,
	2(28.06)	T-N, NO_3-N,
	3(9.18)	Temp, COD
	4(7.47)	NO_2-N, DO, -PO_4-P
가을	1(33.95)	DO, pH, NH_3-N, -PO_4-P
	2(24.33)	T-N, NO_3-N
	3(10.65)	COD, Temp,
	4(8.55)	SS, NO_2-N
겨울	1(28.76)	-DO, Temp, COD, PO_4-P
	2(19.79)	T-N, NO_3-N, -pH
	3(16.37)	NH_3-N, SS, NO_2-N

라. 영일만 주요요인에 대한 각 정점별 수질 항목의 요인 분석

영일만의 수질변동의 주요요인의 특성을 보다 명확하게 파악하기 위하여 추출된 영일만의 주요요인의 변수인 PO_4-P, T-N, SS, pH를 대상으로 7개 지점에 대한 요인분석을 실시하였다.

1) 요인 1에 대한 각 정점별 요인분석

7개 수질분석 대상 항목들로부터 요인분석에 의하여 산출된 고유치와 기여율은 표 10과 같다.

7개 요인중 고유치 1.0이상을 기준으로 제 1요인의 고유치는 3.32이고 기여율은 47.47%로서 요인 1의 주요변수 PO_4-P에 대한 수질변동의 분산 중에서 요인 1이 47.47%를 설명하고 있음을 의미한다.

요인 2의 기여율은 22.82%로서 요인 1부터 요인 2까지의 누적기여율은 70.29%로서 요인 1의 주요변수 PO_4-P의 수질변동분산을 70.29%까지 설명하고 있음을 알 수 있다.

또한, 요인 1의 주요변수 PO_4-P를 설명하는데 있어 추출된 주요요인들은 요인 1에서는 지점 1, 지점 5, 지점 6, 지점 7이며, 요인 2에서는 지점 2, 지점 3, 지점 4로 추출되었다.

표 10. 요인 1에 대한 요인들의 고유값과 누적 설명도

요 인	고유값		
	합 계	% 기여율	% 누적기여율
1	3.32	47.47	47.47
2	1.60	22.82	70.29

표 11. 요인 1에 대한 각 요인의 주요변수

지점	요 인	
	1	2
1지점	0.60	0.46
2지점	1.67×10^{-3}	0.86
3지점	0.30	0.58
4지점	0.13	0.88
5지점	0.84	0.45
6지점	0.83	0.25
7지점	0.79	-0.36

2) 요인 2에 대한 각 정점별 요인분석

7개 수질분석 대상 항목들로부터 정점별 요인분석에 의하여 산출된 고유치와 기여율은 표 12와 같다.

7개 요인중 고유치 1.0이상을 기준으로 제 1요인의 고유치는 4.09이고 기여율은 58.36%로서 요인 2의 주요변수 T-N 수질변동의 분산중에서 요인 1이 58.36%를 설명하고 있음을 의미한다.

요인 2의 기여율은 16.07%로서 요인 1부터 요인 2까지의 누적기여율은

74.44%로서 요인 2의 주요변수 T-N 수질변동분산을 74.44%까지 설명하고 있음을 알 수 있다.

또한, 요인 2의 주요변수 T-N를 설명하는데 있어 추출된 주요요인들은 요인 1에서는 지점 1, 지점 2, 지점 3, 지점 4, 지점 5, 지점 6지점이며, 요인 2에서는 지점 7로 추출되었다.

표 12. 요인 2에 대한 요인들의 고유값과 누적 설명도

요 인	고유값		
	합 계	% 기여율	% 누적기여율
1	4.09	58.36	58.36
2	1.13	16.07	74.44

표 13. 요인 2에 대한 각 요인의 주요변수

지점	요 인	
	1	2
1지점	0.74	0.39
2지점	0.88	5.41×10^{-2}
3지점	0.90	0.33
4지점	0.77	0.55
5지점	0.59	-4.87×10^{-2}
6지점	0.82	-7.84×10^{-2}
7지점	-2.66×10^{-3}	0.94

3) 요인 3에 대한 각 정점별 요인분석

7개 수질분석 대상 항목들로부터 요인분석에 의하여 산출된 고유치와 기여율은 표 14와 같다.

