

최 중
연구보고서

돌망태를 이용한 수리구조물 개발 연구
Development of Hydraulic structure using Gabion

2001. 11

연 구 기 관
농업기반공사 농어촌연구원

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “돌망태를 이용한 수리구조물 개발 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2001. 11. .

주관연구기관명 : 농어촌진흥공사

총괄연구책임자 : 박 상 현

연 구 원 : 박 광 수

연 구 원 : 황 종 서

연 구 원 : 천 만 복

연 구 원 : 김 원 장

연 구 원 : 민 상 기

연 구 원 : 박 미 현

연 구 원 : 김 형 중

참 여 기 업 : 동림철강주식회사

삼정철망주식회사

요 약 문

I. 제 목

돌망태를 이용한 수리구조물 개발 연구

II. 연구 개발의 목적 및 중요성

돌망태는 조약돌이나 깬돌을 망태에 담아서 만든 축조재료로서 하천과 해안의 수리구조물로서 널리 활용되고있는 추세에 있다. 우리나라에서는 조선 시대에 이미 강화도 간척공사의 물막이 축조재료로 돌망태를 활용한 기록이 있으며, 현대적인 간척사업에서도 돌망태는 조수 흐름이 빠른 끝물막이 공사에서 가장 중요한 축조재료이다. 재료공학의 발달에 따라서 망태재료는 지금까지 사용되던 새끼줄이나 철선 뿐 만 아니라 피복 철선과 화학 재료의 망태 재료가 개발되어 활용되고 있다. 그러나, 돌망태의 우수 중 안전한 적정한 규모 설정과 환경 보존적 기능 및 내구성 등에 관한 연구는 미흡한 편으로서 수리, 환경 및 재료공학 분야의 세부적이며 체계적인 연구가 요망된다. 이에 대하여 본 연구는 우선 수리 재료 공학적인 관점에서 돌망태의 우수 중 이동 안정성을 규명하여 항구적이고 간편한 수리구조물로서 확대하여 보급코자 한다. 또한, 경제·산업적 관점에서 소형 석재 또는 재활용이 가능한 재료 등을 활용한 망태형 수리구조물을 개발하여 대형 석재와 콘크리트 등의 인공 재료에 대한 공사비 절감 및 산업 재료의 효율적 활용을 도모코자 한다. 그리고, 사회·문화적 관점에서 천연 석재를 사용하므로써 생태 환경을 개선한 환경 친화적인 공간을 확보하는 방안을 도출코자 한다.

III. 연구 개발 내용 및 범위

- ◆ 돌망태의 유수중 이동안정 및 방파제 월파안정 수리모형시험
- ◆ 해안 방파제와 제수공의 피복구조물 적용성 검토
- ◆ 방조제 바닥보호공 적용규모 도출 및 실용화
- ◆ 해안 어족자원 보존을 위한 돌망태 어초 개발
- ◆ 해안 및 하천 돌망태 구조물의 미생물 서식 및 생태 환경 조성
- ◆ 돌망태를 이용한 용배수로 낙차공
- ◆ 하천의 직립형 돌망태 제방
- ◆ 녹화토양 혼합 돌망태 제방 개발
- ◆ 염수와 담수에서 부식 저항력이 큰 돌망태 재료 발굴
- ◆ 기타 망태형 구조물 개발 및 실용화 보급

IV. 연구개발 결과 및 활용에 관한 건의

국토가 협소하고 천연자원이 부족한 우리 나라의 형편상, 하천과 해안 수리구조물 설치 및 보수 관리에 있어서 대규모의 천연석재는 이미 고갈되어 가고 있으며, 콘크리트 구조물은 생물의 서식과 부착기능이 열악하다. 이에 비하여 돌망태는 깎돌이나 조약돌 등 소형 재료로서 유수에 안정성이 높으며 경제적인 뿐만 아니라 하천이나 해안에 서식하는 조류나 어류 및 미생물의 쾌적한 서식 환경을 제공한다. 이러한 수리 구조 및 환경적인 돌망태의 기능에 관한 본 연구 결과를 활용하는데 건의할 사항은 다음과 같다.

1. 해안수리구조물의 돌망태 이용

- 방조제 물막이에 사용되어온 돌망태의 안정성을 검토한 결과, 돌망태는

석재에 비하여 전단강도가 3배나 크며, 유속에 대한 저항력도 1.4배 이상이다. 그러나, 석재에 비하여 공사비가 고액 소요되므로 흐름이 빠른 구역을 대상으로 집중 배치토록 요망된다. 본 연구는 유속과 수위 별로 적정 규모의 돌망태를 투하하도록 도식화하였으며, 투하재료의 이동 궤적에 관한 수치모델은 방조제 물막이 구간에서 돌망태의 투하시공의 정확성을 높이며 유실 방지에도 기여할 것으로 판단된다.

○ 돌망태 어초의 안정성에 관한 수리모형실험 결과, 유속이 7 m/s, 파고가 7m 정도에도 안전하다. 돌망태는 콘크리트 재료에 비하여 빠른 기간 내에 집어, 산란처를 제공하며, 해안 지형에 따라서 구조 형태가 신속적으로 변형되어 안정된다. 돌망태 내부의 돌 틈새는 치어들의 피신처를 제공하며, 내부의 유공관을 통한 해수 유동에 의하여 흐름 정체 방지 및 수질 악화를 예방한다. 본 돌망태 어초는 특허 출원되었다.

○ 방파제와 수제공 등의 돌망태 구조물의 개발을 위하여 연구된 조석, 파랑 변화에 대한 수치모델은 그동안 적용해온 경험적인 수리설계 공식을 개선하는데 기여토록 연구되었다. 또한, 연안 돌망태 시설의 설계는 수치모형에 의하여 종합적인 방안을 구상하고, 수리모형시험에 의하여 세부적으로 시설 규모를 설계하여 최적의 설계를 추진토록 요망된다.

2. 하천수리구조물의 돌망태 이용

○ 배수로의 돌망태 제방은 구조적 전단과 활동에 대하여 안전하도록 개발되었다. 이는 일반적인 하천의 유속과 수심에 대하여도 충분히 안전하다.

○ 돌망태로 낙차공을 시공한 결과 유수의 에너지가 감쇄되어 낙차공의 기능

을 충분히 발휘되고, 안전성도 유지되었다. 이는 콘크리트로 낙차공의 단점인 낙하수맥 배면의 공간이 대기압보다 낮아져 수류가 불안정해지는 현상을 돌망태 채움돌의 공극으로 공기를 공급하여 개선하는 효과이기도 하다.

하천과 용배수로를 대상으로 개발된 돌망태 낙차공과 돌망태 제방은 시공이 간편하며 신속하게 설치할 수 있으므로 동절기에 주로 시공하는 경지정리 사업과 수해 발생 후의 응급보수를 위한 시설로서 널리 활용될 수 있다. 돌망태 낙차공의 계단을 여러단으로 분리하여 높이를 낮출 경우, 물고기의 소상에 도움을 주며, 정수지 구간은 어류의 서식과 산란공간을 제공한다.

또한 직립형 돌망태 구조물은 시공이 간편하며 공사비도 콘크리트구조물과 비교한 결과 저렴한 편이다. 구조물 주변의 경관과 생태계 보전을 촉진하기 위하여 본 연구에서 개발한 녹화토 혼합 돌망태 구조물은 돌망태 채움돌 사이의 공극에 토양을 채우고 씨앗을 뿌려서 만드는 기법으로서 2001년에 특허를 출원하였다.

3. 돌망태 재료의 내구성

현장적응실험 결과, 담수호 환경에서는 아연도금철선이 충분한 내식성을 가지고 있는 것으로 나타났으며 흑철선도 내구적인 재료로 사용될 수 있다. PVC코팅철선은 PVC피복의 훼손이 일어나면 국부부식이 일어나고 PVC피복이 햇빛에 열화하는 특성이 있어 사용에 제한이 있을 것으로 보인다.

해수환경에서 알루미늄 도금철선이 실내 부식촉진실험 결과, 내식성이 우수한 것으로 나타났으나 현장적응실험을 통하여 검증되어야 할 것이다. PVC 용착 아연도금 철선은 실내부식촉진실험과 현장적응실험에서 내식성이 우수한 것으로 나타났으나 PVC피복이 햇빛에 열화하는 특성이 있으므로 장기적인 사용에서는 PVC피복의 열화를 정기적으로 감시할 필요가 있다. 아연도금 철선과 흑철선은 해수에 접하는 환경조건에서 3년 안에 50%의 하중 저항할

수 있도록 부식되므로 설계자가 설정한 안전도의 크기에 따라 내용기간은 3년 이상 또는 3년 이하의 구조물에 이용할 수 있다.

본 연구에 의한 수리 시설과 전산 모형은 새만금, 시화, 영산강, 화옹, 홍보지구 등 대규모 방조제 시설과 담수호 수질 정화 시설의 설계 등 간척지 환경을 보존하는데 활용되도록 요망된다.

이와 같이 본 연구 결과는 간척 사업을 통하여 선진 사회로 진입하는데 필요한 토지와 수자원을 개발하고, 연안의 환경을 쾌적하게 보존하는 데에도 기여하도록 추진되었다.

Summary

1. Subject

Development of Hydraulic structure using Gabion

II. Objectives and Importances of the Study

The study aims to increase the usage of gabion in irrigation, drainage channel and coastal structure in the tidal land reclamation project that would be contribute to economic and environmental friendly purpose in the near future. During last decades, gabion have been used as dumping material in the tidal closure of various tidal reclaimed projects. However, the dimension of the embanking have been decided by experimental bases. In the study, optimal dimension of gabion is derived from hydraulic model test and mathematical model study. A gabion drop and gabion embankment structure have been developed that will increase construction efficiency for land consolidation during cold winter season and recovering of damaged by flood during monsoon season. It will contribute to provide inhabitants for fishes and insects in the canal.

Gabion reef have been developed to improve the environmental circumstance for fishes in the nearshore of tidal area.

The study have been performed to develop environmental friendly hydraulic structure using gabion that will contribute to increase

economically efficient and provide sustainable and space for amenity use in the rural area.

III. Contents and Scopes of the Study

- ◊ Hydraulic model study on stability of gabion and quarry stone in the tidal closure
- ◊ Field investigation on stability of gabion in the seadike and reservoir of tidal reclamation project
- ◊ Hydraulic model study on fish reef to be used in the coastal area
- ◊ Hydraulic model study on mild slope seadike and groin using gabion to be stable against tidal action and waves intrusion in the shore
- ◊ Two dimensional numerical model study on tidal changes, wave intrusion for the installation of gabion in the coastal area.
- ◊ Field test on microbe in the near shore of rock and concrete structures
- ◊ Field study on gabion drop
- ◊ Development of vegetated gabion embankment in the channel
- ◊ Field investigation and laboratory study on gabion steel

IV. Results and Recommendations

In the circumstance of natural resources to be depleted and high population density to need amenity space, more economic and environmentally friendly construction schemes have been needed in the country. On this purpose, several Hydraulic structures have been

developed using Gabion to be resulted as follows,

- In the study, optimal dimension of gabion for the design of dumping material of tidal closure, mild sloped breakwater have been resulted from hydraulic model test and mathematical model study.

- Gabion reef have been developed to improve the environmental circumstance for fishes in the nearshore of tidal area. It was proved that gabion reef was stable at 7 m/s of velocity and 7m of wave height from hydraulic model test when the weight of gabion reef was over than 2 ton. The rich voids of gabion reef will contribute to provide inhabitants for fishes in the costal area. Tidal flow through the pipe with holes in gabion reef would prevent the stagnation of flows adjacent to the reef structure. The gabion reef invented from the study was registered to the Patent bureau to obtain patent in 2000.

- A gabion drop and gabion embankment in the irrigation and drainage canal have been developed to increase construction efficiency in land consolidation project during cold winter season and recovering of damaged by flood during monsoon season. It will devote to upstream migration of fish by lowering the each step height of gabion drop. The water cushion of gabion drop will be used for spawning of fishes inhabited in the flow. The rich voids of gabion structures will provide a inhabiting place of amenity for fishes and insects in the canal. Seeding in voids of vegetated

gabion structures is good for conservation of landscape and ecosystem. The method created from the study for environmental friendly gabion structure is registered to the Patent bureau to obtain patent in 2001.

- Results of the service test at blackish water environment showed that zinc-coated low carbon steel wire well resisted against corrosion. The low carbon steel wire can also be used corrosion resistant material at blackish water environment. Polyvinyl chloride (PVC)-coated steel wire was severely weared during construction and brought local corrosion. The coated PVC is weathered by the sunshine which results cracks. Aluminium-coated steel wire seemed to maintain very good corrosion resistance in salt spray test. The results obtained in this work showed that zinc-coated steel wire of PVC fusion-bonded well resisted corrosion. Zinc coated steel wire and low carbon steel wire showed very poor corrosion resistance in seawater environment so they showed to be used for a temporary construction.

Conclusionally, the study have been performed to develop environmental friendly hydraulic structure using gabion that will contribute to increase economic efficiency and improve ecological system in the canal. It will contribute to provide not only for inhabitant space for fishes but also fro amenity use the people in the area.

Contents

Chapter 1. Introduction	19
Chapter 2. Application of Gabion in the Hydraulic Structure	21
Part 1. Gabion in the Coastal area	21
1. Gabion in the Tidal Closure	21
2. Groyne and Breakwater	23
Part 2. Gabion in the river and channel	24
1. River and channel	24
2. Environmental amenity of the diversion dam and gabion	28
Part 3. Advanced techniques in Foreign countries	35
Chapter 3. Gabion Structure in Coastal area	45
Part 1. Introduction	45
Part 2. Hydraulic model study on stability of Gabion in the tidal closure	46
1. Theory of gabion moving in the flow	46
2. Hydraulic model study on Stability of Gabion	49
3. Trajectory and stability of dumping materials	64
Part 3. Usage of Gabion in the surface of breakwater	73
1. Wave, Tide and side slope effects on stability of breakwater	73
2. Model study on stability of rock and gabion against wave	82

3. Mathematic modelling on wave action in front of gabion breakwater	88
4. Mild sloped breakwater using gabion	95
Part 4. Development of Gabion Reef for fish	102
1. Introduction	102
2. Theory of Gabion reef	103
3. Design and Stability of Gabion reef	114
4. Flows in the Gabion reef	124
5. Hydraulic model study on stability of Gabion reef against wave action	151
6. Result and Conclusion	153
Part 5. Microbe in the nearshore of rock and concrete structures	154
1. Introduction	154
2. Investigation of environment in ocean	154
3. Microbe inhabited in the nearshore of rock and concrete structure	160
4. Result and Conclusion	190
 Chapter 4. Application of Gabion in the Channel	191
Part 1. Introduction	191
Part 2. Basic theory and construction cost	192
1. Stability of Gabion slopes in water	192
2. Stability of Gabions on horizontal planes in water	195

3. Soil thrust and stability of Gabion retaining walls	196
4. Construction cost	204
Part 3. Field study on embankment in the channel	206
1. Decision of Project site	206
2. Design and construction of embankment	207
3. Stability of embankment	218
4. Development of vegetated gabion structure	221
5. Result and Conclusion	223
Part 4. Development of Gabion Drop	225
1. Decision of Project site	225
2. Calculation of design discharge	227
3. Design of Gabion drop	228
4. Construction of Gabion drop	233
5. Investigation	240
6. Result and Conclusion	267
Chapter 5. Endurablity of Gabion	268
Part 1. Introduction	268
Part 2. Corrosion of Gabion	270
Part 3. Field Investigation on Gabion steel	272
1. Gabion in the Fresh reservoir	272
2. Gabion in the nearshore	272
3. Changes of Gabion steel	275

Part 4. Laboratory study on Gabion steel	281
1. Introduction	281
3. Salt spreading test on gabion steel	281
4. Endurablity of Galvanized steel and pvc coated steel	287
Part 5. Result and conclusion	289

Chapter 6. Conclusions and Recommendations for

Dissemination of the Results	290
1. Development of Gabion structures in the coastal area	290
2. Application of Gabion in irrigation and drainage channel	292
3. Endurability of Gabion materials	293
References	294
Appendices	298
1. Acquirement of Patent right on Gabion reef	298
2. Acquirement of Patent right on environmental friendly Gabion ..	323
4. Design maps on artificial gabion reef	333
3. Design maps on gabion drop	335
4. Design maps on gabion surface breakwater	339
5. contributions from joint enterprises	341

목 차

제 1장 머리말	19
제 2장 돌망태를 이용한 수리시설의 개발 및 활용 현황	21
제 1절 해안수리구조물의 돌망태 활용	21
1. 방조제 물막이 공사	21
2. 해안 수제공과 방파제	23
제 2절 하천 수로의 돌망태와 석재의 활용 현황	24
1. 하천수로	24
2. 돌망태와 돌보 주변의 친수 환경 조성	28
제 3절 선진국의 돌망태 기술 개발 현황	35
제 3장 해안수리구조물의 돌망태 이용 연구	45
제 1절 서론	45
제 2절 방조제 물막이 투하 재료의 안정성 수리실험	46
1. 유수 중 돌망태의 이동에 관한 이론	46
2. 돌망태 이동 수리시험	49
3. 해수 중 돌망태 투하에 따른 이동 궤적 및 유실 안정 실험	64
제 3절 방조제 피복 돌망태 재료 개발	73
1. 파랑과 조위 및 제방 경사면에 따른 피복 재료의 적정 규모 분석	73
2. 사석재와 돌망태의 적정 규모 수리실험	82
3. 해안 돌망태 방파제의 진입파랑 예측을 위한 수치해석	88

4. 큰 파랑에 대한 환경사 돌망태 방파제 개발	95
제 4절 환경친화적 돌망태 어초 개발	102
1. 서론	102
2. 인공어초 이론	103
3. 인공어초 설계 및 안정성 검토	114
4. 돌망태 어초 내외의 해수유동 수리실험	124
5. 돌망태 어초의 파랑에 대한 안정성 수리실험	151
6. 결론	153
제 5절 해안 석재와 콘크리트 구조물 부근의 미생물	
서식 현황	154
1. 서론	154
2. 해양 환경 조사	154
3. 해양수리 구조물의 기질에 따른 부착 미생물 분석	160
4. 결론	190
제 4장 하천수리구조물의 돌망태 이용 연구	191
제 1절 서론	191
제 2절 이론적 고찰 및 경제성	192
1. 수중 돌망태 경사면의 안정성	192
2. 수중 수평면상의 돌망태 안정성	195
3. 돌망태 옹벽의 토압이론과 안정성	196
4. 경제성	204
제 3절 돌망태 제방 현장 설치	206

1. 설치지구 선정	206
2. 설계 및 시공	207
3. 직립형 돌망태 제방의 안정성 검토	218
4. 녹화토를 이용한 돌망태 개발	221
5. 결론	223
제 4절 돌망태 낙차공의 개발 및 현장 실험	225
1. 설치지구 선정	225
2. 설계유량 산정	227
3. 낙차공 설계	228
4. 돌망태 낙차공 시공	233
5. 현장실험	240
6. 결론	267
제 5장 돌망태 재료의 내구성 실험	268
제 1절 서론	268
제 2절 금속의 부식 거동	270
제 3절 돌망태 철선의 내구성에 관한 현장 실험	272
1. 담수호 환경 실험	272
2. 해수 환경 실험	272
3. 현장 설치 돌망태 철선의 변화	275
제 4절 돌망태 철선의 실내 내구성 촉진실험	281
1. 서론	281
2. 염수분무시험기를 활용한 인장강도 및 부식 저항 실험	281
3. 도금철선과 합성수지 피복 철선의 성능 비교	287

제 5절 결과 및 고찰	289
제 6장 종합결론 및 연구결과의 활용에 관한 건의	290
1. 해안수리구조물의 돌망태 활용	290
2. 하천수리구조물의 돌망태 활용	292
3. 돌망태 재료의 내구성	293
참고문헌	294
부록	298
1. 돌망태 어초의 특허 출원 내역	298
2. 녹화토를 이용한 돌망태와 그 제조공법 특허출원 내역	323
4. 돌망태 인공어초 설계도	333
3. 돌망태 낙차공 설계도	335
4. 돌망태 피복석 설계도	339
5. 참여기업의 연구지원 내용	341

제 1장 머리말

국토 면적에 대한 인구 밀도가 높고 천연자원이 부족한 우리나라는 고래로부터 하천과 해안에서 토지와 수자원을 확보하기 위하여 다양한 수리시설을 만들어 보존하여왔다. 석재는 수리시설물의 중요한 축조재료로서 김제 벽골재의 장생거 수문, 청주 용 다리 등에 사용되어 아직까지도 우리 삶과 문화를 풍요롭게 하고 있다. 돌망태는 조선시대에 강화도 간척지에서 방조제의 물막이 공사에서 새끼줄로 엮은 망태에 돌을 넣어서 만든 복우란 돌망태를 사용하였다는 기록에 비추어 볼 때 물살이 빠른 하천이나 해안 공사에서 대형 석재의 대용으로 사용해왔으며, 최근 완료된 시화 방조제 물막이 공사와 2004년에 계획된 새만금 방조제의 끝 물막이 공사에도 필수적인 재료로 활용되고 있다.

근래에 콘크리트로 만들어진 수리 구조물들은 경제적 효과에 초점을 맞추어 설치되었으나, 문화 수준이 높아지고, 쾌적성(Amenity value)의 가치가 중요시되는 현실에서 이를 개선하려는 요구가 증대되고 있다. 이에 비하여, 석재로 된 수리구조물에 부착한 미생물은 서식 어류들에게 먹이를 제공하며, 돌 틈새는 우수한 서식 공간을 제공한다. 특히, 돌망태는 철망과 고분자 재료공학의 발전에 따라서 기존에 사용되던 임시 물막이 공사 재료로서 뿐만 아니라 하천 제방과 해안 도류제 등의 영구적 또는 반영구적인 수리시설로 개발되어 미국, 영국, 일본, 말레이시아 등에서 널리 활용되고 있다. 근래에 우리나라에서는 선진 돌망태 기술을 도입하여 도로변 낙석 방지를 위한 방책 등에 제한적으로 활용되고 있다. 이에 대하여 본 연구는 돌망태의 수리 환경 및 재료공학적인 기능을 고려하여 용배수로 시설과 해안 환경 보존을 위한 지속 가능한 수리구조물을 개발토록 추진하였다.

이를 위하여 돌망태 활용에 관한 국내외 자료를 수집 분석하였다.

국내자료로서는 강원도 삼척시 오십천에 설치된 돌망태의 부식 현황과 주변의 수질 및 생태 서식 환경을 조사하였으며, 새만금방조제, 화옹방조제와 석문호에 도금철선과 합성수지로 된 돌망태를 별도로 제작 설치하여 피복철선의 내구성을 돌망태의 철선 규모와 재질 및 설치 환경별로 구분하여 주기적으로 시료를 채취하여 염수분무 시험기를 이용한 인장강도, 부식저항에 대하여 실내실험을 실시하였다. 새만금4호방조제에서는 석재와 콘크리트 방파제에 대하여 미생물 부착과 어류서식 현황을 비교 분석하였다.

돌망태의 우수 중 이동 안정성을 규명하기 위하여 수심과 유속별 돌망태의 규모별 이동 안정성과 방파제 진입 파랑과 하천흐름 추정 및 우수 중 돌망태의 낙하궤적 수치해석에 관하여 연구되었다.