7개 요인중 고유치 1.0이상을 기준으로 제 1요인의 고유치는 4.68이고 기여율은 66.83%로서 SS 수질변동의 분산중에서 요인 1이 66.83%를 설명하고 있음을 의미한다.

요인 2의 기여율은 15.14%로서 요인 1부터 요인 2까지의 누적기여율은 81.97%로서 SS 수질변동의 분산을 81.97%까지 설명하고 있음을 알 수 있다.

또한, SS를 설명하는데 있어 추출된 주요요인들은 요인 1에서는 지점 2, 지점 3, 지점 4, 지점 5, 요인 2에서는 지점 1, 지점 6, 지점 7로 추출되었다.

표 14. 요인 3에 대한 요인들의 고유값과 누적 설명도

요 인	고유값		
	합 계	% 기여율	% 누적기여율
1	4.68	66.83	66.83
2	1.06	15.14	81.97

표 15. 요인 3에 대한 각 요인의 주요변수

지점	요 인	
	1	2
1지점	0.42	0.84
2지점	0.82	0.22
3지점	0.86	0.38
4지점	0.93	0.24
5지점	0.91	0.24
6지점	0.49	0.68
7지점	8.04×10^{-2}	0.88

4) 요인 4에 대한 각 정점별 요인분석

7개 수질분석 대상 항목들로부터 요인분석에 의하여 산출된 고유치와 기여율은 표 16과 같다.

7개 요인중 고유치 1.0이상을 기준으로 제 1요인의 고유치는 4.33이고 기여율은 61.78%로서 요인 4의 주요변수 pH 수질변동의 분산중에서 요인 1이 61.78%를 설명하고 있음을 의미한다.

요인 2의 기여율은 15.39%로서 요인 1부터 요인 2까지의 누적기여율은 77.17%로서 요인 4의 주요변수 pH수질변동의 분산을 77.17%까지 설명하고 있음을 알 수 있다.

또한, 요인 4의 주요변수 pH를 설명하는데 있어 추출된 주요요인들은 요인 1에서는 지점 2, 지점 3, 지점 4, 지점 6으로 요인 2에서는 지점 1, 지점 5, 지점 7로 추출되었다.

표 16. 요인 4에 대한 요인들의 고유값과 누적 설명도

요 인	고유값		
	합 계	% 기여율	% 누적기여율
1	4.33	61.78	61.78
2	1.08	15.39	77.17

표 17. 요인 4에 대한 각 요인의 주요변수

지점	요 인	
	1	2
1지점	0.50	0.67
2지점	0.69	0.48
3지점	0.74	0.51
4지점	0.87	7.25×10^{-2}
5지점	6.22×10^{-2}	0.94
6지점	0.92	0.24
7지점	0.30	0.74

Ⅳ. 고 찰

영일만 지역은 약한 유속의 흐름을 가지는 개방형만으로 포항시와 경주시에 의해 영향을 받는 지역으로 지속적인 인구증가와 폐수배출업소들의 증가를 나타내고 있는 지역이며 1997년까지 지속적인 폐수방류량의 증가를 나타내고, 1998년 이후에 생활폐수와 포항공단의 폐수방류량이 감소하는 경향을 나타냈다.

영일만 해역의 수질변동을 살펴보면 영일만의 수질은 그림 3 그림 12에서처럼 계절에 따른 약간의 변동을 나타내며 1994년 1월부터 2000년 12월까지 점차적으로 오염도가 증가하는 방향을 나타내고 있으며 오염도가 높게 나타난 지점은 7지점으로 형산강의 말단부분으로 영일만에 유입되는 가장 주된 담수 경로이다.

복잡·다양한 환경특성을 지니는 영일만의 수질변동을 종합적으로 평가하고자 탐색적 요인분석을 사용하였다.

탐색적 요인분석을 실시하여 얻어진 결과 고유치(Eigen value) 1.0을 기준으로 그이상의 고유치를 가지는 요인들을 선택하였고, 요인 1 요인 4까지의 누적기여율(Cumulative percentage)은 65.86%로 영일만 근해의 65.86%를 설명하고 있음을 의미한다.

제 1요인은 "인산계 영양염의 요인"이라고 할 수 있으며, PO_4-P와 높은 정(+)의 요인부하량을 나타내고 있으며 pH와 높은 부(-)의 요인부하량을 나타내고 있는데 이는 PO_4-P는 낮은 pH특성을 보이는 담수에 의한 영향으로 형산강, 냉천과, 항구동의 주변에 있는 하수로에 의한 영향을 받고 있

음을 설명하고 있다.

제 2요인은 “질소계 영양염의 공급요인”이라고 할 수 있으며 pH와 역(-)상관을 나타내며 질소계 영양염과 높은 정(+)의 요인부하량을 보이고 있기 때문이다. 이것은 낮은 pH특성을 보이는 담수에 의한 영향으로 형산강, 냉천과, 항구동의 주변에 있는 하수로에 의한 영향을 받고 있음을 설명하고 있다.

제 3요인은 “오염물질을 함유한 부유물질에 의한 요인”이라고 할 수 있으며, SS와 COD와 높은 정(+)의 요인부하량을 나타내고 있으며 또한 DO와 높은 부(-)의 요인부하량을 나타내고 있는데 이는 오염물질에 따른 산소의 산화에 의한 영향으로 설명할 수 있으며, 또한 하절기에 집중되는 강우에 의한 유입에 매우 큰 영향을 받는 것으로 생각된다. 또한 NH_3-N형태에서 NO_2-N, NO_3-N의 형태로 변화하는 데에는 많은 시간이 소요되는데 NH_3-N 에 비하여 NO_2-N, NO_3-N의 요인부하량이 상대적으로 낮은 사실도 단기간에 유입된 강우에 의한 자연적인 요인임을 시간적으로 시사하고 있다.

제 4요인은 “기후변동의 요인”이라고 할 수 있으며 온도와 정(+)의 요인부하량을 나타내고 있으며, DO와 높은 부(-)의 요인부하량을 보이고 있기 때문이다. 수온의 계절적 변화와 그에 따른 용존산소 포화농도의 변동을 설명하는 요인이다.

또한 기여율이 31.97%인 요인 1과 기여율이 20.77%인 요인 2에서 영양염류에 의한 전체 수질변동의 많은 부분을 설명할 수 있는 것은 영일만의 적조 발생 가능성이 높다는 것을 설명하며, 1995년 이후 적조현상이 매년 발생하고 있는 현상(수산진흥원, 2000)과 일치하고 있다.

영일만의 수질변동의 주요요인의 특성을 보다 명확하게 파악하기 위하여 계절별로 주요요인을 추출하였다.

계절별 요인분석결과 질소 계열중 NH_3-N는 하천이나 담수로부터의 유입이나 식물성 부유생물의 대증식후 질소계 영양염류류의 재생산으로 인해 해수로 유출이 되지만 여기에서는 4계절동안 지속적인 요인으로 작용하는 것을 미루어 볼 때 담수의 유입으로 인한 영향을 지속적으로 받고 있음을 알 수 있다.

봄에는 SS, COD와 정(+)의 요인부하량으로 유기물의 유입이 가장 큰 환경요인으로 판단되며, 여름에도 SS, NH_3-N, T-N, COD와 정(+)의 요인부하량, pH와 부(-)의 요인부하량으로 강우에 의한 담수성 유기물의 유입이 가장 큰 환경요인으로 판단된다. 가을에는 pH와 정(+)의 요인부하량, PO_4-P와 부(-)의 요인부하량으로 물질대사 요인으로 판단되며, 식물플랑크톤의 영양염 작용으로 인을 섭취하여 성장함으로써 pH가 상승하는 현상을 설명한다.