돌망태를 용배수로 시설로 활용하기 위하여 돌망태 낙차공, 급류공, 하천 제방 사면 보호를 위한 돌망태를 개발하였다. 환경친화적 돌망태 구조물 개발에 관한 특허를 출원하였다. 해안 환경사 방파제의 피복재료로서 돌망태의 파랑감세 효과에 관하여 수리모형 시험을 통하여 연구되었으며, 어족자원 보존을 위한 돌망태 어초도 개발되어 특허를 출원하였다. 해안 수리구조물로서 돌망태의 적정 규모 설정을 위한 조석과 파랑 퇴적 종합 분석 모형도 함께 분석되었다.

본 돌망태를 이용한 수리시설물 연구 결과는 대형 석재를 소규모 석재를 활용한 돌망태로 대체하여 석재자원의 이용율을 높이고 어류 등 동식물의 생태 서식 공간을 확충하며, 해안 구조물에 사용되는 TTP 등 인공 재료를 대체함으로써 공사비 절감 및 해안의 생태 서식환경을 개선하는데 기여할 것이다. 이와 같이, 본 연구는 21세기에 선진 사회로 진입하는데 필요한 토지와 수자원 개발 공간과 연안의 쾌적한 공간을 조화롭게 개발하고 보존하는데 기여하도록 추진되었다.

제 2장 돌망태를 이용한 수리시설의 개발 및 활용 현황

우리나라는 오래 전부터 수리구조물에 돌망태를 널리 이용한 역사를 갖고 있다. 조선시대에 강화도 간척지 방조제 물막이 공사에서 새끼줄로 엮은 망태에 돌을 넣어서 만든 복우(覆牛)란 돌망태를 사용하였다는 기록이 있다. 또한, 고려시대에 강감찬 장군이 1018년 패주대첩에서 소가죽으로 강을 독으로 막은 후 일시에 방류하여 거란의 군사들을 격퇴하였다는 기록에 비추어 볼 때, 오래 전부터 물살이 빠른 하천이나 해안 공사에서 천연의 재료를 수리구조물에 이용해온 기술을 개발해 왔다. 현대에 이르러, 돌망태가 수리시설물에 활용되기 시작한 것은 철망 재료가 발달한 1950년 경 이후이다. 1990년대 이후, 돌망태는 경제적인 효과뿐만 아니라, 돌망태 사이의 빈 공간과 채움돌 자체가 각종 동식물의 서식공간을 제공하는 것으로 알려짐에 따라서 하천 제방과 호안 및 호수변의 친수 공간 구성에 널리 활용되고 있다.

제 1절 해안 수리구조물의 돌망태 활용

1. 방조제 물막이 공사

대규모 방조제 공사에서 돌망태는 1967년 동진강 하구의 계화도 방조제 물막이 공사에서 처음으로 사용된 것으로 알려져 있다. 이 때 사용된 돌망태의 규모는 1m^3 정도이며 이후, 아산 남양방조제의 물막이 공사에서 개방구간의 바닥 세굴 보호공으로 타원형(가로×세로×높이 : $0.5\text{m}\times 1\text{m}\times 1\text{m}$)의 돌망태를 아연도금 철선으로 제작하여 투하하였으며, 물막이 양단부의 사석재는 직경 1m, 높이 1.3m의 원통형 돌망태가 투입된 바 있으나, 인력에 의

한 제작으로 제조 능률이 저조하여, 물막이 공사 중 수요량을 충족할 수 없었기 때문에 계획대로 투입하지 못하였다. 삼고천 방조제와 영산강 2단계 사업에서 아연도금 철선을 흑철선으로 바꾸고 돌망태 규모를 축소하여 공사비를 절감하였으나, 운반 포설 단계에서 파손되는 경우가 많았다. 대호방조제에서도 돌망태 높이를 줄여 제작 능률을 높여서 수요량을 충족시킬 수 있었다.

1993년말에 시행된 시화방조제의 물막이 구간 양단부에서 투하된 복주머니형 돌망태는 제작 공정이 매우 빠르며, 중량을 5 ton까지 증대시킬 수 있기 때문에 끝물막이 단계의 최대 유속(약 7.3 m/s)에도 잘 지탱하여 물막이 공사를 완성하였다.

돌망태는 철망의 상호 엮물림 효과가 크기 때문에 방조제 개방구간에서 입출하는 조류속에 대항하는데 있어서 석재나 흙가마니 보다 훨씬 효과적이며, 화란의 델타지구에서 개발한 케이슨 공법이나, 일본의 이사하야 간척지에서 활용한 빈지 공법에 비하여 급류에 저항성이 높으며 경제적으로도 매우 저렴하다. 그러나, 1990년대까지 돌망태의 적정 규모는 경험적인 기술에만 의존해왔다.

1991년에 착공한 새만금 방조제는 총 연장이 34 km로서, 56천 m³의 돌망태와 31 백만m³의 석재, 42 백만 m³의 해사가 소요되는 대규모 방조제이다. 이의 축조재료 규모는 수리실험 연구를 통하여 서해안의 높은 조위 차이와 물막이 단계 별로 증대되는 유속에 부합하도록 분석되었으며, 특히, 방조제 물막이 구간의 바닥보호공과 물막이 제방 양단에 투하되는 사석 및 돌망태 규모 설정에 관한 체계적인 연구가 수행되어 방조제 공사에 적용되었다.

새만금 방조제 공사에서 바닥보호공에 투하되는 돌망태가 정확한 위치에 투하되도록 바지선에 길이가 27.5 m이고 폭이 2m인 회전식 투하대를 설치하여 15개의 복주머니형 돌망태를 동시에 투하할 수 있는 그림 2.1.1-1과 같

은 장비를 개발하여 사용 중에 있다.



그림 2.1.1-1 새만금 4호 방조제 돌망태 투하 전경

2. 해안 수제공과 방파제

우리나라 해안에서 돌망태를 이용한 수리구조물을 설치한 경우는 아직까지 찾을 수 없다.

영국에서 월링포드연구소의 Motyka J M & Welsby(1987)가 발표한 해안 구조물 연구(A Review of novel shore protection methods) 결과에 따르면, pvc로 코팅한 돌망태를 방파제의 피복재료 사용한바 잘 견디는 것으로 조사되었다.

현재 브라질 등에서도 해안 수제공을 돌망태로 성공적으로 설치한 바 있다.

제 2절 하천 수로의 돌망태와 석재의 활용 현황

1. 하천 수로

하천 수로에서의 돌망태 이용은 하천이나 수로의 사면보호공으로 이용되는 것이 대부분으로 돌망태의 형태는 이불형이 많았다. 그 외 취수돌보, 취수보의 바닥보호공, 어도 등으로도 이용되는데 이들의 현황을 파악하기 위하여 현장조사를 실시하였다.

강원도 삼척시 무사리를 흐르는 오십천에는 취수보가 설치되어 있는데, 그림 2.2.1-1과 같이 취수보는 콘크리트 구조물로 되어있고, 에프론을 이불형 돌망태로 시공하였다. 또한 중앙부분에 어도를 설치하였는데, 이 어도에도 돌망태를 설치하였다. 돌망태 철선은 아연도금 철선을 사용하였는데, 철선의 직경은 4mm, 피복두께는 1mm였다. 부분적으로 돌망태 철선이 녹슨 부분이 있었는데 수리구조물의 기능을 장기간 발휘하기 위해서는 내부식성 철선을 개발해야 할 것으로 판단된다.



그림 2.2.1-1 돌망태를 이용한 에프론 및 어도

어도에도 돌망태를 이용하는 경우가 있는데, 대부분 계단식 어도에 돌망태를 부설하는 형태가 많다. 즉, 계단식 어도 내 몇 개의 pool을 제외한 나머지를 돌망태로 채워 자연수로처럼 물이 흐르게 한 것이다. 우리나라에는 삼척오십천 외에 북천, 마읍천, 가곡천 등에 설치된바 있다. 시공 후에 어도로서의 기능을 충분히 발휘하고 있는 경우도 있었으나, 그림 2.2.1-2와 같이 돌망태가 유실되거나 서로 뒤엉켜 기능을 제대로 발휘하지 못하는 경우도 있었다. 따라서 어도에 돌망태를 이용하기 위해서는 콘크리트 어도와 그 위에 설치하는 돌망태가 일체화되도록 주의해서 설치해야 할 것으로 판단된다. 또한 어도 하부의 하상이 세굴되는 경우도 있었으므로 이러한 경우도 충분히 대비해서 시공해야 할 것이다.



그림 2.2.1-2 어도에의 돌망태 이용

그림 2.2.1-3은 돌망태를 이용하여 취수정의 바닥보호공을 설치한 것을 보여주고 있다. 이 돌망태 철선은 아연도금 철선을 사용하였는데, 철선의 직경은 4mm, 피복두께는 1mm였다. 이 돌망태는 비교적 잘 유지되고 있었다.



그림 2.2.1-3 돌망태를 이용한 바닥보호공

석재를 이용한 시설로서 하천수를 취수하기 위한 취수돌보를 들 수 있다. 취수돌보는 그림 2.2.1-4와 같이 조약돌 등의 석재를 수로를 가로질러 쌓아 수위를 상승시켜 취수하기 위해 설치되는 구조물이다. 이 구조물은 가장 간단한 구조로서 홍수시 개개의 돌이 유실될 염려가 있으므로 지속적인 기능 발휘를 위해서는 돌망태 등을 이용하여 개개의 돌들을 일체화시키는 것이 좋을 것으로 판단된다.



그림 2.2.1-4 취수돌보

이불형 돌망태를 하상의 세굴을 방지하기 위한 구조물로 이용하는 경우도 있다. 그림 2.2.1-5는 저수지 물넘이 물방석 하류 접속수로에 설치한 이불형 돌망태를 이용한 바닥보호공이다. 이불형 돌망태를 이용함으로써 세굴을 방지할 수 있을 뿐만 아니라 채움돌 사이에서 식물이 자라나기 때문에 부착성 알을 낳는 붕어 등의 산란장으로 이용될 수 있다. 또한 방류를 하지 않는 동안에도 물이 고여 있어 물고기들이 생명을 연장할 수 있는 피신처의 역할을 하고 있었다. 뿐만 아니라 식물들은 물고기들에게 그늘을 제공하기도 한다.



그림 2.2.1-5 물넘이 바닥보호공

2. 돌망태와 돌보 주변의 친수 환경 조성

가. 돌망태의 생태적 기능

1) 돌망태의 서식지 기능

가) 부착조류

돌망태는 콘크리트 옹벽보다 부착조류가 부착할 수 있는 기질의 표면적이 훨씬 넓어서 부착조류의 생육을 돕는다.

나) 식물

돌망태는 콘크리트 옹벽이나 콘크리트 블록보다 공극이 많고 독성이 없어 뿌리를 활착시킬 수 있어서 조기에 다양한 식물종이 도입될 수 있다. 콘크리트로 라이닝이 된 수로에서는 어떤 식물도 살수 없으나, 콘크리트 블록으로 피복된 수로에서는 그림 2.2.2-1과 2.2.2-2에서 보는 바와 같이 블록의 틈새에 쑥과 약간의 갯개미취 등의 식물이 뿌리를 내리고 있을 뿐 거의 나지 상태이나 돌망태로 시공된 제방에서는 고마리, 갈대, 미나리, 부들 등

대부분의 정수식물과 육상식물로 갯개미취가 땅이 보이지 않을 정도로 자생하고 있는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 수생식물이 발생하면 이 식물을 이용하여 산란하는 붕어, 꺾저기 등은 알을 부착할 수 있는 기회가 늘어나 번식이 잘되고 치어도 이들 수생식물사이에서 숨어서 성장할 수 있어 어류를 위한 서식장소로도 상당히 좋아진다. 반대로 이들 수생식물의 번식이 없으면 붕어나, 꺾저기 같이 식물에 알을 부치는 어종은 산란처가 없어 번식이 잘 안될 수 있다. 수생식물과 이를 기초로 하는 수생생물이 번성하면 이를 기반으로 하는 하천생태계가 충실해져서 먹이망이 단단해져 급격한 환경변화에도 견딜 수 있는 힘이 생긴다.



그림 2.2.2-1 콘크리트 호안(공사 후 7년)



그림 2.2.2-2 돌망태 호안(공사 후 1년)

다) 동물

돌망태는 콘크리트라이닝이나 블록보다 독성이 없고, 다양한 크기의 공극을 갖고 있어서 수중동물의 피난처 및 월동지가 될 수 있다.

물고기의 경우 돌 틈은 밀어, 송사리 등 처럼 돌 밑에 산란하는 어종들의 산란처로 활용되고, 다양한 크기의 공극은 천적을 피하여 숨을 수 있는 피난처가 될 수 있으며, 홍수시에 물고기가 떠내려가지 안으려고 숨을 수 있는 장소를 제공해 주는데 이는 콘크리트 어소블록 보다도 훨씬 기능이 좋은 편이다. 왜냐하면 일반적으로 어소블록은 공극의 크기가 일정하고, 크며, 평수기의 유량이 흐를 때 물에 잠기어 물고기가 숨을 수 있게 시공되고 있으나 돌망태로 시공된 제방은 하천의 수위가 변화하여도 다양한 크기의 공극이 있으므로 물고기가 숨기에 적당하다. 또 어소블록은 평수기 수위에 맞는 위치에 1-2층만 시공되기 때문에 구멍 위에 수심이 일정하며, 구멍이 막

힐 위험이 있으나 돌망태는 다양한 수심에 다양한 크기의 공극이 생기고, 구멍이 막힐 위험이 적다.

돌망태는 콘크리트 블록이나 라이닝보다 갈대, 부들, 고마리, 미나리 등의 수생식물이 많이 자생하게 되므로 알을 식물의 줄기나 잎에 부쳐 산란하는 붕어, 잉어 같은 물고기가 산란을 쉽게 할 수 있고, 이들 식물체의 줄기에 숨어서 치어기를 보내 물고기의 번식에 크게 도움이 될 수 있다. 돌망태의 다양한 크기의 공극은 어류는 아니어도 바다로부터 하천에 소상하여 성장하는 참게의 서식장소를 제공한다.

그림 2.2.2-1과 2.2.2-2에서 보는 바와 같이 수생식물이 밀생하게 되면 하천의 수온상승이 억제되어 여름철 수중 산소부족으로 발생하는 물고기의 폐사를 조금이라도 줄일 수 있는 역할도 할 수 있다.

그림 2.2.2-1에서 보는 바와 같이 양쪽 호안을 콘크리트 블록으로 시공한 배수로에서는 시공 후 7년이 지났는데도 호안에 쭉과 갯개미취가 약간만 자라고 하상에는 식물이 거의 없다. 그러나 그림 2.2.2-2는 돌망태로 시공한 지 1년이 지난 것인데 호안은 물론 하상에까지 다양한 식물이 밀생하고 있다. 호안에는 쭉, 갯개미취, 개밀, 갈대 등이 밀생하였으며, 하상에도 갈대, 부들, 미나리, 고마리로 완전히 피복되어 그림 2.2.2-1의 콘크리트 블록으로 시공된 부분과 대조적이었다.

이와 같이 돌망태로 시공된 제방은 다양한 식물이 자생하게 되므로 개구리, 줄장지뱀 등의 양서 파충류의 서식에도 콘크리트 블록이나 라이닝보다는 월등히 좋은 공간이 된다. 콘크리트로 라이닝된 제방에는 먼저 표면에 수분이 없이 건조하여 피부호흡을 해야하는 개구리나, 뱀 같은 양서 파충류가 오래 머무를 수 없으며, 공극이 없어 숨을 수도 없고, 구멍을 파고 들어가 월동을 할 수도 없으며, 식물이 자라지 않으므로 식물을 먹이로 하는 곤충류가 자랄 수 없어 개구리나, 뱀 같은 곤충류를 먹이로 하는 동물들이 살

수 없다. 개구리나 뱀이 없으면 이들을 먹이로 하는 족제비나 새들도 없게 되어 아주 불완전한 생태계가 형성되어 조그만 환경의 변화에도 수중생태계가 급격한 영향을 받게된다.

나. 돌망태의 Corridor 기능

돌망태로 호안을 시공하면 콘크리트 블록보다는 공극이 많아 식물의 생장이 좋아서 이들 식물을 먹이로 하는 곤충류, 양서류, 파충류, 포유류 등이 이를 따라 이동함으로써 하천의 Corridor로서의 기능을 증가시킬 수 있다.

돌망태가 수중에 들어간 곳은 미나리, 고마리, 달뿌리풀 같은 수생식물이 자생하게 되어 수생식물에 산란하는 붕어 잉어 등의 산란장으로 활용되고, 치어들의 숨을 곳으로도 활용되며, 수생식물이 밀생하게 되면 수온 상승을 막아 수온 변화에 예민한 어류를 보호하고, 용존산소의 감소를 막아 물고기의 대량폐사 방지에도 도움이 될 수 있다. 물고기 치어가 많이 발생하면 이를 먹이로 하는 수서곤충류의 성장에도 도움이 되어 매우 다양한 생태계가 만들어지게 되나 콘크리트 라이닝이나 블록으로 된 호안에서는 이런 기능들을 거의 기대할 수 없다.

물밖으로 나와있는 돌망태 구간에서는 공극에 다양한 식물이 자생하게 되어 이를 먹이로 하는 곤충류가 살게되고, 다양한 종의 곤충류가 발생하면 또 다양한 양서파충류가 살게되어 단단한 먹이망이 완성되게되어 급격한 환경의 변화에도 견디는 안정된 생태계를 이루게 된다.

이렇게 완성된 하천 생태계는 하천 상하류간 뿐 아니라 하천의 좌우안을 연결하는 생태 통로(Corridor)가 되어 부근의 생태계도 안정되게 된다.



그림 2.2.2-3 블록으로 된 호안의 배수로



그림 2.2.2-4 돌망태 호안의 배수로

그림 2.2.2-5와 같이 취수돌보의 경우도 돌 사이에 식물이 뿌리를 내리고 자라기 때문에 생태 통로가 연결되어 생태계 보전에 긍정적인 역할을 하게 된다. 물고기의 경우 돌 틈은 밀어, 송사리 등처럼 돌 밑에 산란하는 어종들의 산란처로 활용되고, 다양한 크기의 공극은 천적을 피하여 숨을 수 있는 피난처가 될 수 있으며, 홍수시에 물고기가 떠내려가지 않으려고 숨을 수 있는 장소로 이용될 수 있다. 또한 식물 뿌리는 개개의 돌과 돌을 단단하게 연결해주는 기능도 있기 때문에 돌보의 안정성향상에도 도움이 된다.



그림 2.2.2-5 취수돌보와 식생

다. 돌망태의 수질정화 기능

기존의 콘크리트 블록으로 호안을 쌓을 경우 보다 접촉면적이 넓고, 미생물의 부착이 쉬워 일종의 접촉산화수로의 역할을 수행해서 수질정화에 도움이 될 수 있다. 또한 돌망태 구간에는 고마리, 미나리, 갈대 등의 수생식물이 자랄 수 있어 수생식물에 의한 수질정화도 기대할 수 있다.

제 3절 선진국의 돌망태 기술 개발 현황

영국 월링포드연구소의 Motyka J M & Welsby가 돌망태를 이용한 해안 방파 구조물 연구(A Review of novel shore protection methods, vol.6. Final report, Hydraulic Research Ltd, Report No. SR 106. January 1987)에서는 돌망태를 이용한 해안 방파 구조물로서 pvc 재료로 용융한 돌망태를 개발하여 해안 침식이 심한 Hampshire와 Essex 해안에 설치하여 공사비를 절감한 바 있다고 보고하고 있다.

영국에서는 주로 망태구조물에 돌을 채워서 호안 또는 옹벽의 형태로 설치하고 있다. 실제로 돌망태 옹벽은 Old Hunstanton, Norfolk에서 모래언덕을 안정화시키고 해변을 조성하는 목적으로 설치되어서 성공적으로 그 기능을 발휘하고 있다. 하지만 돌망태 옹벽은 지속적인 파랑의 영향이 없는 곳에 설치해야 더 효과적이라고 보고하고 있다.



그림 2.3.1-1 Old Hunstanton, Norfolk에 설치된 돌망태 방사제(防砂堤)

이태리는 오래 전부터 치수에 많은 노력을 기울여왔으며, 일찍부터 수리구조물, 법면보호공과 수리시설물 보호를 위한 바닥보호공에 돌망태를 이용하는 연구를 지속하여 100여년의 역사를 가지고 있다. 아시아 지역에는 메카페리사에서 말레이시아에 아시아 지역 본부를 두고 개발된 제품을 보급하고 있다.

Gabion은 국내에도 상당히 보급되어 있으며, 옹벽이나 하천 사면보호공으로 많이 활용되고 있다.

근래에는 mattress의 재료를 철선을 이용하여 개발한 reno mattress가 사면 보호공에 많이 이용되고 있다.

현재 Gabion과 Reno mattress를 이용한 수리구조물이 활발하게 이용하여 더 많은 분야에 적용되고 있다.

다음은 현재까지 개발된 돌망태를 이용한 수리구조물의 설계단면을 나타낸 것으로 유럽의 소하천 등에 적용되고 있다.

1) 옹벽

○ 육상 법면 보호공(Gabion)

도로 절개지의 법면 보호공으로 돌망태를 사용하는 사례가 증가되고 있다. 사각 박스형의 돌망태(Gabion) 철선 내부에 돌을 채우면서 차례로 쌓아 올리는 공법으로서 돌망태 채움돌 사이의 공극을 통하여 배수가 되기 때문에 수압을 줄일 수 있어 보다 안전하다. 또한 최상면이나 각 층의 소단에는 식물이 자랄 수 있기 때문에 경관면에서 뿐만 아니라 생태계 보전면에서도 기존의 콘크리트 옹벽에 비해 좋은 구조물이다.

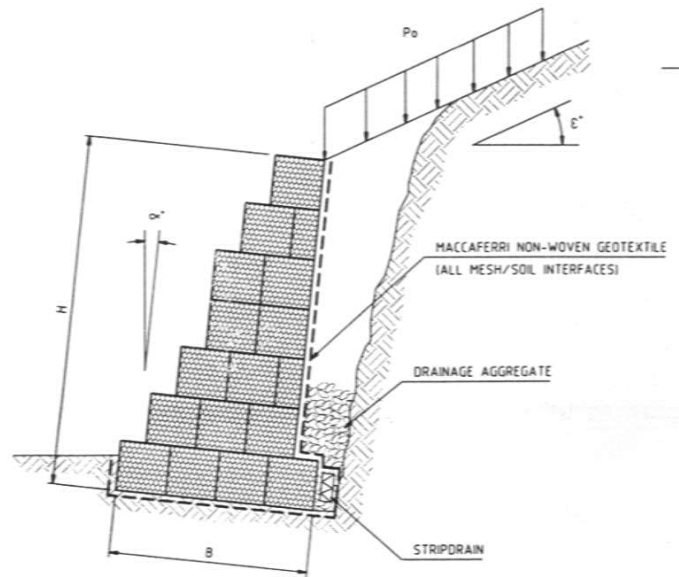


그림 2.3.1-2 돌망태를 이용한 육상 법면 보호공

○ 수중 기초 보호공(Gabion)

수중부분의 기초와 법면을 돌망태로 축조한 구조물이다. 하천이나 수로 구조물의 기초와 바닥, 호안법면에 사각형 돌망태(Gabion)를 쌓아 기초부 및 호안을 보호하기 위한 구조물로서 호안을 수직으로 할 수 있기 때문에 통수단면적을 넓힐 수 있는 장점이 있다. 또한 수중부분의 채움돌 사이의 대소 공극에는 물고기들이 휴식처, 피난처, 산란장소 등으로 이용할 수 있기 때문에 어류 등의 생태계 보호에도 유리하다. 또한 최상단의 표면에는 식생을 도입할 수 있으므로 생태계를 보전할 수 있다.