겨울에는 Temp와 정(+)의 요인부하량과 DO와 부(-)의 요인부하량으로 기후변동이 가장 큰 환경요인으로 판단이 된다.

영일만 수질변동의 주요요인에 많은 영향을 미치는 지점간 분포를 명확하게 파악하기 위하여 추출된 영일만의 주요요인 PO_4-P, T-N, SS, pH를 대상으로 7개 지점에 대한 요인분석을 실시하였다.

요인 2의 주요변수 T-N의 측정지점에 대한 요인분석 결과, 형산강의 주된 영향을 받는 지점 7이 요인 2로 나타난 것으로 미루어 항구동에서 영일만으로 유입되는 하수로 지점 5의 영향이 더 큼을 알 수 있다.

요인 1과 요인 3의 주요변수 PO_4-P, SS의 측정지점에 대한 요인분석

결과 5, 6, 7지점의 영향이 더 큼을 알 수 있다.

또한 기후변동요인으로 볼 수 있는 요인 4의 주요변수 pH의 측정지점에 대한 요인분석 결과 2, 3, 4, 6지점이 주요요인으로 분석이 되었으나, 이는 pH가 부(-)의 요인부하량을 나타낸 점을 고려하면 1, 5, 7지점의 영향이 더 큼을 알 수 있다.

영일만의 주요요인에 따른 측정지점에 대한 요인분석 결과 영일만에 주된영향을 주는 지점은 지점 5, 7이며, 영일만의 해수유동을 관계지어 분석해보면 달만갑쪽에서 만내로 유입하여 포항제철소 앞에 이르러 형산강물과 합류하여 장기갑 쪽으로 편향하여 유출되는 영일만의 특성(김헌덕, 2000)과 일치하고 있음을 알 수 있었다.

질산염은 적을 때는 활발한 해양 생산이 이루어지지 않아 빈 영양화해역을 이루고, 이와 반대로 많은 양의 생물학적 특성을 발현하는 주요 요인이 되며 또한 적조현상과 직결되어 해양 생산을 저해하고 바다를 황폐화시키는 결정적인 요인이 되는 것이다. 영일만의 질산염 농도는 부영양해역 발생을 위한 최소농도 0.013㎎/ℓ(일본수산자원보호협회, 1972)보다 높은 0.022㎎/ℓ로 높게 나타났고 N/P비율은 18:1로 정상적인 해수에서 보여지는 비율 15:1(조은영, 1999)보다 높게 나타난 것을 감안하여 볼 때 부영양화를 초래할 수 있으리라 보여지며 영일만지역의 해수수질의 변동에 대한 인산염과 질산염등과 같은 영양염이 주요요인으로 나타났고 설명력 또한 높게 나타나 영일만의 해양오염지표로서 널리 이용되고 있는 COD보다 인산염과 질산염을 이용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

Ⅴ. 결 론

영일만 지역은 약한 유속의 흐름을 가지는 개방형만으로 포항시와 경주시에 의해 영향을 받는 지역으로 지속적인 인구증가와 폐수배출업소들의 증가를 나타내고 있는 영일만 해역에 대하여 수질 특성을 지배하는 주요요인을 파악하기 위하여 연세대학교 환경공해연구소에서 조사된 1994년부터 2000년까지의 표층수의 자료를 사용하여 요인분석을 행하였으며, 보다 명확한 규명을 위하여 계절적 요인분석을 실시하여 주요요인을 추출하였고, 추출된 주요요인에 대하여 지점별 요인분석을 통하여 주된 영향요인 지점을 파악하였다.

분석대상 수질항목은 10개 항목으로 소수의 새로운 요인들로 요약하고 요인간의 특성을 검토함으로써 영일만해역의 수질변동에 대한 종합적인 평가를 실시하였고 그 결과는 다음과 같다.