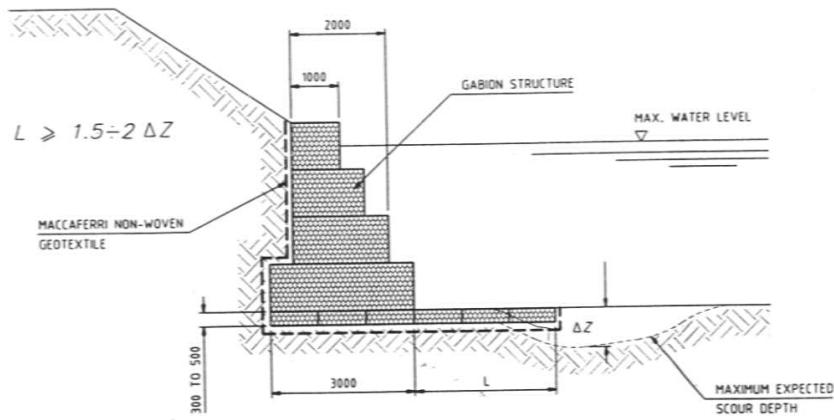


그림 2.3.1-3 돌망태를 이용한 수중 법면 보호공

○ 수중 법면 보호공(Mattress)

Mattress형 돌망태를 이용한 수중 사면보호공으로서 사각형 돌망태 (Gabion)를 이용한 사면보호공보다 채움돌의 양을 줄일 수 있으며, 기존의 제방사면을 따라 Mattress형 돌망태를 부설하기 때문에 사각형 돌망태를 이용한 수직 쌓기 보다 시공이 간단하다. 그러나 안전성면에서는 사각형 돌망태 쌓기 보다 떨어지기 때문에 급류부나 만곡부 등에서는 이용에 주의해야 한다.

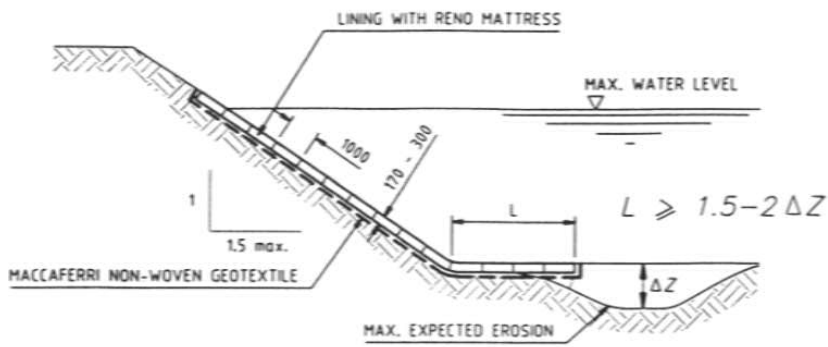


그림 2.3.1-4 Mattress 돌망태 사면 보호공

○ 수중 법면 보호공(Gabion & Mattress)

사각형 돌망태와 Mattress형 돌망태를 병행하여 우수단면을 많이 확보하고, 안정성을 확보한 구조로서 만곡부나 급류부 등에 적용할 수 있는 구조이다.

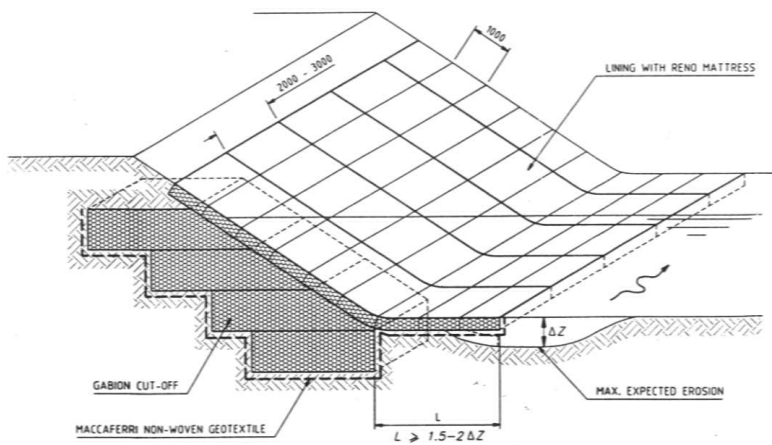


그림 2.3.1-5 사각형와 Mattress 돌망태를 이용한 수중 법면보호공

○ 사면 낙석 보호공

돌망태 철선을 이용하여 그물형의 네트를 만들어 낙석의 위험이 있는 사면에 포설함으로써 낙석에 의한 피해를 방지하기 위한 것이다.

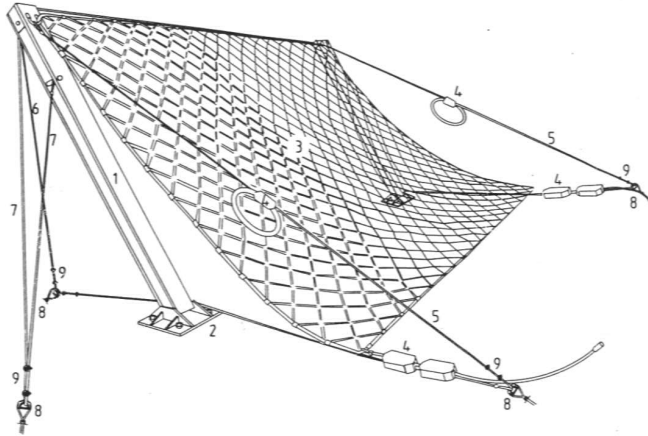


그림 2.3.1-6 사면 낙석 보호공

2) 하천 수로구조물의 돌망태 이용

○ 용·배수로 (Gabion & Mattress)

용·배수로의 바닥과 호안을 Gabion과 Mattress를 혼합하여 사용한 구조물의 예이다. 계단상으로 쌓은 Gabion 호안은 사람들의 수변으로의 접근을 용이하게 해준다. 또한 수로바닥을 Mattress형으로 부설함으로써 바닥세굴을 방지할 수 있고, 호안과 바닥의 채움돌 사이의 공극은 생태 서식공간이 될 수 있다. 이러한 시설은 사람들이 많은 마을 내에 설치한다면 사람들의 휴식공간으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

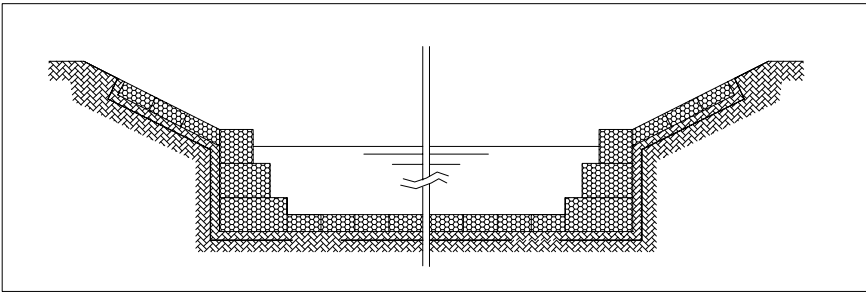
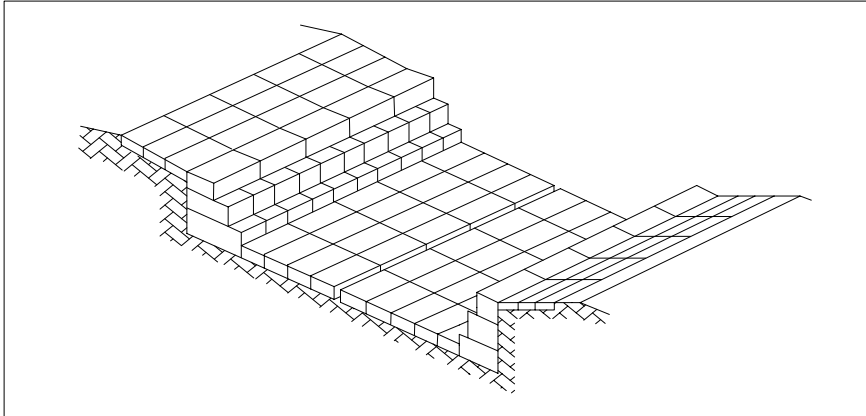


그림 2.3.1-7 배수로 돌망태 구조물 형태

○ 보

취수보에 돌망태를 이용한 구조물로서 하천 수위 상승이라는 보 본연의 기능을 발휘하면서 주위의 자연환경과 조화를 이룰 수 있는 장점이 있다. 식물이 자랄 수 있기 때문에 기존의 콘크리트보 보다는 생태보전 측면에서 유리한 시설인 것으로 판단된다.

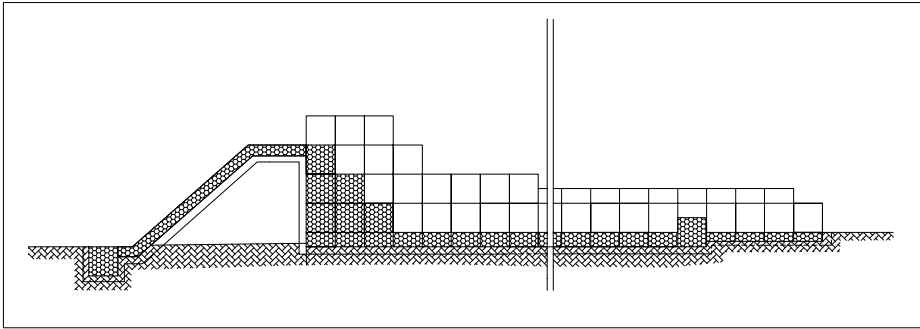


그림 2.3.1-8 단차 웨어

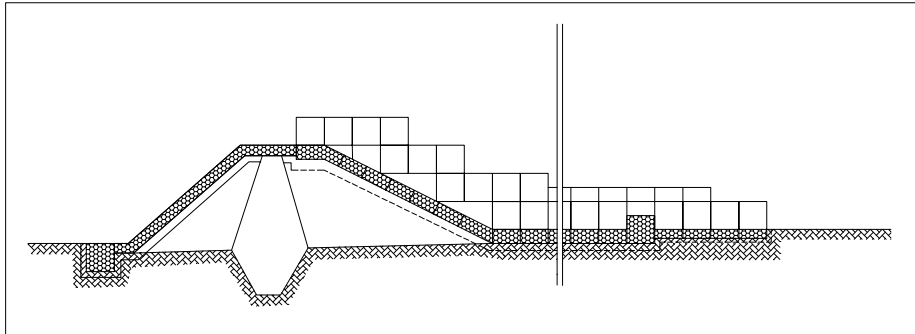


그림 2.3.1-9 경사형 웨어

○ 낙차공

Gabion은 그림 2.3.1-10~13과 같이 여러 형태의 낙차공의 재료로서도 이용되고 있다. 앞으로 돌망태를 이용한 낙차공의 건설이 기대된다.

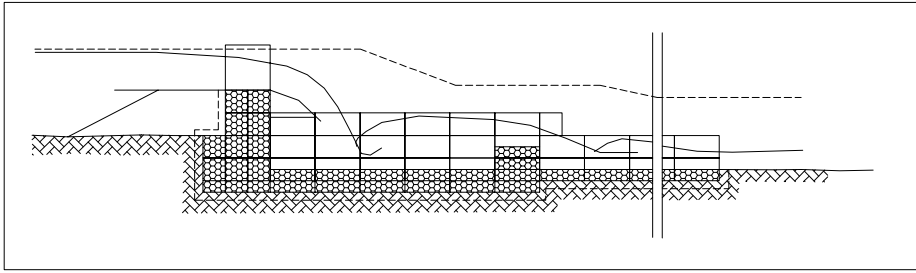


그림 2.3.1-10 물방석이 있는 낙차공

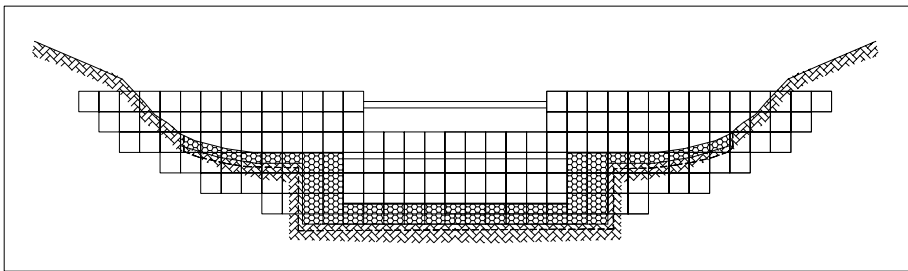


그림 2.3.1-11 바다보호공이 포함된 낙차공

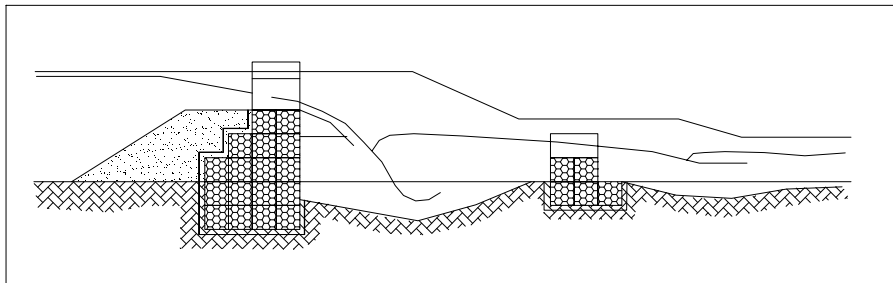


그림 2.3.1-12 물방석이 없는 낙차공

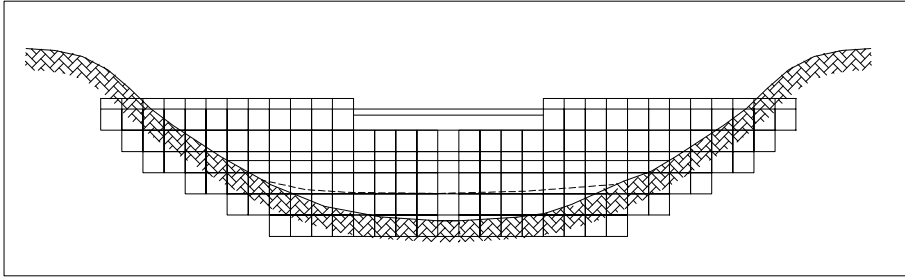


그림 2.3.1-13 암반층의 낙차공

○ 잠관 유입, 유출구 바다보호공

돌망태는 그 외에 잠관의 유입구, 유출구의 바다보호공으로서도 이용되고 있다.

제 3장 해안수리구조물의 돌망태 이용 연구

제 1절 서론

우리나라에서 돌망태는 간척지구의 물막이 공사 재료로서 이용되어 왔다. 방조제 끝물막이 구간은 개방구간이 좁아짐에 따라 증가되는 유속에 대항할 수 있는 대형 사석을 확보하는 것은 어려우며, 공사비도 많이 소요되므로, 돌망태에 작은 사석들을 담아 중량과 체적을 증대시킨 덩어리를 만들어 수중에 투하하여 물막이 공사를 완수하는 기법이 간척사업에서 널리 사용되어 왔다. 돌망태는 방조제 물막이 공사에서 빠른 흐름에 대한 저항력이 매우 크며, 이는 돌망태 간의 엇물림에 의하여 마찰저항력이 증대된 데 기인하는 것이다. 고분자 재료공학의 발달에 따라서 돌망태는 방조제 물막이 공사 재료뿐만 아니라 영구적인 수리구조물로서 개발되고 있다. 영국 윌링포드연구소의 Motyka J M & Welsby는 돌망태를 이용한 해안 방파 구조물로서 pvc 재료로 용융한 돌망태를 개발하여 해안 침식이 심한 Hampshire와 Essex 해안에 설치하여 공사비를 절감한 바 있다. 현재 브라질 등에서도 해안 수제공을 돌망태로 성공적으로 설치한 바 있다. 본 연구에서는 이러한 선진국의 성과를 반영하여 다양한 형태의 돌망태 수리구조물을 개발코자 한다. 돌망태를 해안 제방의 피복 재료로서 활용하는 방안을 수립하기 위하여 화용방조제, 석문방조제 및 새만금 방조제 현장에 돌망태 피복 재료를 설치하고 주기적으로 현장에서 시료를 채취하여 인장강도의 내구성을 실험하였으며, 해안으로 침투하는 파랑과 조위 변화 및 방파제 기울기 등의 물리적인 인자가 돌망태 축조재료의 안정성에 끼치는 영향을 수리모형실험을 통하여 구명하였다. 또한, 돌망태를 이용한 인공어초를 수리모형실험을 통하여 개발하고 석재와 콘크리트 구조물의 미생물 서식 현황을 조사하여 향후 석재와 돌망태 구조물이 해안의 어류 서식 환경을 보존하는데 기여토록 연구되었다.

제 2절 방조제 물막이 투하 재료의 안정성 수리실험

1. 유수 중 돌망태의 이동에 관한 이론

본 시험은 방조제 물막이 공사 구역의 개방구간에 설치되는 돌망태가 흐름에 안정되는 적절한 규모를 도출하기 위하여 시행되었다. 지금까지 제방에 설치되는 재료는 석재 위주로 유속만의 함수로 설계되어 왔으나, 본 시험에서는 제방 접촉면의 유속의 변화와 수심의 영향을 고려하여 석재와 돌망태의 이동 안정성을 무차원 전단응력(dimensionless shear stress)의 함수를 도출하였다. 전단강도로 나타내는 함수 중 대표적인 함수는 Shields가 제안한 무차원 전단응력에 관한 함수로서, 이는 전단속도의 도출과정이 다소 복잡하지만 무차원 함수로 나타내므로 수리시험 결과를 현장에 적용하기가 간편하다.

이에 관한 이론은 본 연구에 의하여 발표된 Park(2000)의 논문에 수록되었다. 본 시험에서 방조제 축조재료의 이동성과 규격 결정을 위하여 Shields가 제안한 무차원 전단응력에 의한 석재의 안정규격 결정방식을 사용하였다.

$$F_* = \frac{\tau}{s'gD} \text{-----}(3.2.1-1)$$

여기서, F_* : 무차원 전단응력, τ : 전단응력($= \rho_w U_*^2$)

s' : 석재의 수중밀도, D : 석재의 직경

ρ_w : 물의 밀도, U_* : 전단속도

전단속도(U_*)는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$U_* = V / (5.75 \text{ Log}(11h/2.5d)) \text{-----}(3.2.1-2)$$

여기서 V : 개방구간의 평균 유속, h : 수심

d : 바닥보호공(상고공) 석재의 직경이다.

본 연구에서 방조제 물막이 구간에 투하되는 축조재료는 물막이 공사 진행에 따른 방조제 높이의 증가와 수심의 감소 및 상하류 수위차 등을 고려하여 축조 재료의 규격을 결정하고자 한다. 방조제 축조재료의 안정성과 유실에 관련된 인자들은 물막이 구간 폭(B), 접근 수로의 평균 유속, 접근 수로의 평균수심(h), 축조 재료와 물의 단위 중량, 개방 구간에서 하상 재료의 직경, 수중에서 축조재료의 안식각(ϕ) 등이다. 이는 π 정리에 의하여 개략적인 무차원 함수로 나타낼 수 있다

$$\eta = f_3[m, Fr, \frac{D}{h}, \frac{B}{h}] \text{-----}(3.2.1-3)$$

여기서, $m = \frac{B - b}{B}$ 이다.

축조재료의 이동성과 관련하여, 박상현(1993) 등이 시행한 방조제 축조재료의 침하 유실에 관한 연구에서 축조재료의 유실율로서 정의된 바 있다. 또한, 돌망태의 안정 규모에 관한 Stephen T. Maynard(1995)의 연구결과, 돌망태의 안정성은 석재의 안정성과 마찬가지로 유속의 함수로 나타낼 수 있으나, 석재의 안정성이 직경에 비례하는 것과는 달리 돌망태의 안정은 망태의 두께와 비례하지 않으며, 이는 망태 내에서 돌의 움직임이 망태의 형성을 변화하여 흐름에 대한 저항을 저하하고 결국에는 망태 철선을 파괴할 수 있다. 망태 내에 채워진 돌의 움직임을 막기 위한 연구 결과, 돌

망태 안에 채우는 돌의 직경은 다음 식으로 도출하였다.

$$D_m = S_f C_s C_v d \left[\left(\frac{\gamma_\omega}{\gamma_s - \gamma_\omega} \right)^{0.5} \frac{V}{\sqrt{gdK_1}} \right]^{2.5} \text{-----} (3.2.1-4)$$

여기서, D_m 은 돌망태 속의 석재 직경, S_f 는 안전계수(=1.1), C_s 는 돌망태 안에서 돌의 안정계수(=0.1), C_v 는 유속 분포 계수(=1.0), γ_ω 는 물의 단위 중량(1.03), γ_s 는 석재의 단위 중량(=2.6), d 는 수심, K_1 은 비탈면 기울기 보정계수로서 바닥 기울기가 1:4 이상으로 완만한 경우 $K_1=1.0$ 이며, 사면의 기울기가 1:2 정도이면 0.88로서 완경사의 경우보다 17 % 증가된다. 완만한 경우 석재 직경은 다음 식으로 정리하였다.

$$D_m = 0.11d \left(0.81 \frac{V}{\sqrt{gd}} \right)^{2.5} \text{-----} (3.2.1-5)$$

한편, 돌망태의 두께에 관한 Simons(1984)등의 연구 결과, 돌망태 두께는 석재 직경의 1.33 - 3배를, 미국 공병단의 연구 결과는 석재 직경의 2배 정도를 추천하고 있다.

표 3.2.1-1 돌망태 채움 석재의 적정 직경과 중량

유속(V)		3m/s	4m/s	5m/s	6m/s	7m/s
석재 직경 (중량)	바닥	0.054 m (0.21kg)	0.110m (1.80kg)	0.192m (9.6kg)	0.303m (37kg)	0.445m (119kg)
	사면	0.063 m (0.34kg)	0.129 m (2.92kg)	0.225 m (15.5kg)	0.356 m (61.4kg)	0.522 m (193. kg)

2. 돌망태 이동 수리시험

가. 모형의 구성

돌망태 재료 안정성에 관한 세부모형시험은 폭 0.6m의 flume 모형수로에 석재와 돌망태 시료를 설치하였으며, 그림 3.2.2-1은 시험용수의 순환계통과 모형수로의 배치현황을 나타낸다. 그림 3.2.2-2는 방조제 선단부에서 투하석재와 돌망태의 안정성에 관한 시험 모형이며, 제체 상폭은 20cm, 높이 38cm, 사면 기울기 1 : 1이고, 수심은 20m, 유속은 7 m/s를 기준으로 하여 설정하였다. 본 모형은 깊이가 0.8m로서 축척이 1:25이므로 수심이 깊은 수로 특성을 재현할 수 있다. 모형수로의 길이는 44m로서 상류에는 유량 조절 밸브를 설치하고, 하류에 수위조절 수문을 설치하여 상하류의 유량과 수위 조건을 설정하였다. 시험 재료는 1톤부터 5톤까지의 쇄석과 돌망태를 대상으로 정하였으며, 각 시료는 오차를 1gr 이내로 측정할 수 있는 저울에 단 후, 무게를 조정하여 제작하였다.

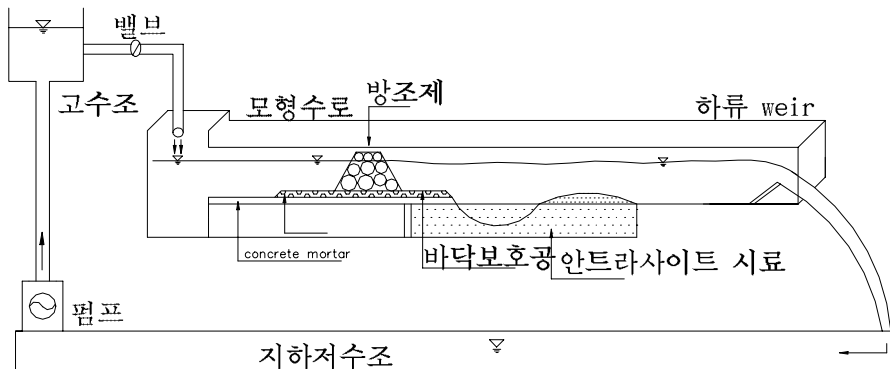
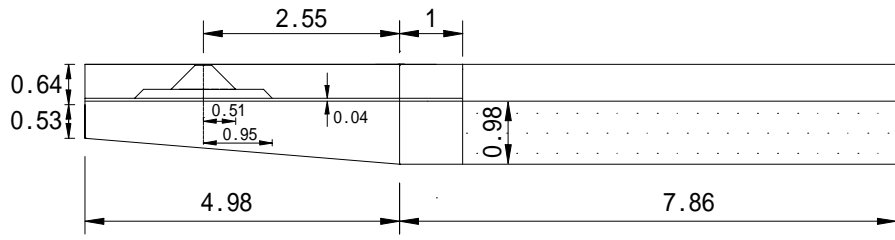


그림 3.2.2-1 방조제 모형



< >

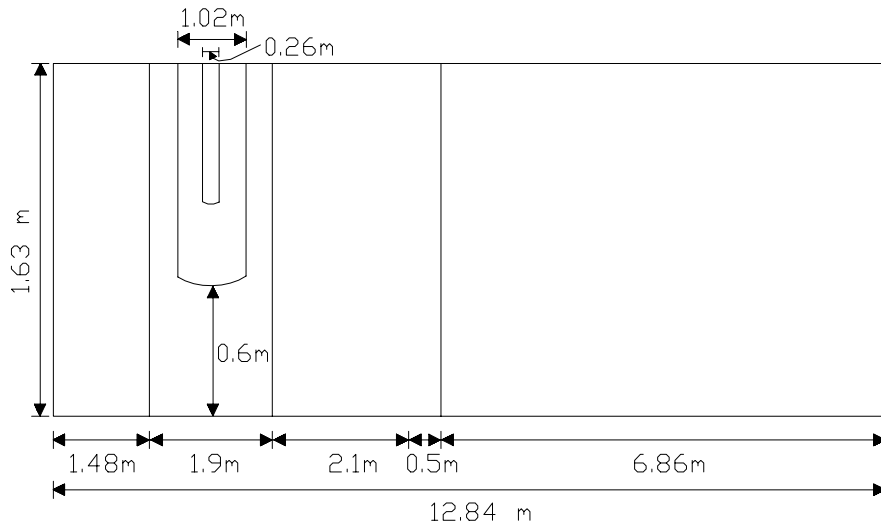


그림 3.2.2-2 방조제 물막이 모형

모형 시료의 형상은 형상계수를 다음 식으로 나타내었다.

$$SF = \frac{c}{\sqrt{a b}} \text{-----}(3.2.2-1)$$

여기서, a는 장변, b는 중변, c는 단변이며, 모형 시료의 평균 형상계수는 0.7정도이며 돌망태의 이동은 대부분 rolling 형태이며 이에 영향을 주는 변은 중변인 b이므로 이를 평균 직경으로 정하였다. 그림 3.2.2-3은 돌망태 중량별 형상계수를 새만금 방조제 현장에서 조사한 결과이다.

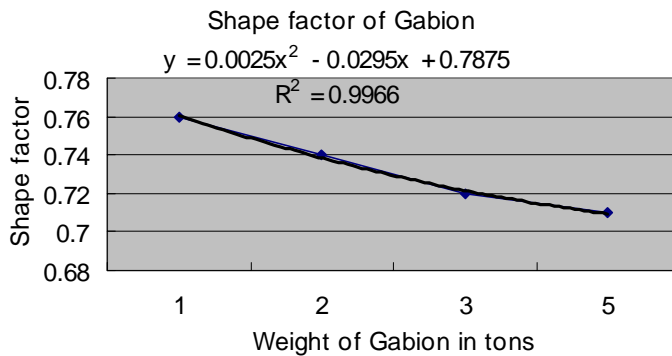


그림 3.2.2-3 새만금 방조제 현장의 돌망태 중량별 형상계수

또한, 평균 직경 D_{50} 은 다음 식으로도 구할 수 있다.

$$D_{50} = \frac{8W}{\left(\frac{4}{3}\pi R_s\right)^{\frac{1}{3}}} \text{-----}(3.2.2-2)$$

여기서, W는 모형에서 돌망태와 돌의 중량, R_s 는 재료의 단위중량으로서 돌은 실내시험에서 분석한 결과 2,600 - 2,640 kg/m³이다. 수리 모형시험에서 축조재료의 움직임은 안정(stable), 떨림(tremble) 그리고 이동(movable)으로 구분된다. 그러나 이를 분명히 구분하기 어렵기 때문에 재료가 방조제 단면을 이탈하는 수량이 1개 이상 되는 경우를 이동

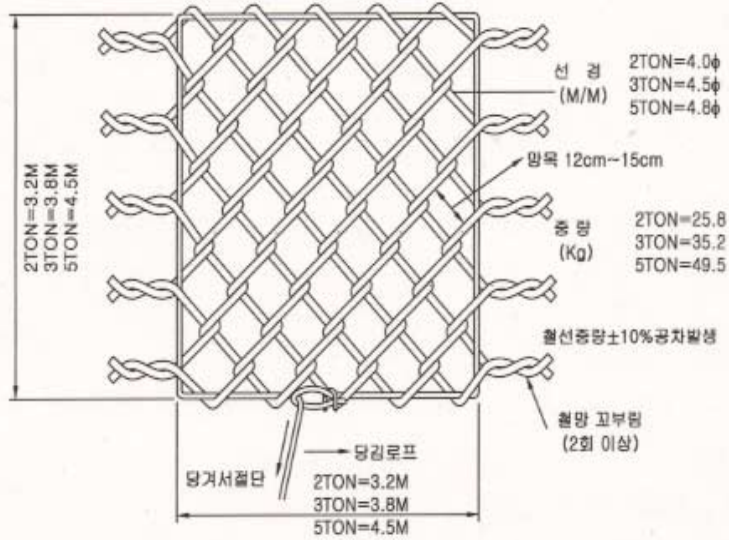
(movement)으로 설정하였다. 또한, 방조제 물막이 개방구간의 상고공에 대한 모형시험은 전단강도가 큰 말단부를 중심으로 실행하기 위하여 바닥면의 중간부를 시멘트 모르타르로 바르고, 하류 말단부는 석재 또는 돌망태로 설치하였다. 유속과 수심은 시험구간을 X, Y 좌표에 따라 약 0.3m 간격의 2방향 격자망을 구성하여 유속계와 hook gauge를 폭 0.65m의 이동 가교(over head bridge)에 설치하고 시험 수조의 종방향으로 이동하면서 방조제 선단부와 개방구간 중심부 등 중요한 지점에서 측정하였다. 모형의 유속은 표층과 중층 및 저층의 3지점에서 측정하여 산술 평균한 값으로 정하였다. 모형에서 투하시료는 표 3.2.2-1과 같이 1톤부터 5톤까지 쇄석과 돌망태를 대상으로 모형을 제작하였다.

돌망태 시료는 25mm와 No.4 사이의 체(sieve)에서 거른 후 중량을 측정하여 제작하였다. 물막이 구간에서 제방과 상고공의 축조재료 규모는 물막이 구간이 줄어들고 유속이 증가함에 따라서 석재와 돌망태의 혼합 비율은 80% : 20%에서 50% : 50%까지 증가하면서 실험하였다.

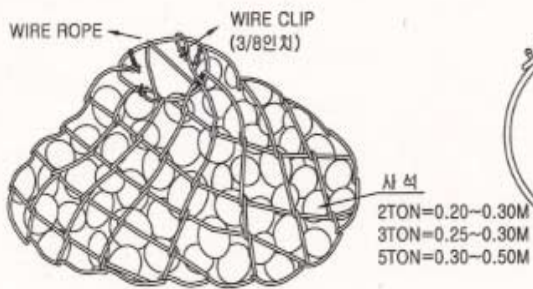
표 3.2.2-1 방조제 축조재료의 혼합

case	rock	gabion	remark
N1	3 ton(80%)	3 ton(20%)	(): mixed ratio prototype : model 1ton : 75 g 2ton : 128 g 3ton : 192 g 5ton : 320 g
N2	5 ton(80%)	3 ton(20%)	
N3	3 ton(50%)	3 ton(50%)	
N4	5 ton(50%)	3 ton(50%)	
N5	3 ton(50%)	2 ton(50%)	
N6	1 ton(100%)		
N7	2 ton(100%)		
N8	3 ton(100%)		
N9	5 ton(100%)		
N10	3 ton(80%)	2 ton(20%)	
A		2 ton(100%)	

돌망태의 구성도



돌채움시의 실질모형



돌채움시의 마감모형

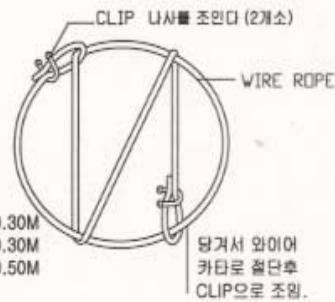


그림 3.2.2-4 모형실험에 적용된 복주머니형 돌망태

표 3.2.2-2에서 괄호 안의 직경은 각각의 중량별 평균 단위 중량에 의하여 돌망태의 평균 직경(D_{50})을 완전한 구형으로 가정하여 계산된 값이다.

본 시험에서 돌망태를 완전한 구형으로 가정하여 계산된 평균 직경의 값이 모형 시료의 형상을 직접 측정된 b값과 큰 차이가 있다. 또한, 석재의 경우 계산 값은 실측된 b 값보다 약 15% 정도 작게 나타나므로 돌망태와 돌의 이동에 영향을 주는 b값을 평균 직경(D₅₀)으로 택하였다.

돌망태의 직경은 식(3.2.2-3)으로 구할 수 있다.

$$R_s = \frac{W}{\left(\frac{1}{6} \pi abc\right)} \text{-----}(3.2.2-3)$$

표 3.2.2-2 돌망태 모형의 규격

Weight in model and prototype	R _s (kg/m ³)	D ₅₀ (m)	a	b	c	SF
320g-5t	1788	0.072(0.133)	0.09	0.072	0.057	0.709
192g-3t	1747	0.064(0.075)	0.075	0.064	0.050	0.719
128g-2t	1573	0.058(0.055)	0.065	0.058	0.046	0.744
75g-1.17t	2220	0.041(0.029)	0.047	0.041	0.033	0.761

() : 식 (3.2.2-3)으로 계산된 평균 직경임

표 3.2.2-3 모형에 사용한 석재의 규격

Weight in model and prototype	D ₅₀ (m)	a	b	c	SF
320g - 5t	0.115 (0.133)	0.09	0.072	0.057	0.709
192g - 3t	0.069 (0.075)	0.075	0.064	0.050	0.719
128g - 2t	0.046 (0.055)	0.065	0.058	0.046	0.744
75g - 1.17t	0.027 (0.029)	0.047	0.041	0.033	0.761



그림 3.2.2-5 유수 중 물막이 제방 선단부의 투하돌망태 이동 시험

나. 실험 결과

방조제 물막이 구간의 유속(velocity)은 중심부에서 약 2배 이상 빨라진 후, 개방구간을 빠져나갈 때 중심부의 50% 정도가 더욱 가속된 흐름을 갖게 된다. 따라서 축조 재료의 유실이 우려되는 곳은 물막이 제방 구간의 하류부이다. 설계 유속이 물막이 구간의 중심부의 유속을 대표한 것으로 가정할 때, 양단 말단부의 유속이 증대되고 축조재료의 유실도 이 부분에서 집중적으로 발생된다.

1) 석재와 돌망태 혼합시료의 이동 안정성

가) 석재의 안정성

석재와 돌망태를 혼합하여 투하된 물막이 구간에서 석재가 움직이기 시작할 때의 실험 석재의 움직임은 무차원 전단응력(F_s 값)이 0.042부터 0.053의 범위에서 발생한다. 석재의 혼합비가 80% 인 경우 F_s 값은 0.042 - 0.046 정도로서 석재의 규격이 돌망태보다 작아짐에 따라서 F_s 값이 다소 증가된다. 또한, 석재의 혼합비가 50%인 경우 F_s 값은 0.049 - 0.053

정도로써 석재의 혼합비가 80%인 경우보다 10% 정도 F_s 값이 증가되었다. 또한, 석재의 혼합비가 80%인 경우, 석재가 움직이기 시작할 때의 유속은 1.43 m/s - 1.45 m/s(원형에서 7.2 m/s 정도)로서 석재 중량 3t 이상의 재료를 돌망태와 혼합하여 현장에 투하하는 경우, 안정적이다. 석재의 혼합비가 50%인 경우, 석재의 안정 유속은 1.51 m/s - 1.56 m/s (원형에서 7.5 m/s - 7.8 m/s 정도)로 혼합비가 80%인 경우보다 다소 높게 나타났다.

나) 돌망태의 이동 안정성

석재와 돌망태를 혼합하여 투하된 재료 중 돌망태가 움직이기 시작할 때의 수리적인 특성을 실험한 결과, 돌망태의 혼합비가 20%인 경우, 돌망태가 이동하기 시작하는 무차원 전단강도(F_s 값)는 0.101과 0.12의 범위이다. 석재와 돌망태의 혼합비가 각각 50%인 경우, 돌망태가 움직이는 F_s 값은 0.106 - 0.113의 범위에 있으며, 석재 3t과 돌망태 2t을 혼합한 경우의 값이 0.106으로서 비교적 작은 값을 나타내지만, 석재가 2개 정도 움직인 반면 돌망태는 움직이지 않았기 때문에 이 값은 다소 증가시킬 수 있다. 따라서, 석재와 돌망태의 혼합비가 각각 50%인 경우, 돌망태의 F_s 값은 0.11 정도이다. 또한, 돌망태가 움직이기 시작할 때의 유속은 석재의 혼합비가 80%인 경우, 1.43 m/s - 1.45 m/s 정도로써 이는 돌망태 중량이 2t 이상인 경우 7.2 m/s 이하의 현장 유속에서 안정될 수 있다.

또한, 석재의 혼합비가 50%인 경우, 1.51 m/s - 1.56 m/s 정도로써 물막이 공사지역의 원형에서 혼합시료 중 석재는 7.5 m/s - 7.7 m/s 이하의 유속에서 안정될 수 있다. 또한, 시험 조건 중 가장 큰 유속에 견딘 축조 재료의 혼합은 5t의 석재와 3t의 돌망태를 각각 50%씩 혼합한 경우로서 1.565 m/s(원형 7.8m/s)의 모형 유속에 견딘 경우이다. 이러한 결과는 혼

합시료 중 석재의 전단 저항이 돌망태보다 작으므로 이에 대응하기 위하여 더 큰 규모의 석재를 사용하는 것이 바람직한 점을 나타내는 것이다.

표 3.2.2-4 방조제 물막이 재료의 무차원 한계전단강도

case	Weight of materials		Dimensionless shear stress	
	rock	gabion	rock	gabion
E1	8g-80%	40g-20%	0.044	0.085
E2	18g-80%	40g-20%	0.045	0.095
E3	36g-80%	40g-20%	0.045	0.100
E4	48g-80%	40g-20%	0.045	0.110
N1	192g-80%	192g-20%	0.044	0.112
N2	320g-80%	192g-20%	0.042	0.12
N3	192g-50%	192g-50%	0.053	0.12
N4	320g-50%	192g-50%	0.0049	0.109
N5	320g-50%	128g-50%	0.05	0.106

2) 석재 물막이 구간의 이동 안정성

물막이 제방을 석재로만 축조하는 경우에 대한 시험은 표 3.2.2-1에 의하여, 중량별로 75g(원형에서 1.17t), 128g(2t), 192g(3t), 320g(5t) 등 4가지 조건에 대하여 시험하였다. 중량이 75g(1.17t)인 석재가 이동하기 시작하는 한계 유속(U_{cr})은 1.27 m/s(원형에서 6.3 m/s)이며, 중량이 5t인 석재가 움직이는 한계유속은 7.5 m/s이며, 석재의 중량이 증가할수록 한계유속과 Froude number 및 무차원 전단 응력($F_c \cdot 10$)이 함께 증가한다. 중량이 5t인 경우, 제방 사면에서 무차원 전단응력이 0.053인 비교적 큰 값을 나타내지만, 1t, 2t, 3t의 경우는 0.044정도이다.

3) 물막이 상고공 축조재료의 안정성

방조제 물막이 개방 구간이 축소될 때, 유속의 증가에 따른 상고공의 축조 재료 규모 시험에 있어서, 본 연구에서는 상고공 말단부에서 집중적으로 시험하였다. 표 3.2.2-5는 축조재료별로 이동하기 시작할 때의 유속과 Fr, F*. 그리고 재료 구성에 따른 이동형태를 나타낸다.

표 3.2.2-5 방조제 물막이 공사 상고공의 안정성 검토

case	Va (말단부)	Fr	F*		이동성		재료 구성	
			rock	gabion	rock	gabion	rock	gabion
1-4	1.239	1.012	0.043	0.093	2 shake	stable	3t-80%	3t-20%
1-5	1.435 (7.18)	1.128	0.054	0.117	2 "	"		
3-12	1.344	1.119	0.052	0.112	1 "	1 shake	3t-50%	3t-50%
3-13	1.441 (7.2)	1.133	0.054	0.118	1 "	2 "		
6-6	1.318 (6.6)	1.062	0.051		4s, 1m		1.2t-100%	
6-7	1.285	1.001	0.046		6s,		%	
7-3	1.233	1.251	0.061		3s		2t-100%	
7-5	1.318 (6.6)	1.12 4	0.053		5s			
11-8	1.552	1.255		0.16		16s, 1m		1.2t-10
11-11	1.630	1.179		0.153		19s, 2m		0%

s : shake(흔들리는 정도의 이동), m : 움직임(move)

모형에서 192g(3t)의 석재와 돌망태를 각각 80%와 20%로 혼합하여 case 1에서 시험한 결과, 석재의 한계 무차원 전단강도(F*)는 0.054이며, 돌망태의 F*는 0.117정도이다. 또한, 192g(3t)의 석재와 돌망태를 각각 50%씩 혼합하여 case 3에서 시험한 결과, 석재의 F*는 0.054이며, 돌망태는 0.118 정도이다. 석재로만 상고공을 구성하는 경우 석재의 F*는 0.051 -

0.053 정도이며, 돌망태로만 구성하는 경우 이의 F_c 는 0.153 정도로 나타났다. 또한, 석재와 돌망태의 혼합시료에서 석재의 F_c 는 0.05, 돌망태는 0.11 정도이다. 따라서 이러한 흐름조건에서 양단의 말단부를 돌망태로 집중 설치하는 것이 바람직하다.

표 3.2.2-6 축조재료의 무차원응력 시험결과의 적용안

구분		사석재		상고공	
		실험값	적용안	실험값	적용안
석재		0.044	0.04	0.054	0.040
돌망태	석재 혼합 (20-50%)	0.11	0.10	0.117	0.10
	돌망태 100%	0.147	0.13	0.153	0.13

다. 시험결과의 실용화 방안

물막이 제방과 상고공 재료인 석재와 돌망태의 이동성 시험 결과는 물막이 공사 단계별 흐름 조건에 의하여 축조재료의 규격과 혼합비율을 현장 여건에 따라서 보완하여 사용하도록 제안코자 한다.

물막이 구간의 상하류에서 유입되는 흐름은 물막이 선단부에서 합해지며 유속이 빨라지므로 이 부분은 중심부보다 약 10% 이상 빠르다. 따라서, 설계된 평균 유속은 선단부의 유속보다 작을 수 있기 때문에 시공상 적절한 안전율을 고려하여야 한다. 또한, 물막이 개방구간 하류 말단의 유속은 중심부보다 40% 이상 빠를 수 있으므로 중심부보다 큰 축조재료를 사용하거나 석재와 돌망태의 혼합비율을 높여야한다. 석재와 돌망태를 혼합하여 투하된 재료의 한계 무차원 전단응력(F_c)값은 그림 3.2.2-6에 나

타나 있다. 사석재의 경우, 석재가 움직이기 시작하는 유속은 6.3m/s이며, 석재와 돌망태가 혼합되는 경우, 돌망태의 혼합비율에 따라서 7.2m/s에서부터 8.7m/s까지 변화한다. 이러한 이동특성을 유속과 수심의 영향을 포함한 F^*c 값으로 나타내면 석재는 0.044이며, 돌망태는 0.011 정도이다. 또한, 돌망태로만 축조하는 경우, F^*c 값은 0.147정도이다.

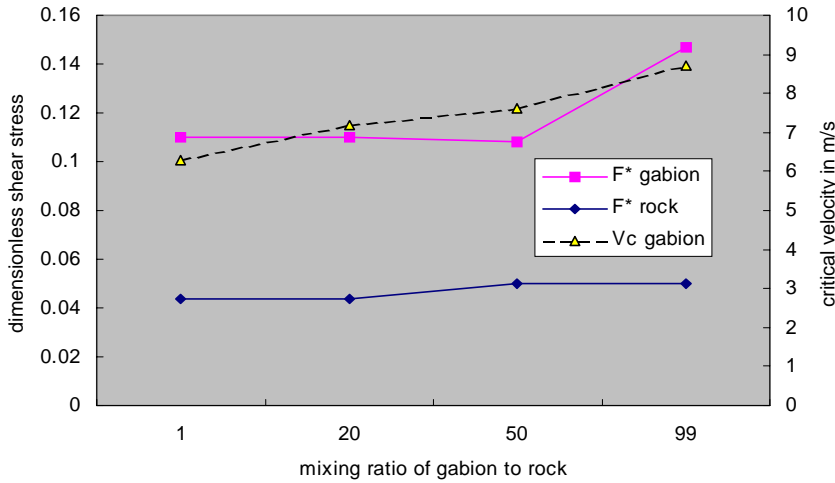


그림 3.2.2-6 물막이 제방 투하 재료의 안전성

상고공의 경우, 그림 3.2.2-7과 같이 석재가 움직이기 시작하는 유속은 6.6m/s이며, 석재와 돌망태가 혼합되는 경우, 돌망태의 혼합비율에 따라서 7.2m/s에서부터 8.2m/s까지 변화하며, 이때 F^*c 값은 석재는 0.054이며, 돌망태는 0.12 정도이다. 또한, 돌망태로만 축조하는 경우, F^*c 값은 0.15정도이다. 이상의 결과는 현장 여건에 따라서 조정되어야 하며, 사석재는 상고공에 비하여 일시적인 구조로서, 공사 중 보완가능하기 때문에 안전율을 적게 할 수 있다.