1. 영일만 근해지역에 대한 탐색적 요인 분석결과는 4가지 요인으로 추출되었으며 제 1요인의 기여율은 31.974%로서 이는 영일만 인근해역 수질변동의 분산중에서 요인 1이 31.974%를 설명하고 있음을 의미한다. 또한 요인 2부터 요인 4까지의 기여율은 20.766%, 13.311%, 10.824%로서 요인 1부터 요인 4까지의 누적기여율은 76.876%로서 영일만 인근해역의 수질변동분산을 76.876%까지 설명하고 있음을 알 수 있다.

2. 영일만은 육상으로부터 4계절동안 지속적인 영향을 받고 있고, 제 1

요인은 인산계 영양염의 요인으로 볼 수 있고, 2요인은 질소계 영양염의 요인으로 볼 수 있고, 제 3요인은 오염물질을 포함한 부유물질에 의한 요인으로 강우에 의해 유입되는 자연적인 요인으로 볼 수 있고, 제 4요인은 기후 변동의 요인으로 수온과 용존산소와 같은 물리적인 특성의 영향을 받는 요인이라고 볼 수 있다.

3. 계절별 요인분석을 살펴본 결과 전 계절에 질소계열과 인계열의 영양염류들이 큰 환경요인으로 작용하는 것으로 판단되며, 하천의 유입에 의해 지속적인 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 봄과 여름에는 유기물의 유입이 가장 큰 환경요인으로 판단되며, 가을에는 물질대사 요인으로, 겨울에는 기후변동이 가장 큰 환경요인으로 판단이 된다.

4. 영일만의 주요요인 PO_4-P, T-N, SS, pH의 측정지점에 대한 요인분석 결과와 영일만의 해수유동을 관계지어 분석해보면 달만갑쪽에서 만내로 유입하여 포항제철소 앞에 이르러 형산강물과 합류하여 장기갑 쪽으로 편향하여 유출되는 영일만의 특성과 일치하고 있음을 알 수 있고, 내만의 지점 5와 7이 가장 큰 영향요인 지점으로 작용하였다.

5. 해역에서 부영양화의 제한요소로 작용하는 질산염의 영일만해역의 농도는 부영양해역 발생을 위한 최소농도 0.013㎎/ℓ보다 0.022㎎/ℓ로 높게 나타났고 N/P비율은 17.9:1로 정상적인 해수에서 보여지는 비율이 15:1 (조은영, 1999)인 것을 감안하여 볼 때 부영양화를 초래할 수 있으리라 보여지며 영일만지역의 해수수질의 변동에 대한 인산염과 질산염등과 같은

영양염이 주요요인으로 나타났고 설명력 또한 높게 나타나 영일만의 해양 오염지표로서 널리 이용되고 있는 COD보다 인산염과 질산염을 이용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

해역의 수질특성을 평가하는데 있어서 본 연구의 요인분석에 의한 평가 시에 대상항목으로 선정한 이화학적인 수질항목과 영양염류 항목만으로는 해수수질의 변동을 종합적으로 해석하는데 부족한 점이 많았다. 그러므로 총체적인 평가를 위해서는 생물학적 오염지표 항목들과의 연계연구를 통하여 종합적인 해석이 검토되어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