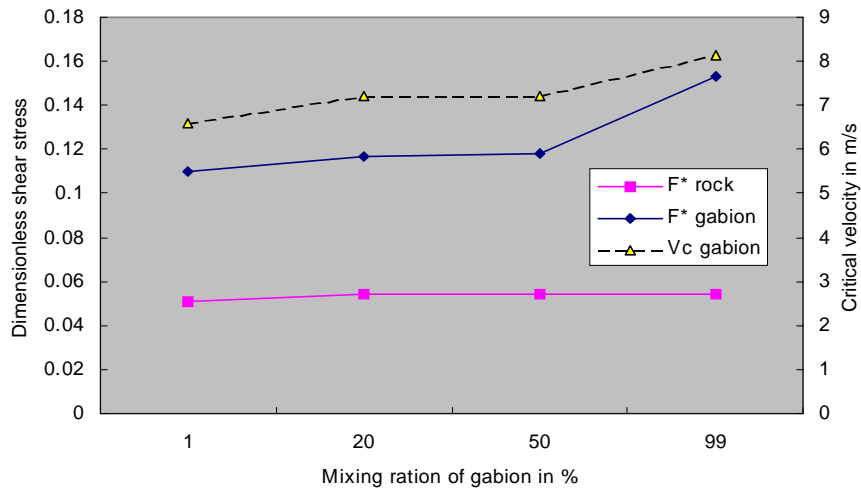


그림 3.2.2-7 상고공 투하 재료의 안전성



그림 3.2.2-8 상고공 재료의 유실

라. 결론

방조제 축조재료의 안정성에 관한 수리시험은 방조제 선단부와 상고공에 석재와 돌망태를 설계 혼합비율에 따라서 시험하였다. 시험 결과, 방

조제 물막이 구간에서 유속은 중심부보다 하류 말단부에서 더욱 가속되며, 이 부분에서 축조 재료의 이동이 뚜렷하게 증가하였다. 또한, 축조 재료의 이동성에 영향을 주는 중요한 요소는 유속과 이에 따른 무차원 전단응력(F_* 값)으로 나타낼 수 있다. 시험과정을 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 방조제 개방구간의 제체 선단부에 설치된 석재와 돌망태의 혼합시료에 관한 시험 결과, 석재 유실은 F_* 값이 0.04 이상에서 나타난다.

석재의 혼합비율이 80%인 경우, 석재의 F_* 값은 0.044정도이며 한계 유속은 1.43m/s(원형 7.2m/s) 정도이며, 돌망태의 F_* 값은 0.10 이상이다. 석재의 혼합비율이 50%인 경우, 석재의 F_* 값은 0.05정도이며 한계 유속은 1.52m/s(원형 7.6m/s) 정도이며, 돌망태의 F_* 값은 0.10 이상이다. 축조 재료의 한계 이동 속도가 가장 큰 혼합시료는 5t의 석재와 3t의 돌망태를 50%씩 혼합한 경우로서 1.56m/s(원형 7.8m/s)의 유속에 저항하였다.

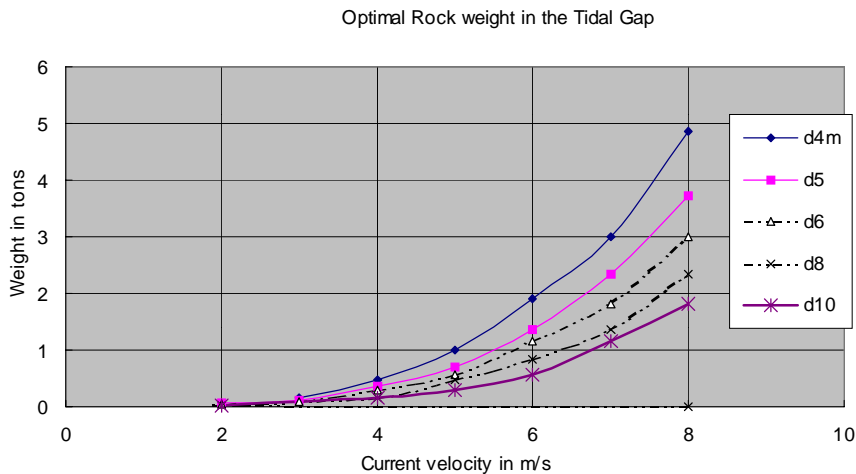


그림 3.2.2-8(a) 물막이 석재와 돌망태 혼합시료의 적정 중량
(석재 $F_* = 0.4$)

Optimal Gabion weight in the Mixed Materials with Rock

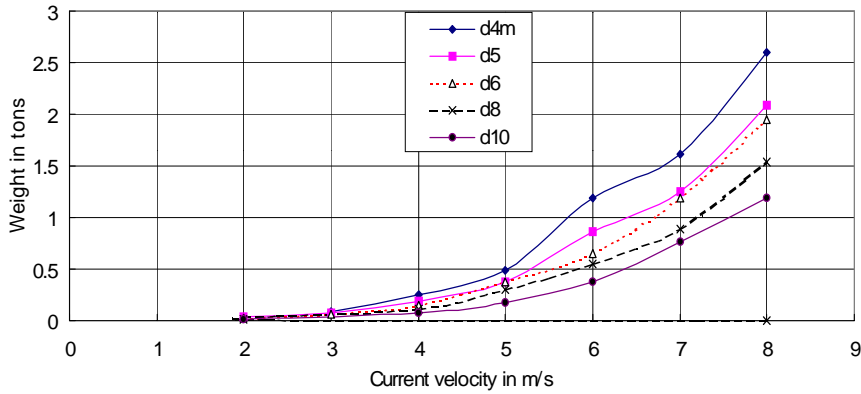


그림 3.2.2-8(b) 물막이 석재와 돌망태 혼합시료의 적정 중량
(돌망태 $F_* = 1.0$)

- 물막이 구간을 석재로만 축조하는 경우, 중량이 1.2t인 석재가 이동하기 시작하는 한계 유속(U_{cr})은 6.3 m/s이며, 중량이 5t인 석재가 움직이는 한계유속은 7.5m/s이며, F_* 는 0.044정도이다. 석재의 중량이 증가할수록 한계유속과 Froude number 및 F_c 값이 함께 증가한다.

- 돌망태 만으로 물막이 공사를 시행하는 경우, 2t의 돌망태가 움직이기 시작할 때의 유속은 8.7m/s이며, F_* 은 0.147이다. 이는 같은 중량의 석재보다 3배 이상의 F_* 과 1.3배의 한계유속을 보유하는 것이다.

- 개방구간의 상고공에 투하되는 석재와 돌망태의 혼합시료에 관한 시험 결과, 3t의 석재와 돌망태를 각각 80%와 20%로 혼합한 재료 중, 석재의 F_* 값은 0.054이며, 돌망태의 F_* 는 0.117정도이다.

또한, 3t의 석재와 돌망태를 각각 50%씩 혼합한 재료 중, 석재의 F_* 는 0.054이며, 돌망태는 0.118정도이다. 이러한 결과를 표 3.2.2-6에 의하여

정리하면, 석재와 돌망태의 혼합시료에서 석재의 F^* 는 0.05, 돌망태는 0.11 정도로 설정할 수 있다.

- 석재로만 상고공을 구성하는 경우 석재의 F^* 는 0.05정도이며, 한계 유속은 1.2t의 석재의 경우 6.6m/s 정도로 나타났다.

- 돌망태로만 상고공을 구성하는 경우 이의 F^* 는 0.153정도이며 한계 유속은 1.2t의 경우 8.2m/s 정도로 나타났다. 이는 같은 중량의 석재보다 3 배의 F^* 값과 124%의 한계유속을 보유하는 것이다.

3. 해수 중 돌망태 투하에 따른 이동 궤적 및 유실 안정 실험

가. 기본 이론

방조제 물막이 개방구간에 투하되는 돌망태가 낙하하며 이동되는 궤적은 수심과 유속, 돌망태의 형상 및 밀도의 영향을 받는다. 또한, 돌망태의 낙하속도는 이동 거리뿐만 아니라 바닥 충격에도 영향을 주며, 충격이 큰 경우에는 이탈되거나 돌망태 파손의 원인이 되기도 한다. 화란의 델프트수리 연구소는 1989년 이스턴 스키프트 방파제에 투하하는 재료가 안정되는 폭을 수리실험을 통하여 개략적인 식을 도출하였다.

$$y_i = a h^{0.5} \text{-----} (3.2.3-1)$$

여기서, y_i 는 투하재료의 이동폭, a 는 보정계수로서 파쇄석은 1.9, 둥근돌은 2.1로 정하였다. 또한, 선박에서 투하되는 점의 연직선 상의 바닥지점인 x_0 으로부터 투하된 구간의 중심점까지의 거리인 x_i 를 투하재료의 낙하 속도와 낙하시간에 의하여 결정하였다.

$$\text{공기 중에서 낙하속도 : } V_{air} = (2 g z)^{0.5} \text{-----} (3.2.3-2)$$

여기서, z 는 투하지점에서 수면까지의 거리이다.

수중에 진입한 후 낙하 속도는 평형 상태에 도달하게 되며 이때의 속도는,

$$V_e = (4/3 * g R_s D / C_d)^{0.5} \text{ ----- (3.2.3-3)}$$

여기서, g 는 중력가속도, R_s 는 투하재료의 상대밀도, D 는 평균 직경, C_d 는 견인력 계수이다. 흐름 유속이 있는 경우에 투하재료의 이동 범위는 투하속도와 흐름 유속 및 수심의 비례식으로 결정하였다.

$$x_i = C h U / (.g R_s D)^{0.5} \text{ ----- (3.2.3-4)}$$

$$C = 0.86 / R_s^{0.5} \text{ ----- (3.2.3-5)}$$

또는 $C = 0.5 / (3/C_d)^{0.5}$

여기서, C 는 흐름이 있는 경우의 경험 계수이다. 그러나, 이 식은 사업지구의 조석의 수직 또는 수평적인 변화를 나타내는데 한계가 있기 때문에, 본 연구에서 좀더 세부적으로 분석하였다.

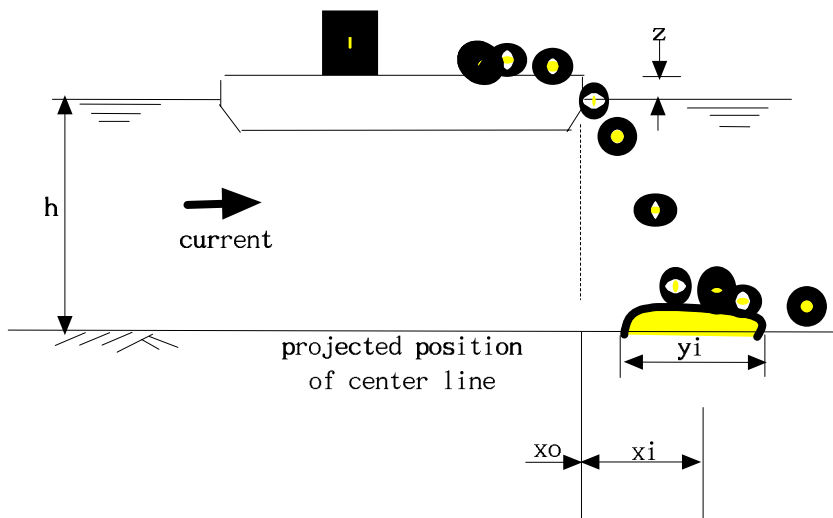


그림 3.2.3-1 투하재료의 이동 궤적

나. 투하석재의 이동 궤적 수치모델 분석

돌망태의 이동에 관한 이론적 해석은 운동량 방정식에 의하여 풀이된다. 돌망태의 이동 방향의 유속 vector를 ω 라하고, 이의 x, y 성분의 유속을 u, v로 하면 이의 유속은 ω_r 이며, 이들의 분력은 u_r, v_r 이다.

여기서, 돌망태의 동수역학적 힘은 돌망태와 물의 이동속도의 관계에 의하여 결정된다. 돌망태의 동력의 합성력을 f라고 하면 각각의 분력은 f_x 와 f_y 이며 이에 추가된 질량 m' 의 영향을 받는다. 이에 따른 운동량 방정식은 다음과 같다.



그림 3.2.3-2 돌망태 투하 모습(새만금 4호 방조제)

$$(m+m') (d^2x/d^2t) = f_x \text{ -----(3.2.3-6)}$$

$$(m+m') (d^2y/d^2t) = -(m-mf) g + f_y \text{ -----(3.2.3-7)}$$

여기서, x, y는 투영면의 좌표이며 mf는 흐름 중에 석재를 대체하는 유체(물)의 질량이다. f는 위치, 유속, 시간의 함수로 나타낼 수 있으므로 위의 연립방정식은 다음과 같이 상미분방정식의 함수 형태로 나타낼 수 있다.

$$dx/dt = u, \quad du/dt = F(x, y, u, v, t) \text{ -----(3.2.3-8)}$$

$$dy/dt = v, \quad dv/dt = F(x, y, u, v, t) \text{ -----(3.2.3-9)}$$

투하 초기의 시간 t_0 에 대하여 돌망태의 위치 (x_0, y_0) 와 유속 (u_0, v_0) 이 주어지면 $t > t_0$ 일 때 돌망태의 이동궤도는 시간의 함수이다. 이러한 초기식의 문제는 Runge-Kutter 방법으로 풀이할 수 있다. 본 연구에서는 Ruge-Kutter의 4차 방정식을 토대로 분석하였다. 투하된 돌망태의 회전력을 무시할 수 있다면 f 는 상대속도 ω_r 의 방향으로 점성에 의한 견인력으로 작용하며 이는 x 방향과 θ 의 각도를 이룬다. 또한, $\sin \theta = (v_f - v)/\omega_r$, $\cos \theta = (u_f - u)/\omega_r$ 이며, $\omega_r = \{(u_f - u)^2 + (v_f - v)^2\}^{0.5}$ 이다.

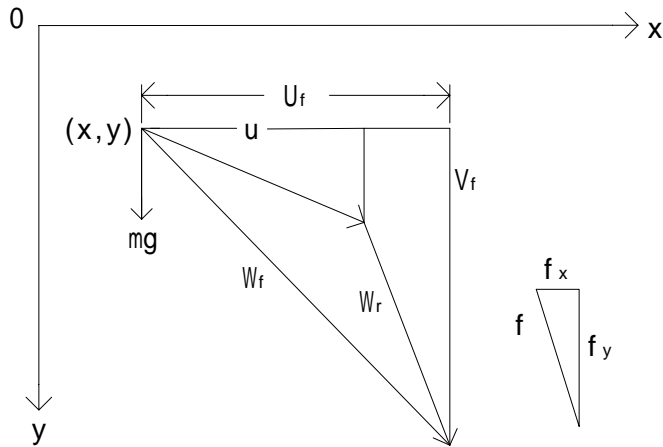


그림 3.2.3-3 투하석재의 흐름 속에서의 2차원 운동

돌망태의 동력의 분력 성분인 f_x 와 f_y 는 $(u_f - u)$ 와 $(v_f - v)$, 그리고 재료의 형상에 의하여 지배된다.

$$f_x = f \cos \theta = 1/8 \pi \rho_f d^2 Cd(u_f - u) \omega_r \text{ -----(3.2.3-10)}$$

$$f_y = f \sin \theta = 1/8 \pi \rho_f d^2 C_d(v_f - v) \omega_r \text{ -----(3.2.3-11)}$$

여기서, C_d 는 w_r 의 속도로 이동하는 투하재료의 견인력 계수로서 구체인 경우 Grain Reynolds number에 영향을 받으며, 재료 형상의 변화가 큰 돌망태는 식(3.2.2-1)의 형상 계수(Shape factor)를 고려하였다. 세부적인 전산 모형 분석은 박상현(1993)등이 방조제 축조재료의 침하 유실에 관한 연구에서 개발한 전산모형을 활용하였다.

다. 원주(column) 수조에서 돌망태 낙하 수리시험

유수 중에 투하된 재료의 침강 속도와 견인력 계수를 구하기 위하여 직경 0.4m, 높이 2.4m의 투명한 아크릴 관으로 원주통을 제작하고 원통의 위에서 재료를 투하한 후 이의 단위시간별 이동 거리를 스트로보스코프로 측정하였다. 이의 주기별 섬광은 600rpm의 간격으로 정하며 투하재료의 촬영 단위 시간은 0.1초의 간격으로 이동 거리를 촬영한 후 판독하였다. 투하재료는 석재와 콘크리트 블록 및 모래포대 등을 사용하였으며, 실험 결과는 재료 직경과 형상계수에 따라 투하 후 침강거리별로 전산계산결과와 비교한 결과 매우 잘 일치하였다. 그림 3.2.3-4는 직경이 2.4cm이고 형상계수가 0.74인 석재의 비교 결과이며, 그림 3.2.3-5는 직경이 8.2cm이고 형상계수가 0.34인 돌망태의 경우이며, 그림 3.2.3-6은 가로와 세로 및 높이가 18.5cm, 9.5cm, 5.5 cm인 콘크리트 블록의 경우를 비교한 결과이다.

또한, 유수 중 투하재료의 이동 거리에 관하여 실험하였다. 수조의 수심을 0.45m, 유속을 0.7-0.8m/s로 유지하면서 축조 재료를 투하하며 재료 규모 및 형상계수별로 실행하였다. 실험 결과, 그림 3.2.3-7, 3.2.3-8과 같이 유수 중에 투하된 재료는 유속이 증가하고 직경이 작을수록 이동거리는 비례적으로 증가하며, 이러한 현상은 직경이 감소할수록 두드러졌다.

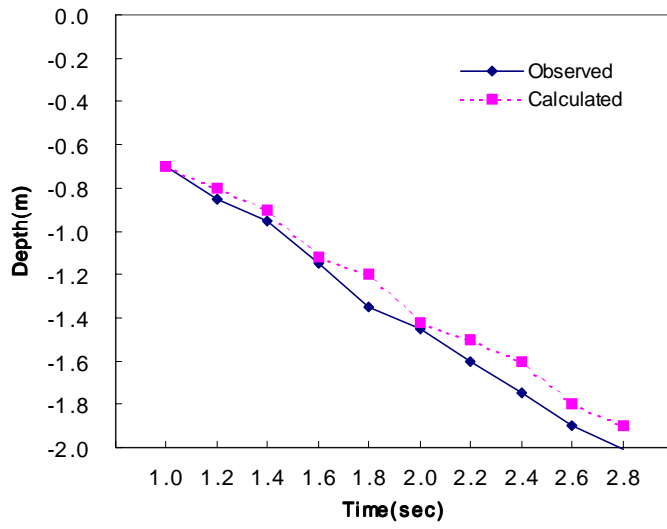


그림 3.2.3-4 투하석재의 궤적(D50=0.024, SF=0.74)

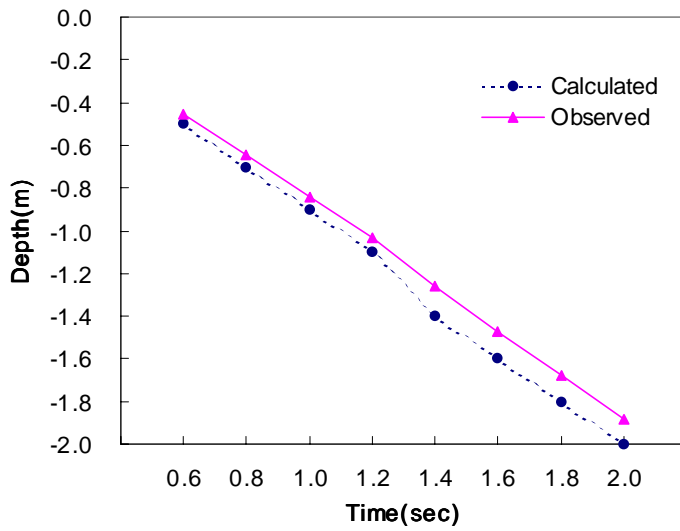


그림 3.2.3-5 모래주머니의 궤적(D50=0.082, SF=0.34)

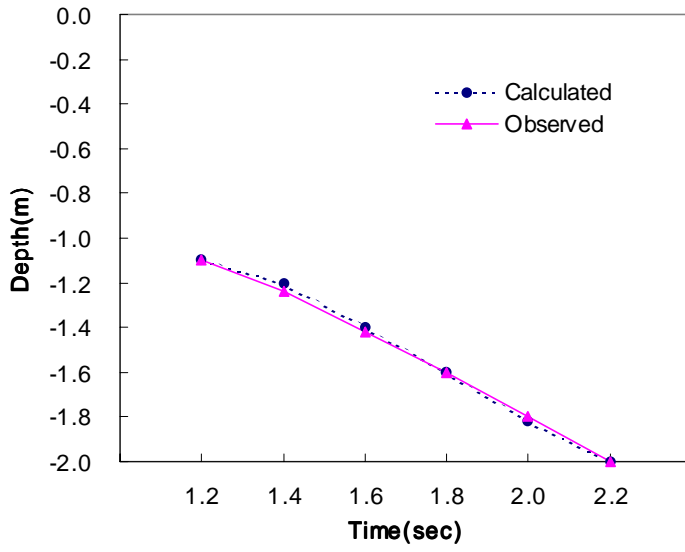


그림 3.2.3-6 투하재료의 궤적 (콘크리트 블록 : 18.5*9.5*5.5)

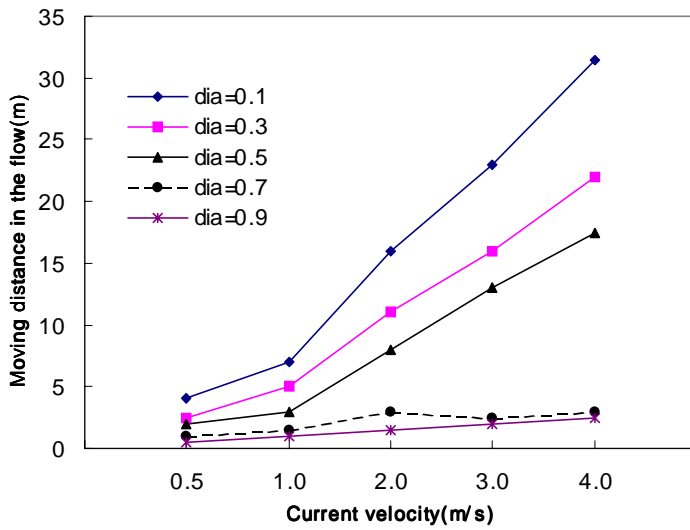


그림 3.2.3-7 유속에 따른 유수 중 투하석재의 이동거리(SF=04, h=10m)

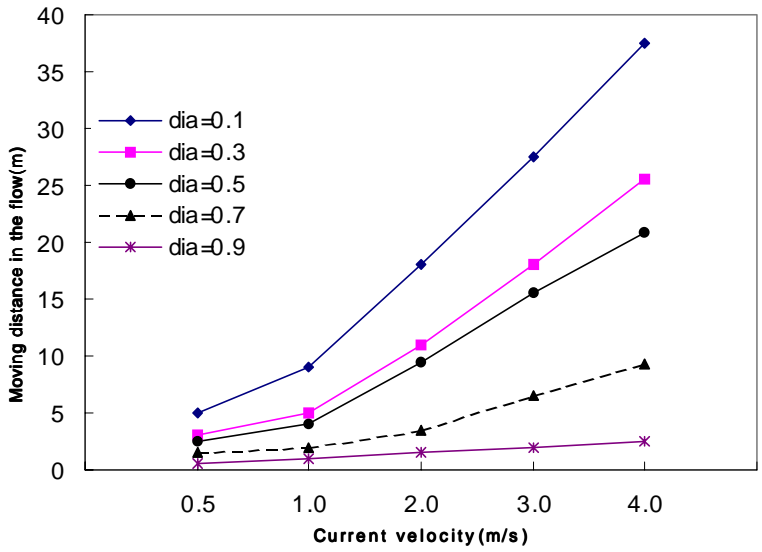


그림 3.2.3-8 유속에 따른 유수 중 투하석재의 이동거리(SF=0.8, h=10m)

또한, 형상계수가 작을수록 이동거리는 증가하였다. 그림 3.2.3-9는 재료의 크기와 형상별로 이동 거리를 나타내고 있으며, 형상 계수가 작을수록 이동거리가 증가하는 것은 형상이 평편할 수록 양력을 받는 면적이 넓어서 증력방향의 이동이 어렵기 때문인 것으로 판단된다. 그러나, 직경이 0.9cm 이상의 경우 이의 영향은 매우 적어진다. 따라서, 현장에서 대형의 축조재료의 낙하 이동에 있어서 형상계수의 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

유수 중 투하 실험 결과는 수치모형에 의한 계산결과와 비교 분석하였으며, 이의 결과는 그림 3.2.3-10과 같이 수치모형 분석 결과가 다소 크게 나타나며, 상관계수는 0.6 정도로 낮은 편이다. 이는 투하재료가 유수 중에 침강하는 과정에서 영향을 주는 양압과 불규칙한 와류와 회전운동 등에 기인하는 것으로 판단된다. 이러한 영향인자들은 수리모형이나 수치모델로 파악되기 어려운 특징이므로 사업지구별 특성에 따라서 보완되어야 할 것이다.

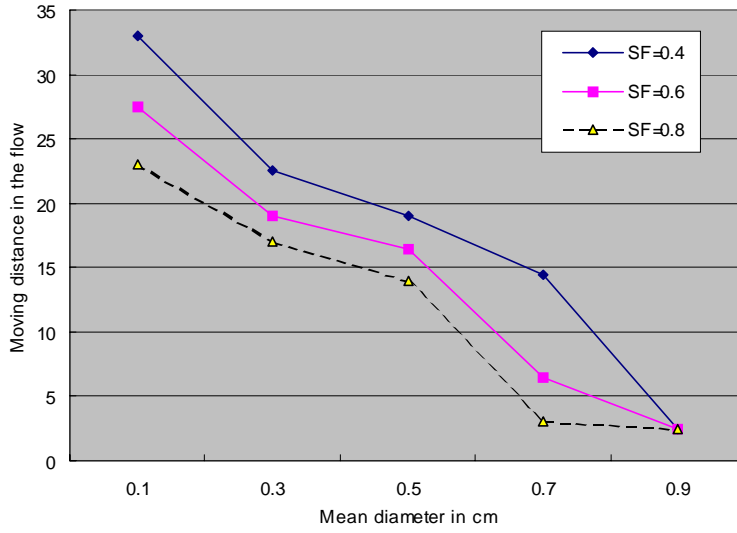


그림 3.2.3-9 투하석재 크기별 유수 중 이동거리

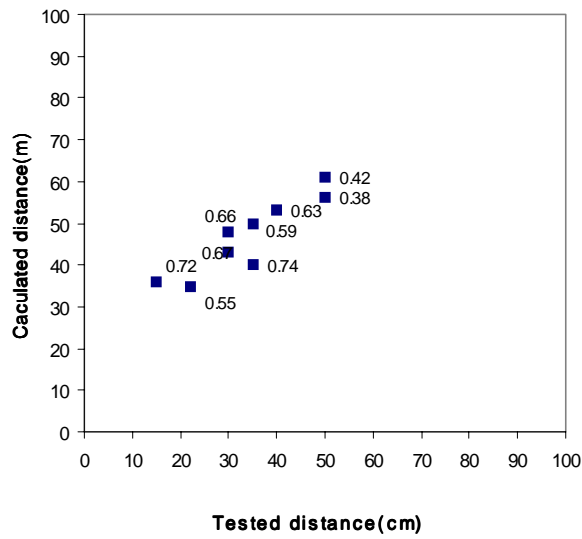


그림 3.2.3-10 투하석재 이동거리의 실측값과 계산값의 비교

제 3절 방조제 피복 돌망태 재료 개발

1. 파랑과 조위 및 제방 경사면에 따른 피복 재료의

적정 규모 분석

방조제 피복 재료의 안정성은 파랑과 조위에 크게 영향을 받는다. 또한, 석재를 이용한 방조제는 파랑의 투수성이 적은 형태이지만, 투수성인 방파제의 피복석의 중량은 Hudson 공식에 의하여 결정되어왔다. 방파제에서 도파(wave run up), 파의 쳐내림(wave run down), 월파(wave overtopping), 투과(wave transmission) 및 반사(wave reflection) 등의 파랑 인자와 구조물의 경사도, 축조재료의 비중과 형태, 표면 거칠기, 점성력, 공극, 투과성 등은 방파 구조물의 안정에 중요하다. 본 연구에서 검토되는 사석 및 돌망태 등의 크기와 형태 및 경사면의 거칠기는 안정성에 영향을 준다. 사석 방파제 (rubble-mound structures) 구조물은 파랑의 진입에 따른 쇄파 충격에 직면하게된다. 방파제의 안정에 대한 기존의 경험식들은 특정한 단면과 재료 및 파랑 조건에 관한 것들이 대부분이며, 돌망태에 관한 연구 결과는 매우 적은 편이다.

가. 기본 이론

1) Hudson 공식

Hudson(1959, 1961)의 경험공식은 여러 가지 형태의 축조재료에 대한 안정 계수(stability coefficient)를 결정키 위해 수리 모형실험이 실시되었다. Hudson공식은 미공병단의 Shore Protection Manual(1984)에 제시되었으며, 사석 및 TTP 등의 인공블록에 의한 방파제 설계에 사용되고 있다. Hudson의 실험공식은 다음 3가지의 가정 하에 이루어졌다.

- 1) 관성력(inertia force)은 항력(drag force)에 비해 무시할만하다.
- 2) 유체입자의 속도는 입사파고의 제곱근에 비례한다.
- 3) 안정공식은 부력과 항력의 평형상태에 근거를 두고 있다.

Hudson 공식의 약점은 파랑을 규칙파로만 가정하고 주기 및 취송기간(storm duration)은 무시되며, 피해 정도(damage level)가 모호하며, 제방 위로 월파되지 않는 가정 및 투수성 코아에만 사용되는 제한 요소가 많은 점이다. 이에 반하여, Ahrens와 McCartney(1975)은 사석의 안정성(stability of riprap)은 파의 주기와 밀접한 관계가 있다는 것을 구명하였다. 방괴석 간의 엇물림, 방괴석 표층과 아래층(sublayer)의 투수성 및 마찰력, 사면 경사 형태 및 방파제 전면하부(toe)의 수심은 방파제 설계에 중요한 인자들임이 Smith와 Gordon(1993)에 의해 발표되었다. 이들은 Hudson 공식이 쇄파에 의한 충격 파력에 의한 훼손에만 적용됨을 깨달았다. Hudson 피복석 안정공식의 사용에 대한 논란에도 불구하고 꾸준히 사용되는 것은 간편하기 때문이다.

$$W_a = \frac{\gamma_a H^3}{K_D \Delta^3 \cot \alpha} \text{-----(3.3.1-1)}$$

여기서 W_a : 피복단위의 중량, γ_a : 피복단위의 단위중량,

H : 설계파고, K_D : 안정계수, $\cot \alpha$: 사면기울기

Δ : 해수 중에서의 상대밀도 ($\rho_a / \rho_w - 1$)

ρ_a : 사석의 비중(표면건조포화상태), ρ_w : 해수 비중,

Hudson 공식에서 설계파고를 유의 파고로 보아야하는지는 명확하지 않다. Tanimoto(1985)의 불규칙파에 의한 실험 등을 통하여 파고는 초기의 유의파고($H_{1/3}$)에서 1/10 최대파고($H_{1/10}$)로 바뀌었다.

미공병단의 WES에서 시행한 특정 지역의 방파제 안정에 관한 연구 결과들은 파고, 주기, 수심, 해저경사들을 상당 범위 다루고 있었다. 이 같은 연구들은 주어진 수심, 주기 및 해저경사에 대한 최대쇄파조건을 사용하였다. 미공병단의 Carver는 Hudson 공식의 안정계수(K_D)가 피복 사석과 인공블록에 대해 일정하지 않고 크게 변하는 이유를 살펴보았다. 특히, 안정계수와 파고, 주기 및 수심과 같은 변수들 사이의 함수관계(functional relationship)를 발전시켰다. 수리학적 안정에 대해 상대수심(d/L)과 상대파고(H/d)의 함수관계가 사용되었고 쇄파와 비쇄파 실험결과 사이의 연관성을 발견하였다.

2) Van der Meer 공식

방파제의 파랑작용은 공극, 투과성 및 구조물의 단면 등에서 상당히 다름에도 사석 및 tetrapod 등의 피복단위 중량을 Hudson 공식에 의하여 결정되어 왔다. 공극, 투수성 등이 다른 방조제 및 방파제의 구조적 차이점을 고려하여 최근에는 DHL의 Van der Meer가 경사제 피복석의 새로운 설계공식을 유도하고 있으며 농지개량사업계획(설계기준)에도 Van der Meer 공식이 채택되어 새만금방조제의 단면설계에도 이용하였다. Van der Meer 공식의 기본적인 파랑경계조건은 파고, 주기 혹은 파형경사 및 쇄파상사성 매개변수(surf similarity parameter)로 표현할 수 있다. 파랑 조건에 대한 사석구조물의 수리적 대응(response)은 파의 쳐올림(wave run-up), 파의 쳐내림(wave run-down), 월파(wave overtopping), 투과(wave transmission) 및 반사(wave reflection) 등이다.

파랑매개변수(wave parameters)를 결정하는 파랑 조건들은 구조물의 전 단하부의 입사파고, $H_{1/3}$ 와 평균파주기(T_m) 혹은 피크주기(peak period, T_p)와 입사각(β) 및 수심(h)이다. 파랑은 불규칙하기 때문에 파고 및 주기가 다르게 분포한다. 심해의 파고분포는 Rayleigh 분포로 표현할 수 있으며, 이런 경우 유의파고로 전체적인 분포를 나타낸다. 천해역이나 수심이 제한된 수역에 있어서 최대파는 먼저 쇄파되어 대부분의 경우, 파고분포는 Rayleigh 분포를 따르지 않기 때문에 실제 파고 분포는 유의파고 외의 다른 특성치를 고려할 수도 있다. 이런 경우 사용되는 특성치는 종종 2% 최대파고($H_{2\%}$)와 1/10 최대파고($H_{1/10}$)로 표현한다. Rayleigh 분포에서 $H_{2\%} = 1.4 H_{1/3}$ 와 $H_{1/10} = 1.27 H_{1/3}$ 로 나타난다. 파랑의 주기에 대한 영향은 파장 및 파고와 관련된 파형경사로 나타낸다. 파형경사 s 는 심해파의 파장($L_0 = gT^2/2\pi$)을 사용하여 식 (3.3.1-2)로 표현된다.

$$s = \frac{H}{L} = \frac{2\pi H}{gT^2} \text{-----(3.3.1-2)}$$

심해에서 파장은 천해역으로 들어서며 변화하며, 이를 토대로 파형경사를 계산한다. 사면의 파랑 작용에 중요한 매개변수는 쇄파 유사성 매개변수 (surf similarity parameter) 혹은 쇄파 매개변수(breaker parameter)인 ξ 로서 식 (3.3.1-3)으로 표현된다.

$$\xi = \tan \alpha / \sqrt{s} \text{-----(3.3.1-3)}$$

쇄파상사성 매개변수는 종종 해안이나 구조물에서의 쇄파의 형태를 표현하는데 사용된다. 구조적 매개변수(structural parameters)들은 파랑, 사

석, 단면형태와 관련되며 이 중 중요한 매개변수는 $H/\Delta D$ 이다 . 여기서 D 는 피복 재료의 공칭직경이며 식 (3.3.1-4)로 표현된다.

$$D_{n50} = \left[\frac{M_{50}}{\rho_r} \right]^{1/3} \text{-----}(3.3.1-4)$$

여기서, D_{n50} = 공칭직경, M_{50} = 질량분포 50%에 의해 주어진 사석 질량의 중간값이다. 구조물의 투수성은 필터층과 코아의 크기에 좌우되며 명목 투수인자 P 로 나타낸다.

P 의 하한값은 불투수 코아(모래 혹은 점토)와 얇은 필터층만을 가진 피복석의 2배의 직경을 가진 피복층에서 나타나며 0.1로 주어진다. P 의 상한치는 같은 크기의 사석으로 이루어진 동질의 재료로 구성된 구조물에 해당되는데 0.6으로 주어진다. 여기서 투수인자, P 는 구조물의 공극의 크기를 나타내는 것이 아니다. Hudson 공식에 있어 $K_D \cot \alpha$ 의 사용은 사면경사각을 항상 최적으로 설명하지는 않는다. 그러므로 $K_D \cot \alpha$ 없이 단순 안정계수(single stability number)를 정의하는 것이 편리하다. 재배열된 Hudson 공식은 식(3.3.1-5)과 같다.

$$H_s/\Delta D_{n50} = (K_D \cot \alpha)^{1/3} \text{-----}(3.3.1-5)$$

심해조건에서 개발된 Van der Meer 공식은 Thompson과 Shuttler(1975)의 작업에 근거하여 광범위한 모형실험이 Van der Meer(1988a, 1987, 1986))에 의해 행해졌다. 이 실험은 다양한 범위의 코아부 및 하층부의 투수성 및 광범위한 파랑조건을 포함하고 있다. Van der Meer는 실험을 통하여 권파(plunging wave)와 쇄기파(surgng wave)에 대한 2개의 공식을 유도하였다.

권파일 때(plunging waves)

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6.2 P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \xi_m^{-0.5} \text{ -----(3.3.1-6)}$$

쇄기파일때(surgng waves)

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0 P^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} \xi^p \text{ -----(3.3.1-7)}$$

여기서 N : 파랑수(number of waves)이다. 권파(plunging waves)에서 쇄기파(surgng waves)로 변이되는 과정은 ξ_{mc} 의 한계값을 사용하여 계산될 수 있다.

$$\xi_{mc} = [6.2P^{0.31} \sqrt{\tan \alpha}]^{\frac{1}{P+0.5}} \text{ -----(3.3.1-8)}$$

기울기가 1 : 4 이상($\cot \alpha \geq 4$)에서는 변이 과정(transition)이 존재하지 않으므로 식(3.3.1-7)만이 사용되어야 한다. 명목투수인자, P는 0.1과 0.6 사이에 있어야만 한다. 이와 같이 방파제의 사석 안정은 내부 투수인자에 의해 영향을 받는다. 피해수준(Damage level) S에 대한 설계치가 표 3.3.1-1에 있다.

표 3.3.1-1 S의 설계치

사면경사	초기피해	중기피해	붕괴
1 : 1.5	2	3 - 5	8
1 : 2	2	4 - 6	8
1 : 3	2	6 - 9	12
1 : 4	3	8 - 12	17
1 : 6	3	8 - 12	17

초기 피해수준(level start of damage), $s = 2 \sim 3$ 은 Hudson 공식의 “No damage” 정의와 같다. 식(3.3.1-6)과 (3.3.1-7)에 사용되어야만 하는 최대 파랑의 수는 7,500이다. 이 만한 파랑이 진입한 후에 구조물은 대체로 평형 상태에 도달한다. 파랑의 평균주기를 최대 10초로 가정하면 20.8 시간동안 동일한 파고가 계속 발생하는 것이지만 실제로는 방조제에 도달하는 최대파의 파랑의 수는 상당히 줄어들 것으로 생각되기 때문에 파랑수를 결정하는데 신중하게 하여야 한다. 파형경사(wave steepness)의 범위는 다음과 같다.

$$0.005 < S_{om} < 0.06$$

실험에서 변하는 피복단위의 비중은 $2,000\text{kg/m}^3 \sim 3,100\text{kg/m}^3$ 이다. 이 식들은 파장(wave length), 폭풍 기간(storm duration), 구조물의 투수성(permeability) 및 피해정도(damage level)를 포함한다. Van der Meer 공식에서 Hudson 공식에 있는 $H/\Delta D_{h50}$ 는 단지 사면경사 $\cot \alpha$ 만 관계가 있다. 그러므로 $\cot \alpha$ 에 대한 $H/\Delta D_{h50}$ 은 Hudson 공식에 대한 한 개의 곡선을 보여주며, 식(3.3.1-6)~식(3.3.1-8)은 파주기(혹은 파형경사), 구조물의 투수성 및 폭풍기간 등이다.

Hudson 공식은 특별한 경우에 대한 매우 거친 추정으로만 사용할 수 있다. $H/\Delta D_{h50}$ 수에 있는 2개 인자의 차이는 8개의 인자를 가진 돌의 크기(mass)의 차이이다.

천해조건에서 Van der Meer 공식이 개발되기 까지 유의 파고 H_s 는 사면 피복단위의 안정 공식에 사용되어 왔다. 천해조건에서 파고분포는 쇄파로 인하여 Rayleigh 분포로부터 벗어난다. Van der Meer(1988a)에 의해 시행된 1 : 30의 사면경사와 수심이 한정된 전빈(foreshore)에서의 실험은 H_s 보다는 $H_{2\%}$ 가 한정수심전빈(depth limited foreshore)에서의 설계에 더 좋음을 보여 주었다. 즉, 수심이 한정된 상황에서의 피복층의 안정은 H_s 보다는 파

고분포 $H_{2\%}$ 가 파랑특성치로서 더욱 좋게 나타난다. 식(3.3.1-6)~(3.3.1-8)들은 Rayleigh 분포에 대한 $H_{2\%}/H_s$ 의 차에 의해 재조정될 수 있다.

권파일 때(plunging waves)

$$\frac{H_{2\%}}{\Delta D_{\gamma 50}} = 8.7 P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \xi_m^p \text{ -----(3.3.1-9)}$$

난파일 때(surging waves)

$$\frac{H_{2\%}}{\Delta D_{\gamma 50}} = 1.4 P^{0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} \xi_m^p \text{ -----(3.3.1-10)}$$

식(3.3.1-9) 및 식 (3.3.1-10)은 수심이 한정된 상황을 설명한다. 그러나 안전한 접근방법(safe approach)는 유의파고 H_s 와 함께 식(3.3.1-6)과 (3.3.1-7)을 사용하는 것이다. 그 경우에 쇄파에 의한 파고 초과곡선의 절단(the truncation of wave height exceedance curve)은 안전 접근방법으로 여겨질 수 없다. 만약, 파고가 Rayleigh 분포를 따른다면, 식(3.3.1-9)와 (3.3.1-10)은 $H_{2\%}/H_s$ 의 비가 1.4인 것과 같이 식(3.3.1-6) 및 (3.3.1-7)과 같은 결과를 준다. 한정된 수심 조건에 대해서는 $H_{2\%}/H_s$ 의 차가 더 작아질 것이며, 이 차의 실제값에 대한 정보를 얻어야만 한다. 이 같은 값들을 현장측량자료에 의하여 구할 수 있다.

피복층의 형상(shape) 및 폭넓은 입도분포에 의한 안정성은 Latham 등 (1988)에 의해 검토되었고 이들은 fresh, equant, semi-round, very round, tabular 등 5개의 각기 다른 형상에 대해 실험을 하였다. 시험된 각각의 피복석의 형상을 이용한 단면의 피해와 식(3.3.1-6)과 (3.3.1-7)을 사용하여 계산한 결과 very round rock이 다른 형상의 피복석보다 피해가 컸다. fresh와 equant 피복석의 실험결과는 대체로 비슷했다. 놀랍게도 tabular 피복석이 다른 형상의 피복석보다 매우 안정하였음을 보여 주었다. 식

(3.3.1-6)의 계수 6.2와 식(3.3.1-7)의 계수 1.0은 피복석 형상의 영향을 표시하였다. 매우 넓은 입도분포(very wide grading)의 피복석의 안정은 Allsop(1990)에 의해 조사되었다. 불투수성 코아의 사면경사 1 : 2에서의 모형실험은 $D_{85}/D_{15} = 2.25$ 보다 넓은 입도분포의 피복석 사용이 식(3.3.1-9)와 식(3.3.1-10)에 의해 예측된 것과는 근본적으로 다른 실험결과를 나타냄을 확인하는데 수행되었다. 실험결과를 좁은 입도분포 ($D_{85}/D_{15} < 2.25$)를 갖는 피복석에 대해 이들 식들이 타당함을 확인시켜 주었다. $D_{85}/D_{15} = 4.0$ 과 같은 넓은 입도분포를 가진 피복석은 좀 더 좁은 입도분포에 대해 예측한 것보다 일반적으로 조금 더 큰 피해를 줄 수 있다. 어떤 특수구조물에 대해서는 좁은 입도분포에서의 피복석의 변이보다도 피복층에서의 개개의 피복석의 크기에 있어 더욱 큰 국부적변동(local variations)이 있다.

3) Pilarczyk 공식에 의한 석재와 돌망태 안정성 비교 분석

권파(Plunging wave)에 관한 안정성에 관하여 Pilarczyk(1990)는 다음과 같은 식을 발표하였다.

$$H/\Delta' D = \Phi_1 \Phi_2 \cos \alpha / \xi m b$$

여기서 H는 파고, Δ' 는 재료의 상대 밀도, D는 보호공 구조물의 두께, Φ_1 는 안전율 증가계수로서 석재는 1.0이고 기타 재료는 1보다 크며 돌망태는 2 ~ 2.5이다. Φ_2 는 파랑에 대한 안정성을 나타내며 석재의 경우 2.25 ~ 3.0이다. α 는 구조물의 기울기이며 ξm 은 파랑 형태에 따른 계수이며, b는 경험계수로서 석재는 0.5이며 다른 재료는 0.667이다. surging wave(쇄기파)의 경우, ξm 은 권파의 한계값인 3.0으로 정할 수 있다.