국립환경연구원, 폐수배출시설 표준원단위 조사연구, 1997

경주시, 하수도통계연보, 2000

기상청, 기상연보, 1994 2000

곽희상. 가을철 영일만 해수중의 철분량과 그 분포, 한국해양학회지 1977; (1) : 48 53

곽희상. 가을철 영일만수괴의 일반해양학적 특성, 한국해양학회지 1976; (11) : 9 95

김덕헌, 영일만의 유동과 수질특성에 관한 연구, 부산대학교 대학원 석사학위 논문2000

김진재, 다변량해석에 의한 부산 남해항연안의 부영양화에 관한 연구, 부산대학교 대학원 석사학위 논문, 1999

이근광, 수계환경오염개론, 동화기술, 1997

이종섭, 김차겸, 김종화등, 영일만의 해수유동 구조 및 확산특성 한국해양학회지, 1995; (30) : 467 479

이흥주, 주성분 분석에 의한 인천 연안수질의 평가, 연세대학교 보건대학원 석사학위 논문, 1990

정충영, 최이규, SPSSWIN을 이용한 통계분석, 신광문화사, 1998

장주형, 다변량 해석법에 의한 낙동강하구해역 특성평가, 부경대학교 대학원 석사학위 논문, 1999

조은영, 영일만 영안의 수질환경과 식물플랑크톤, 전남대학교 대학원 석사

학위논문, 1999

최강호, 영일만의 해양학적 특성, 부경대학교 대학원 석사학위 논문, 1993

최영광, 다변량 해석에 의한 마산만 하층수의 수질평가, 1993

포항시, 통계연보, 2000

한상복, 영일만 해수의 광학적 특성, 한국해양학회지 1974; (9) : 59 64

환경부, 오수 · 분뇨 · 축산폐수 통계, 1997 2000

환경부, 환경통계연감, 1996 2000

환경부, 하수처리통계, 1999

Bock. M. T, Miller*. B. S, and Bowman. A. W, Assessment of eutrophication in the Firth of Clyde : Analysis of coastal water data from 1982 to 1996, 1999

Boente. G, Larumbe. A, Monserrat. J, Multivariate statistical analysis of water sorption data of Argentine Sorghum. Food Engineering 1995; 73-84

Ftta. D, Haralambous. K. J, et al, An evaluation of the pollution level in Saronic Gulf waters, J. Enviorn. Sci. Health, 1997; A32(8) : 2403 -2414

Gonzalez-Mazo*. E, Pajares. J, Gomez-Parra. A, The processes involved in the hydrochemistry and environmental quality of a littoral system(bay of cadiz, Spain): a case study using factor analysis, 1998

Morales. M.M, Marti. P, An environmental study by factor analysis of surface seawater in the Gulf of Valencia, Analyica. Chimica, Acta

1999; 109-117

Schmolke. S. R, broeg. K, Multivariate statistical approach to the temporal and spatial pattern of selected bioindicators observed in the north sea during the years 1995-1997, Helgol Mar Res 1999; 257-266

Watanen. P, Factor analysis of the impact of the environment on microbal communities in the Tvarminnee area, southern coast of Finland, Env. Microbiol 1980; 55-61

Worral. F, Burt. T. P, A univariate model of river water nitrate time series, Journal of Hydrology 1998; 24-32

ABSTRACT

Evaluation of Youngil coastal area water quality characteristics using Factor analysis

Chang-Su YI
Department of Environmental Science
Graduate School of
Health Science and Management
Yonsei University

(Directed by Professor Yong Chung, Ph.D)

The quality of water in Youngil coastal area is getting worse due to the sewage and waste water from the surrounding industrial complex.

It is not sufficient to evaluate variation of complex and diverse marine water quality characteristics merely by basic statistical approach and simple regression. on the contrary, the Factor analysis method is an useful tool to evaluate of water quality characteristics.

In this study 10 items of surface water quality of Youngil coastal area were analyzed and samples were done four times a year periodically from January 1994 to December 2000

From the factor analysis, cumulative percentage of variance from Factor Ⅰ to Factor Ⅳ was 76.876%. Factor Ⅰ was artificial pollution pattern by domestic sewage and determined as phosphorous. Factor Ⅱ was artificial pollution pattern by domestic sewage and industrial farms determined as nitrogen Factor Ⅲ was artificial pollution pattern by industrial wastewater and determined as chemical oxygen demand Factor Ⅳ was physical property pattern and determined as temperature and dissolved oxygen.

The main factors are organic matters inflow patterns in spring and summer, metabolism pattern in autumn and change of climate in winter. in addition, From the factor analysis for sampling site, the main factor are site 7, 5

Normally, the criteria COD has used for typical marine pollution index. but it is not practical to use COD for Youngil bay because the main factors were identified as phosphorus and nitrogen. therefor, these are marine pollution index is better than COD

It is not sufficient to evaluate water quality in Youngil coastal area by a few kind of physiochemical items and nutrient items. therefore biological study consider to generate comprehensive results.