여기서, Van der Meer 공식은 파랑에 대한 안전 계수를 정하는데 사용될 수 있다. 이 식은 화란의 델프트수리시험소에서 Van der Meer(1988-1)가 실험한 결과이다.

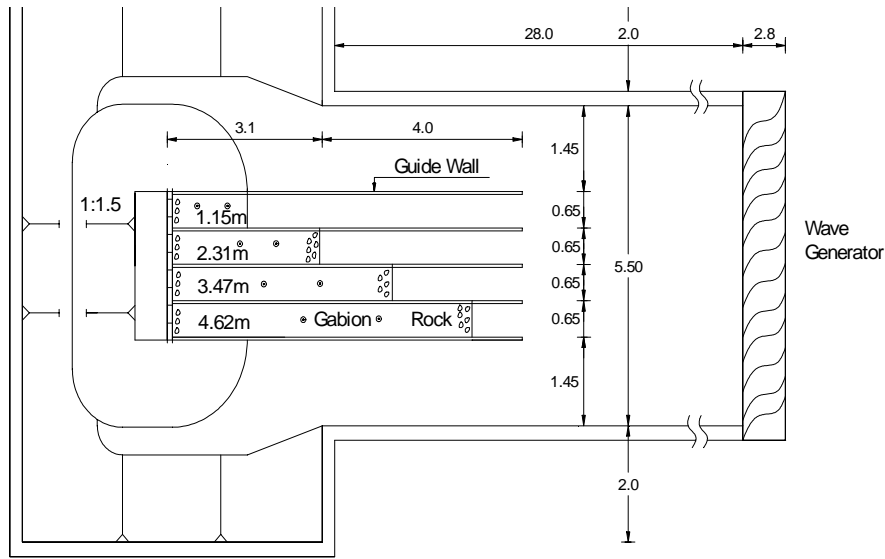
4) 결론

피복블록 및 사석의 안정중량 결정을 위하여 Hudson공식을 사용하는 것은 현재의 해안공학의 기술수준과 비교하여 살펴볼 때 보완의 여지가 있으며, 구조물의 공극, 투과성 및 구조물의 단면과 파랑의 파형경사 및 쇄파상사성 매개변수(surf similarity parameter)를 고려한 Van der Meer 공식이 비교적 합리적이다. 도파고를 결정하기 위하여 감세법을 이용하여 여러 가지의 감소인자들이 공식에 삽입되었다. 감소인자들의 영향을 고려한 감소계수들은 소단(berm), 천해전빈(shallow foreshore), 경사면의 조도 및 단봉(short-crested) 및 장봉(long-crested)의 경사 입사파를 포함한다. 도파는 쇄파매개변수(breaker parameter)와 감소인자(reduction factor)들로 표현될 수 있다.

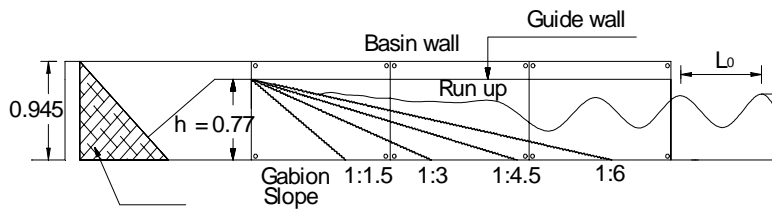
2. 사석제와 돌망태의 적정 규모 수리실험

가. 모형

돌망태를 이용한 제방 구조물의 파랑 진입에 따른 돌망태의 안정성을 구명하기 위하여 축척 1:50의 수리모형이 제작되었다. 이는 폭 5.5m, 길이 33m의 수로로서 수로 양측에는 제방 모형과 조파기를 설치하였다. 제방 모형은 1:1.5, 1:3, 1:4.5, 1:6의 네 가지 기울기를 갖으며, 각각의 폭은 0.65m로 정하였다. 모형의 평면도와 단면도는 그림 3.3.2-1과 같다.



(평면도)



(종단면도)

그림 3.3.2-1 돌망태 방파제 수리모형 구성

돌망태 모형의 무게는 다음 식으로 계산하여 제작하였다.

$$\frac{Fm}{Fp} = \frac{Wm}{Wp} = \frac{\gamma m}{\gamma p} = \left(\frac{Lm}{Lp}\right)^3 = \frac{1}{125,000} \text{-----} (3.3.2-1)$$

여기서 F : 힘

W : 무게

γ : 비중

돌망태 모형의 중량은 원형을 7.5t으로 하면, $7.5t/125,000=60g$ 이 되므로 중량 60g의 돌망태 모형을 제작하였다. 또한 사석재와 비교하기 위하여 6t (모형 48g) ~ 10t(모형 80g)의 사석재를 사용하였다.

돌망태와 사석재를 그림 3.3.2-2와 같이 돌망태(우측)와 사석재(좌측)를 나란히 쌓아 안정성을 비교하였다. 또한 각 높이별로 돌망태와 사석재의 색깔을 달리해 파고 및 수심별 안정성을 관측하였다.



그림 3.3.2-2 방파제 모형

나. 조파장치

조파기는 그림 3.3.2-3과 같이 피스톤형 서보 방식의 actuator에 의해 조파판을 작동하는 방식이며 조파판에는 4개의 wave gauge가 붙어 있어 직립 구조물의 반사파를 흡수하는 기능을 갖고 있다. 그러나 불규칙파를 작용시키는 방파제 수리모형실험시, 실험파랑 재현에 어려움이 발생할 소지가 있

어 수로분할법에 의한 실험을 수행하였다. 수로분할법에 의한 단면안정실험에서는 반사파 흡수조절시스템을 적용치 않고 조파를 수행하였다.

서보방식의 actuator는 최대 이격 거리(maximum stroke)가 60cm이며 실제 모형상에서는 수심 1m에서 최대 60cm 까지 파고를 발생시킬 수 있다.

실험에 사용된 관측기기는 다음과 같다.

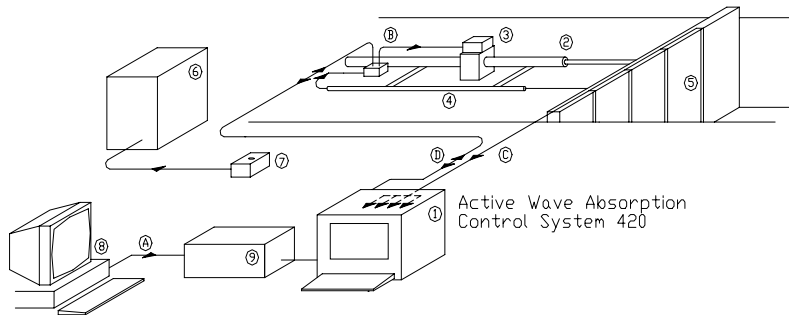
1) 파고계 : 사용된 파고계는 전기저항식으로서 길이는 60cm이다. 파고계는 선형관계를 이용하여 수위변화에 따른 전압의 변화를 감지하여 파랑에 의한 수표면의 변화를 나타내며 오차는 0.5% 정도로 매우 정밀하다.

2) 컴퓨터 : 32비트 IBM 486PC로서 조파기 제어 및 자료의 취득과 분석에 사용되었다.

3) A/D Converter(16채널) 및 D/A Converter(4 채널) : 컴퓨터에서 제어된 파랑신호들이 D/A Converter를 통해 Actuator에 전달되며 파고계 등의 계측기로부터 전달된 아날로그신호를 디지털신호로 변환시켜 컴퓨터에 저장하는데 사용되었다.

다. 실험조건

- 파고 : 5m, 7m
- 주기 : 7sec, 11sec
- 조차 : 7m
- 만조위 : 2.375m,
- 간조위 : 1.675m



Main Components :

- ① DHI AWACS 420
- ② Hydraulic Servo Actuator
- ③ Servo Valve
- ④ Position Feedback Transducer
- ⑤ Wave Feedback Gauges(Two to Four Sets)
- ⑥ Hydraulic Power Pack
- ⑦ Hydraulic Power Pack Remote Control Panel
- ⑧ PC/DHI Wave Synthesizer with I/O Module
- ⑨ DHI I/O Filter 153/IF

Signal Lines :

- Ⓐ Desired Wave Control Signal
- Ⓑ Modified(Servo Amplified) Wave Control Signal
- Ⓒ Position Feedback Signal
- Ⓓ Wave Feedback Signal

그림 3.3.2-3 조파시스템



그림 3.3.2-4 방파제 안정성 시험 모습

라. 실험결과

수심이 간조위인 1.675m이고, 파고 5m, 주기 7sec의 파랑에서 기울기 1:1.5의 방파제는 돌망태 사면과 사석재 사면 모두 완전히 유실되었으나, 그 외의 기울기에서는 돌망태와 사석재 모두 안전하였다. 또한 만조위에서도 1:1.5 기울기의 방파제는 돌망태와 사석재 모두 유실되었고, 그 외의 기울기에서는 안전하였다. 따라서 돌망태나 사석을 이용하여 방파제를 축조할 경우 1:1.5 기울기는 부적당한 것으로 판단된다.

파고 7m, 주기 11sec의 파랑에 대해서는 기울기 1:1.5의 방파제는 만조시와 간조시 모두 파고 5m, 주기 7sec의 파랑에서와 마찬가지로 돌망태 사면과 사석재 사면 모두 완전히 유실되었다. 기울기 1:3의 방파제는 간조시에는 안전하였으나, 만조위인 수심 2.375m인 경우는 그림 3.3.2-5와 같이 사석재 일부가 파도에 의해 유실되었다. 유실된 부분은 수면과 접하는 부분이었다. 그러나 돌망태로 축조한 부분은 이동이 없었다. 따라서 1:3 기울기의 방파제를 사석재로 축조하는 것은 피하는 것이 좋을 것으로 판단되며, 부득이 사석재로 축조하는 경우에는 사석재의 크기 및 중량 등을 고려하여 안전성을 충분히 파악한 뒤에 축조해야 할 것이다.

이상과 같이 중량이 7.5t인 돌망태를 사용하여 방파제를 축조할 경우 설계 파고인 파고 7m, 주기 11sec, 만조위에 대하여 사면의 기울기가 1:3, 1:4.5, 1:6인 경우는 안전한 것으로 나타났다. 사석재는 1:4.5, 1:6인 경우에 안전한 것으로 나타나 본 실험에서는 사석재보다 돌망태가 안전성면에서 좋은 것으로 나타났다. 이와 같이 돌망태의 경우는 1:3, 1:4.5, 1:6의 기울기에 대하여 안전하나 1:4.5나 1:6의 기울기는 1:3 기울기의 방파제에 비해 공사비가 많이 소요되므로 경제성과 안전성을 모두 고려하여 돌망태 방파제의 기울기를 설정하는 것이 좋을 것으로 판단된다.



그림 3.3.2-5 유실된 방파제 사면(파고 7m, 주기 11sec, 만조위)

3. 해안 돌망태 방파제의 진입파랑 예측을 위한 수치해석

가. 배경

본 연구는 새만금방조제를 시범지구로 선정하여 이 지역의 설계파랑 설정과 방조제 단면을 돌망태로 구축하기 위한 기술적 대안을 검토하기 위하여 영국의 월링포드 연구소(HR Wallingford Ltd)에서 개발한 모델을 활용하여 연구를 수행하였다. 이를 위해 새만금 해역에서 관측한 파랑자료를 검토·분석하고, 방조제와 인접한 10개 지점을 선정하여 이 지점에서의 파랑 조건을 예측하는 수치모델링 기법을 적용하였다. 또한 극치해면과 극치파랑의 확률을 예측하기 위하여 결합확률분석 기법을 적용하였다.

돌망태 방조제 설계를 위하여 제 1차적 수리적 조건인 파랑을 포함한 해면 상태를 결정할 때는 일반적으로 3가지의 계산 및 예측과정을 거쳐야 한다. 즉, 심해파랑의 결정, 천해파랑 변형 및 파랑과 조위와의 결합확률 분석이

다. 그 외 4번째로 쇄파의 효과를 포함하여 방조제 근고공(toe)에 직접 영향을 미치는 파랑의 변형을 생각할 수 있다.

본 모형에서는 OUTRAY모델, 결합확률기법 등이 적용되었는데, 이를 간략히 설명하면 다음과 같다.

나. OUTRAY 모델

OUTRAY 모델은 윌링포드 수리연구소에서 개발한 후방파향선법(back-tracking) 파랑변형모델로서 파랑의 굴절과 천수효과를 계산한다. OUTRAY 모델은 영국과 세계 각지에서 해안공학분야의 사업에 이용되고 있는 우수한 모델인데, 모델을 구성하려면 연구 대상지역에서의 지형자료가 필요하다. 그리고 파랑조건이 필요한 지점으로부터 외해쪽으로 파향선들을 투영한다. 외해경계에 도달하는 파랑의 크기와 빈도를 모은 정보는 전달함수(transfer functions)를 유도하기 위하여 이용된다. 또 전달함수는 외해경계에서의 파랑조건인 파랑스펙트럼을 내해쪽 계산지점에서의 파랑조건으로 변환하는데 이용된다. OUTRAY 모델의 계산은 두 부분으로 구분된다. 첫 번째 단계는 연해역과 내해점사이의 에너지 이동을 나타내는 함수를 생성하는 것이고, 두 번째 단계는 이들 함수와 연해의 파랑자료를 이용하여 내해의 파랑상태를 계산하는 것이다.

수치모델에서는 이론과 계산을 단순화하기 위하여 일정한 가정을 하는 것과 마찬가지로 본 모델에서도 대상 연안역의 파랑에너지분포는 $S(\theta, f, r)$ 라는, 즉, S 는 θ (파향), f (파랑의 빈도), r (위치벡터)의 함수라고 가정한다. 심수인 경우 파랑에너지는 일반적으로 r 의 영향이 적으므로 파랑에너지는 방향과 빈도의 함수 $S_0(\theta, f)$ 로 나타낼 수 있다. 파랑변형 방법은 연해의 조건 변화 즉 여러 가지 $S_0(\theta, f)$ 에 대한 파랑상태, 해변에 가까운 몇 개 지점의 에너지 분포 $S_p(\theta, f)$ 에 관한 정보를 얻는데 그 목적이 있다. 연

해의 에너지 분포를 내해의 에너지 분포에 링크시키기 위해서는 전파경로를 고려해야한다. 만약 파장이 θ_o (방향), f_n (빈도)를 갖는 그 지역의 외부 경계로부터 출발한다면 이 파장은 θ_p (방향), f_n (빈도)를 갖는 점 P에 도달한다고 하면 함수 S_o 와 S_p 는 다음 식에 의해서 링크된다.

$$S_p(\theta_p, f_n) = \mu(f_n) S_o(\theta_o, f_n)$$

여기서, $\mu(f_n)$ 은 연해의 경계와 내해점의 위상속도와 군속도의 함수이다. 만약 외부경계와 내해점의 깊이를 알면 계산이 가능하다.

다. 결합확률

너무 높은 항내 파랑 때문에 계류선박 또는 해안보호 구조물이 입는 피해는 대부분 높은 파랑과 해수위가 동시에 일어났을 때 발생한다. 이것은 해수위가 높아 수심이 깊을 때는 수심이 얇을 경우 쇄파될 수 있는 파랑이 부서지지 않고 그대로 진입하여 해안구조물 또는 선박에 직접 영향을 미치기 때문이다. 그러므로 해안공학 문제를 취급할 때 고조위와 높은 파랑이 동시에 발생하는 경우의 수 또는 결합확률을 고려하는 것이 중요하다.

일반적으로 완전한 결합확률 연구 분석에는 충분한 양의 연속적인 파고와 조위 관측자료가 필요하다. 변수들 사이의 어떤 의존성은 정밀한 방식에 의해 정량화할 수 있다. 비록 많은 양의 시계열 조위 자료가 제공될지라도 파랑 자료가 연속적이지 않다면 이 분석방법에 적용할 수 없다. 결합확률은 적절한 의존도를 가정하고 실용적인 방법을 적용하는 영국 월링포드 수리연구소에서 개발한 방법이 영국 내의 여러 프로젝트에 성공적으로 적용한 예가 많다. 결합확률 방법의 실용적인 응용방법은 두 변수 사이의 의존성을 상관도(cf)를 사용하는 것이다. 상관도는 독립변수에 관련된 값에 대한 실

제 결합확률의 비율이다.

예를 들어 1년마다 707개의 이벤트를 가정하자(연중 고조위의 개수).

독립된 경우

$P(\text{해수위}) * P(\text{파고}) = P(\text{결합확률 재현기간 동안 1회})$

$$\begin{aligned} \text{예]} P(1\text{년 빈도 해수위}) * P(10\text{년 빈도 파고}) &= 1/707 * (1/(707*10)) \\ &= 2*10^{-7} \end{aligned}$$

$$\text{또는 결합확률 재현기간} = 1/(707*2*10^{-7})=7070$$

상관도

$P(1\text{년 빈도 해수위}) * P(10\text{년 빈도 파고}) * cf = P(\text{결합확률 재현기간 동안 1회})$

$$\text{예]} 1/707 * 1/(707*10) * 280 = 5.6 * 10^{-5}$$

$$\text{또는 결합확률 재현기간} = 25\text{년(상관도 280에 대해)}$$

라. 수치모델링 결과

표 3.3.3-1은 외해에서의 극치파랑 예측결과를 보여주고 있으며, 표 3.3.3-2는 설계해면을 +4.52m MSL(mean sea level)(기존 방조제 설계에 적용한 설계해면 위치)로 가정하였을 때 방조제에 인접하여 선정된 10개 지점에서의 1,000년 빈도 비쇄파 예측값이다. 파랑계산 결과는 일반적 통념상 3시간 지속기간의 파랑으로 표현되었으며, 결합확률 분석에 사용된 12시간 지속 파랑의 예측값은 표 3.3.3-1의 괄호 속에 나타내었다. 표 3.3.3-2의 2번째 칸은 선정된 10개 지점에서 쇄파 전과 후의 파고 계산결과를 보여주고 있다. 3번째 칸은 같은 조건을 적용하였을 때, 방조제 구조물 바로 앞 근고공 부분에서의 계산결과이다. 여기서 근고공은 파랑과 조석에 의하여 바닥이 세굴되는 것을 막기 위한 구조물로서 본 연구에서는 적정 규모의 돌망태와 사석재를 이용토록 하였다.

표 3.3.3-1 연안 파고 및 극치 파고 조건

재현기간 (or %)	유의 파고 및 평균주기			
	여 름		겨 울	
	Hs(m)	Tz(s)	Hs(m)	Tz(s)
10% 이상	1.11	4.5	2.03	5.5
1% 이상	2.21	5.8	3.57	7.1
0.1% 이상	3.44	7.0	5.00	8.3
1년	3.66(2.84)	7.2(6.2)	5.23(4.38)	8.5(7.7)
10년	5.00(4.11)	8.3(7.5)	6.58(5.77)	9.5(8.9)
100년	6.41(5.46)	9.3(8.6)	7.88(7.10)	10.4(9.8)
500년	7.44(6.45)	10.0(9.4)	8.77(8.00)	10.9(10.4)
1000년	7.89(6.89)	10.4(9.7)	9.15(8.39)	11.1(10.7)
방향	210° N, 230° N, 250° N		290° N, 315° N	

- 주) 1. 방향은 한국해양연구소의 WAM(1996)모형 자료를 이용한 것이다.
 2. 극치조건은 지속기간이 3시간일 때의 값이다.
 3. 괄호 속의 숫자는 12시간 지속기간 파랑으로 결합확률 분석에 이용되었다.

새만금 해역에 결합확률 분석기법을 적용한 결과 두 가지 예기치 못했던 결과를 얻었다. 두 가지 모두 기존 방조제 설계에 적용한 설계해면의 위치 (+4.52m MLS)는 매우 높게 설정되었다는 것을 의미하고 있다. 둘째로 고조위와 극치파랑 사이의 결합확률 분석은 두 변수가 미약하나마 음의 상관관계(negative correlation)에 있다는 것을 나타냈다. 그러나 이와 같이 예기치 못했던 두 결과는 단지 3년 동안의 짧은 기간의 자료만을 분석한 결과이기 때문일 수도 있다. 그러므로 극치해수위를 상향 조정하여 기존의 설계해

수면 위치와 동일하도록 조정하고, 고조위와 극치파랑의 상관관계는 서로 독립적이라고 가정하였다. 표 3.3.3-3은 결합확률 분석결과를 파랑과 해수위에 대한 재현기간으로 정리 요약하여 모든 필요한 예상값에 적용할 수 있도록 하였다.

표 3.3.3-2 4.52m MSL에서의 1,000 빈도 파랑 상태

예측지점	유의파고(m)		평균 파랑주기 (s)
	OUTRAY점	구조물 끝단	
1호 방조제	5.1	5.1	9.5
2호 방조제 No.1	4.7	4.7	10.0
2호 방조제 No.2	6.9	5.8	11.1
2호 방조제 No.3	2.5	2.5	7.8
3호 방조제	3.1	3.1	7.2
4호 방조제 No.1	8.6(쇄파 후 8.0)	7.4	10.3
4호 방조제 No.2	8.5(쇄파 후 8.0)	8.0	10.4
4호 방조제 No.3	8.6(쇄파 후 8.0)	8.0	10.5
4호 방조제 No.4	9.2(쇄파 후 8.0)	7.4	10.6
4호 방조제 No.5	9.5(쇄파 후 6.1)	5.7	11.2

- 주) 1. 2칸과 4칸은 1000년 빈도 외해 파랑조건을 직접 OUTRAY 모델로 모의한 결과이다.
 2. 칸 3은 동일한 조건을 구조물 끝단(toe)에서 계산한 결과이다.

표 3.3.3-3 한계재현기간 동안의 파랑 및 파고의 극치 조화

수위재현기간(년)	0.0028	0.009	0.01	0.1	1	10	100
파고재현기간(년)	1000	325	280	28	2.8	0.28	0.028

결합확률 분석결과는 1,000년 빈도의 파랑이 올 수 있는 해수위는 설계해

수면의 위치 보다 약 1.5m 정도 낮음을 나타내고 있다. 표 3.3.3-4의 2번째 칸은 낮아진 해수면 조건과 함께 방조제 끝단에서의 예측 파고를 나타낸다. 표 3.3.3-4의 3번째 칸은 방조제 노선을 따라 선정된 각 지점에서 해수위와 극치파랑의 조합 중 가장 악조건을 표시한 것이며, 4번째 칸은 파랑의 주기를 나타낸다. 표 3.3.3-4는 해수면의 수리적 조건을 모델링한 결과를 하나의 표로 정리해 놓은 것으로 방조제에서의 설계파랑 조건을 나타내고 있다.

표 3.3.3-4 구조물 끝단에서의 1000년 결합확률 파랑조건

예측지점	구조물 끝단에서의 유의파고(m)		평균 파랑주기 (s)
	2.8m MLS의 수위	최악조건	
1호 방조제	4.4		9.5
2호 방조제 No.1	4.1		10.0
2호 방조제 No.2	4.8	5.2 (3.45m MSL)	11.1
2호 방조제 No.3	2.2		7.8
3호 방조제	2.8		7.2
4호 방조제 No.1	5.9	6.3 (3.45m MSL)	10.3
4호 방조제 No.2	7.0	7.3 (3.30m MSL)	10.4
4호 방조제 No.3	7.0		10.5
4호 방조제 No.4	5.9	6.4 (3.60m MSL)	10.6
4호 방조제 No.5	4.7	5.2 (3.60m MSL)	11.2

- 주) 1. 칸 2와 4는 해수면이 2.8m MSL로 수심제한을 받는 경우의 1000년 빈도 외해파랑 계산 결과이다.
 2. 칸 3은 동일조건 하에서의 가장 악조건의 조합이다.

마. 결론

본 연구의 파랑 모델은 심해파랑의 결정, 천해파랑 변형 및 파랑과 고조위와의 결합확률에 대하여 분석토록 구성하였다. 또한, 쇄파의 효과를 포함하여, 방조제와 방파제의 근고공(toe)에 직접 영향을 미치는 파랑의 변형도 고려하였다.

서해안의 조위 변화와 파랑의 특성을 고려한 결합확률 분석 기법을 적용한 결과, 새만금지구는 기존 방조제 설계에 적용한 설계해면의 위치는 매우 높게 설정되었다. 그러나 이와 같은 결과는 단지 3년 동안의 짧은 기간의 자료만을 분석한 결과이기 때문일 수도 있다. 결론적으로, 조석 간만의 차이가 큰 서해안의 간척지에서 설계 파랑은 조위 예측 모델과 파랑 변형 모델에 의한 결합확률 분포에 의하여 설계함으로서 합리적인 구조물 설계와 연안의 파랑 내습에 대처할 수 있을 것으로 전망된다.

본 연구결과를 바탕으로 유의파고가 5.2~7.3m로 가장 높고, 주기도 10.3~11.2s로 가장 큰 새만금 4호 방조제에 다음 항(3.3.4항)과 같이 돌망태 피복석을 시험 축조하는 것으로 하였다.

또한, 본 연구사업의 수치모델과 관련하여 새만금지구의 해안 환경을 종합적으로 분석하기 위하여 농업기반공사의 농어촌 연구원이 화란의 델프트수리연구소에서 도입한 조석과 파랑 및 퇴적에 관한 종합수치모델은 돌망태 방파제와 돌망태 어초 등의 설치 구간으로 진입하는 조석과 파랑의 변화 및 돌망태 설치 후 돌망태 주변의 퇴적과 세굴 변화예측에 활용할 수 있다.

4. 큰 파랑에 대한 완경사 돌망태 방파제 개발

돌망태를 방조제 피복석으로 활용하기 위하여 새만금 방조제 4공구의 일부에 시험 시공하였다. 새만금지구의 4공구방조제는 설계파랑이 7.3m의 높은 파고로 되어 있고 사석재료도 3톤 이상의 큰 재료를 사용하고 있으나, 이러한 큰 규모의 석재를 얻는 것이 매우 어려운 여건에 있다. 사석재 규모를 줄이기 위하여 수리모형실험과 수치해석을 통하여 제방의 사면 기울기를 당초 1:6에서 1:9로 변경한 바 있다. 이러한 완경사 방조제는 석재의 규모를 줄이는 효과뿐만 아니라, 방조제 바닥의 세굴을 방지하며 퇴적을 촉진한다. 또한 제방 중간부의 쇄파대에 충만한 수중 산소는 미생물 번성에 기여하여

수중 생태를 풍족하게 만들며 이곳을 찾는 주민들에게 쾌적한 휴식 공간을 제공한다.

본 연구는 이러한 환경사 방조제에서 대형사석을 돌망태로 대체하는 방안에 대하여 구명하기 위하여, 현장 시공업체의 협조를 받아서 기존의 방조제 피복석 구간에 돌망태를 설치하여 돌망태의 내구성과 내염성에 대하여 2000년 8월부터 1년간 현장실험을 추진하였다.

이에 따라서 사각형 돌망태(그림 3.3.4-1 참조)를 그림 3.3.4-2~5와 같이 기존의 방조제 사면에 1단 쌓기와 2단 쌓기로 시공하였다.

가. 1차 시공

- 설치위치 : 새만금 사업 4공구
- 돌망태 규격 : 2.0m(길이)×1.0m(폭)×0.5m(높이) (150개)

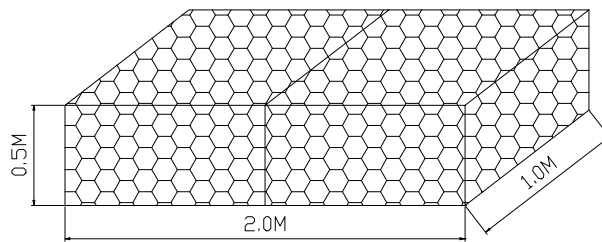


그림 3.3.4-1 Gabion 표준형태

- 돌망태 철선 : 아연도금 철선, PVC코팅 철선, 흑철선
- 돌망태 채움돌 : 직경 15~20cm
- 설치 형태
 - 1단 설치 : 20m(길이)×5m(폭)×0.5m(높이)
 - 2단 설치 : 20m(길이)×5m(폭)×1.0m(높이)

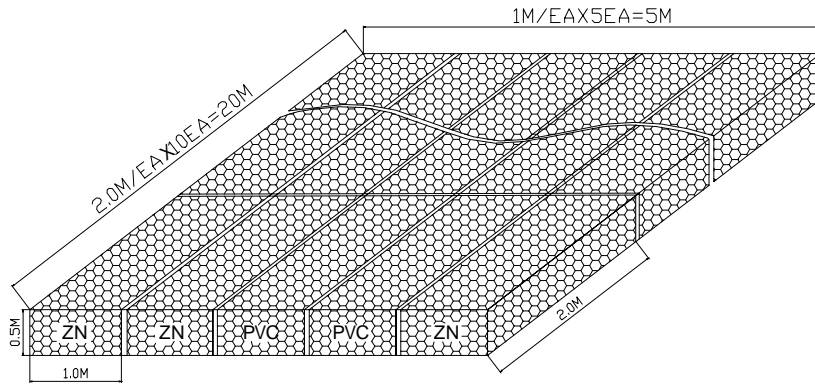


그림 3.3.4-2 1단 쌓기

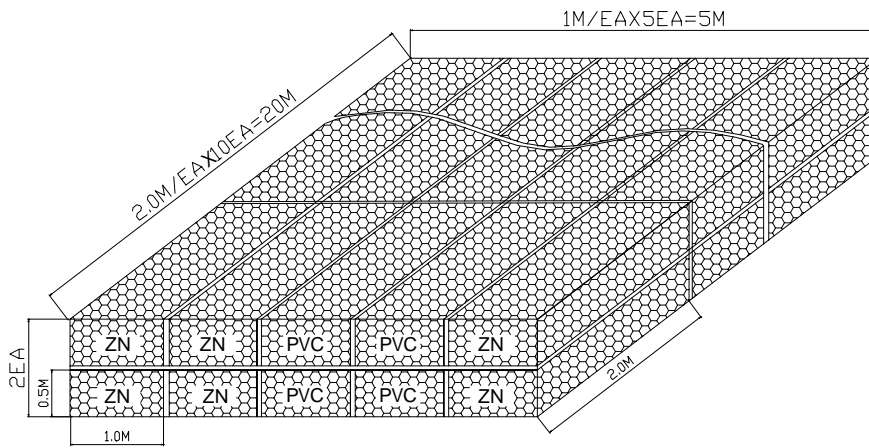


그림 3.3.4-3 2단 쌓기

- 설치도

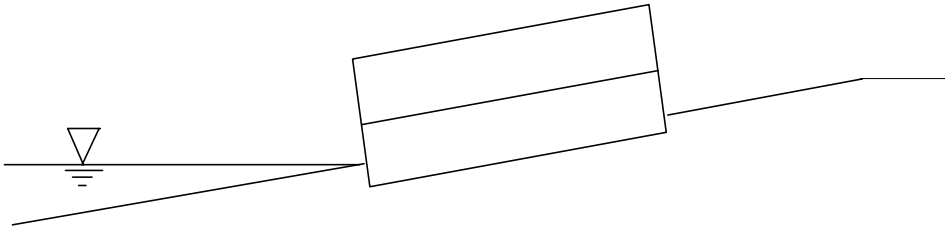


그림 3.3.4-4 돌망태 피복석 설치 개념도(1차 시공)



그림 3.3.4-5 돌망태 피복석 1차 시공모습

돌망태 피복석을 설치한 결과 큰 태풍시 그림 3.3.4-6과 같이 구조물이 완전히 파괴되어 제기능을 발휘하지 못하였다.



그림 3.3.4-6 파도에 파괴된 돌망태 피복석

나. 2차 시공

현장에 시공한 결과 돌망태가 큰 태풍시 발생한 파도에 의해 파괴되어 제 기능을 발휘하지 못하였다. 망태속에서 돌이 빠져나가고 망태들만 서로 엉켜있는 경우도 있었고, 돌망태 덩어리가 구조물로부터 떨어져 나가 주위에 흩어져 있는 경우도 있었다.

이는 1차 시공시에 설치된 사면보호 구조물은 그림 3.3.4-4와 같이 돌망태가 사면위로 1단(0.5m), 2단(1.0m) 돌출된 형태로 되어있기 때문에 파도의 영향을 많이 받아 파괴되기 쉬운 구조로 되어 있으므로 안전성을 확보하기 위해서는 다음 그림 3.3.4-7과 같이 돌망태가 기존의 사면과 같은 표고가 되도록 돌채움부를 사면선 아래 부분에 매설하는 형태로 구조물을 재시공하였다.

- 설치위치 : 새만금 사업 4공구
- 돌망태 규격 : 2.0m(길이)×1.0m(폭)×0.5m(높이)
2.0m(길이)×1.0m(폭)×1.0m(높이)
- 돌망태 철선 : 아연도금 철선, PVC코팅 철선, 흑철선
- 돌망태 채움돌 : 직경 15~20cm
- 설치 형태 : 18m(길이)×5m(폭)×1.0m(높이)
- 설치도

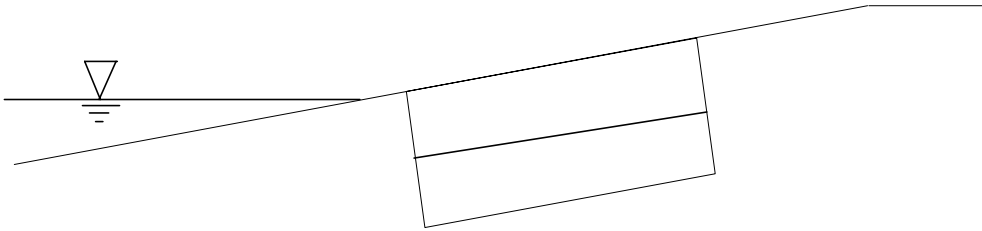


그림 3.3.4-7 돌망태 피복석 설치 개념도(2차 시공)



그림 3.3.4-8 돌망태 피복석 2차 시공모습



그림 3.3.4-9 돌망태 피복석의 현재 모습

다. 결과

2차 시공 후 구조물 자체가 파괴되거나 유실되지는 않아 원래의 형태를 유지하고 있었으나, 철선이 녹이 슬거나 끊어진 부분이 있었다. 특히 아무런 처리를 하지 않은 흑철선의 경우 심하게 녹이 슬고, 끊어진 부분이 많았다. 아연도금 철선 및 PVC코팅 철선은 비교적 상태가 양호하였으나, 부분적으로 녹슨 부분이 발견되었다. 이는 시공시 부주의로 인하여 PVC코팅이 벗겨진 부분이 녹슨 것으로 판단된다. 따라서 시공시 코팅이 벗겨지지 않도록 주의한다면 내구성이 유지될 것으로 판단된다.

돌망태 철선의 도금 및 코팅 기술이 발전하고 있으므로 철선의 내구성이 확보된다면 방조제 또는 방파제의 피복재로 활용할 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구에서는 돌망태 철선의 염수분무시험을 통하여 보다 객관적으로 철선의 내구성을 조사하였다(제 5장 참조).

제 4절 환경친화적 돌망태 어초 개발

1. 서론

수산업이 발달하면서 많은 양의 남획이 이루어져 어업자원이 급격히 감소되고 있다. 우리나라의 경우 1980년대 중반을 정점으로 대부분의 연근해 어업자원이 생물학적 남획상태에 이르게 됨에 따라 양식어업에 대한 관심이 높아지고 발전하게 되었다. 양식어업이 급성장하면서 양식어장의 장기 이용과 관리부실로 인한 연안어장의 오염은 또 다른 문제점을 낳고 있다.

어업자원을 보전하기 위하여 많은 어업관리 노력이 행해졌으나 뚜렷한 효과를 거두지 못하면서 적극적인 자원조성을 통한 어업자원 증대방안이 고려되었고, 이러한 방안의 일환으로 인공어초 시설사업이 실시되고 있다.

인공어초 시설사업은 수중에 인위적인 구조물인 인공어초를 설치하여 수산자원의 서식장, 산란장 및 치어 성육장을 제공하여 좁으므로 황폐화된 어장의 생산성을 제고하고 자원을 증가시키는 사업으로서 국내외에서 그 가치를 높이 평가받고 있다.

우리나라의 인공어초 시설 사업은 1971년부터 지속적으로 실시해오고 있으며, 그 동안 총 4,701억원이 투자되었고, 전체 시설 예정지 307천ha 중 2000년까지 152천ha를 시설하여 49%의 시설율을 보이고 있으며, 올해는 7천ha를 시설하고 있다. 정부에서는 인공어초 사업을 매년 확대 실시하여 2004년까지 시설예정지의 60%(184천ha)를 시설할 계획이다. 이러한 인공어초 시설사업이 성과를 거두기 위해서는 기능과 재질에 대한 연구를 통하여 다양한 인공어초를 개발해야 할 것이다.

한편 돌망태를 어초로 이용하는 경우 채움돌의 비표면적이 넓어 다양한 부착성 생물이 자랄 수 있어 이를 먹고사는 여러 종류의 조류, 어류가 모여들기 때문에 먹이 연쇄를 형성하게 된다. 또한 채움돌 사이의 대소 공극은 어린 어류의 피난장소로 이용될 수 있을 뿐만 아니라 안전한 산란장의 역할도

할 수 있기 때문에 활용성이 높을 것으로 판단된다.

본 연구는 돌망태를 이용한 인공어초를 개발하고, 어초의 수리학적 특성, 파랑에 대한 안정성 등의 실험을 통하여 이의 활용성을 입증하고자 한다.

2. 인공어초 이론

가. 어초의 수리구조

해중에서 물의 움직임은 조석류, 연안류, 해류 등 일정시간에 일정방향으로 흐르는 것과, 파랑 등에 의해 단시간내에 반복운동하는 것이 혼합되어 있다. 따라서 어초가 놓여있는 경우 이것에 의해서 물의 움직임이 어떻게 변화되는가 해석하는 것은 대단히 복잡하다. 유속과 유향이 시시각각으로 변화하는 상황에서 그 순간 순간에 생겼다 없어지는 유선, 와류를 먼저 해석하고, 각 지점의 흐름의 양상을 충분히 알아야 한다. 다음에는 각각의 유향, 유속에 대응하는 유선, 와류의 모양, 흐름의 크기나 정도를 여러 가지 어초의 모양, 무게 등에 대해 구해야 한다. 마지막으로 흐름의 변화, 와류의 발생소산, 특정 흐름이 소산되는 길이 등의 시간적 변화를 알아야 한다.

1) 와류(渦流 : 소용돌이)의 발생조건

정연한 흐름 중에 어초단체(魚礁單體 : 어초어장 구성에 쓰이는 1개의 어초 구조물) 혹은 어초군이 있을 때 이것에 의해 효과적으로 와류역이 발생하기 위한 어초의 높이와 유속의 관계는 대체적으로 다음의 조건을 만족해야 한다.

$$D \cdot v \geq 100 \text{ -----}(3.4.2-1)$$

여기서, D : 어초 또는 어초군의 높이(cm)

v : 유속(cm/s)

일반적으로 $D \cdot v$ 가 100 이상이 되게 하는 것이 바람직하다.

* 주의) 박리조건 : $R_e > 10^4 \sim 10^6$

난류가 발달하는 조건 : $R_e > 10^4$

여기서 R_e 는 레이놀즈수(Reynold's Number)로서

$$R_e = \frac{D \cdot v}{\nu} \quad [\nu : \text{동점성계수} = \mu(\text{점성계수}) / \rho(\text{밀도})]$$

2) 파도에 의한 와류·유영(流影)

파도에 의해 어초 전후에 와류역이 발생한다. 그 크기는 대체로 식 (3.4.2-2)로 계산된다. 이 와류가 조류(潮流) 등에 의해 하류로 운반된다.

$$l' = KH \text{ ----- (3.4.2-2)}$$

여기에서, l' : 와류의 가장 큰 직경(長徑)

H : 파고

K : 계수(= $\frac{\cosh 2\pi D/L}{\sinh 2\pi h/L}$)

L : 파장

h : 수심

D : 어초군의 높이

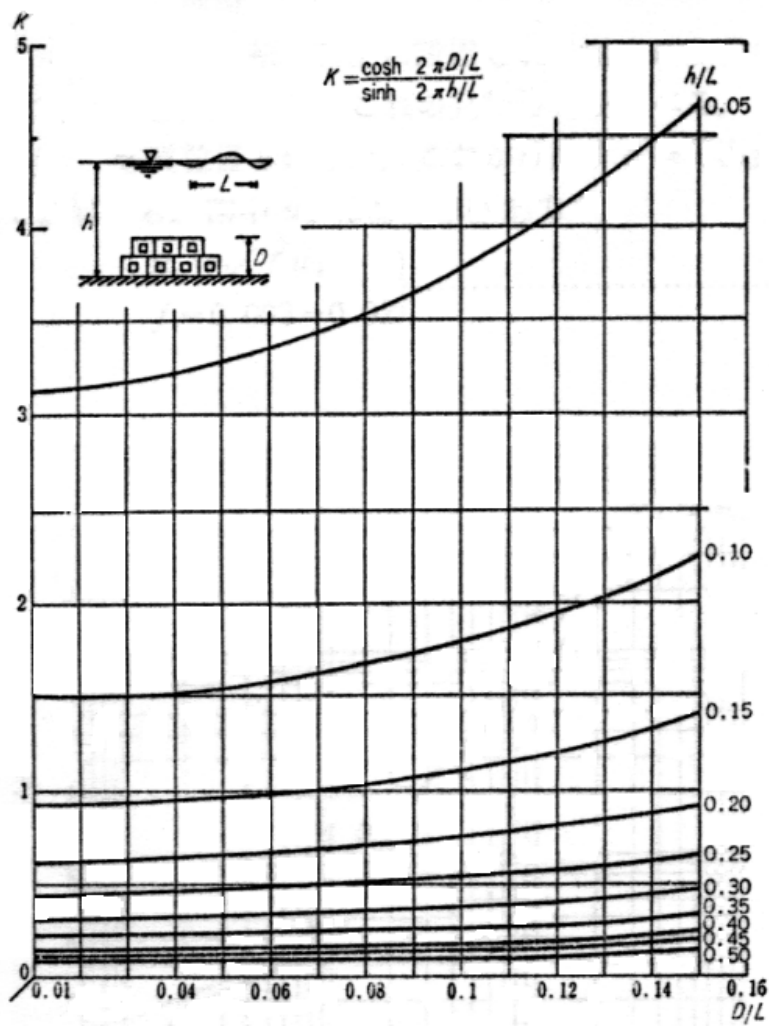


그림 3.4.2-1 K 값

나. 어초 투입낙하시 착지충격하중

1) 어초의 수중낙하속도

어초를 해면으로부터 자유낙하시키는 경우 어초가 해저에 착지할 때 큰 충격력이 발생한다. 이러한 경우의 낙하속도를 구하는 식으로서 中村(1970)은 다음의 식을 제시하였다.

수면으로부터 수심 h 되는 곳까지 떨어질 때의 속도 v_0 는

$$v_0 = v_c \left[1 - \exp \left\{ - \frac{2gh \left(\frac{\omega_M}{\omega_0} - 1 \right)}{\left(\frac{\omega_M}{\omega_0} + C_{MA} \right) v_c^2} \right\} \right]^{1/2} \text{-----}(3.4.2-3)$$

$$v_c = \sqrt{\frac{2gV}{C_D A} \left(\frac{\omega_M}{\omega_0} - 1 \right)} \text{-----}(3.4.2-4)$$

v_c : 해수 중 낙하시 중력과 저항이 균형을 이루어 등속운동이 될 때의 종단낙하속도

h : 자유낙하 높이(수심)

g : 중력가속도

ω_r, ω_0 : 어초재료와 해수의 단위중량

C_{MA} : 부가질량계수 ($C_{MA} = C_M - 1$)

C_M : 겉보기 질량계수

어초의 부재가 원주로 구성되어 있는 경우 $C_M = 2$

어초의 부재가 각주로 구성되어 있는 경우 $C_M = 2$

어초의 부재가 판으로 구성되어 있는 경우 $C_M = 1$

C_D : 항력계수

어초의 부재가 원주로 구성되어 있는 경우 $C_D = 1$

어초의 부재가 각주로 구성되어 있는 경우 $C_D = 2$

어초의 부재가 판으로 구성되어 있는 경우 $C_D=3$

V : 어초의 실용적

A : 어초가 유체저항을 받는 면적(낙하방향에 수직한 면에 대한 투영면적)

수심이 10m 이상인 경우에는 식(3.4.2-4)를 착지속도 v_0 로 이용할 수 있다.

2) 어초 착저시의 충격력

착저시의 충격력은 어초의 무게, 충돌시의 속도, 착저지반의 반력계수 및 충돌면의 형상 등에 따라 다르다. 충돌시의 속도는 자유낙하의 경우에는 (3.4.2-3), (3.4.2-4)식으로 계산한다. 크레인 등으로 포설하는 경우에는 강하속도가 된다.

上北(1989)은 충돌순간의 부가하중 σ_G 의 최대치를 구하는 식으로서 다음의 (3.4.2-5)식을 제시하였다. 여기서 구한 σ_G 를 착저시의 어초재료의 단위중량으로 취급하여 설계외력으로 한다.

$$\sigma_G = \frac{R}{V} = \frac{K}{V} \epsilon^2 \text{-----}(3.4.2-5)$$

R : 지반반력($R = K\epsilon^2$)

ϵ : 착저시 최대 지반변위(침하량)

K : 지반반력계수

표 3.4.2-1 바닥의 충격력에 대한 특성치

kind	ν	E (kg/cm ²)	K (kg/cm ²)
Rock	3	-	-
Sandgravel	4	100~300	160~500
Clay	3	100~300	210~630

단위중량이 서로 다른 복합재료로 만든 어초의 경우에는 각각의 단위중량 σ_{G1} 을 k 배하여 착저시의 충격하중으로 한다. 즉, $\sigma_G/\sigma_{G1} = k$ 로 구한다. 철근콘크리트의 σ_{G1} 은 2.4~2.45t/m²으로 한다.

ϵ 은 $L\epsilon^3 - M\epsilon - N = 0$ 으로 구한다.

$$L = \frac{gK}{3\omega_0 V} \text{-----} (3.4.2-6)$$

$$M = g \left(\frac{\omega_M}{\omega_0} - 1 \right) - \frac{C_{DA}}{4V} v_0^2 \text{-----} (3.4.2-7)$$

$$N = \left(\frac{\omega_M}{\omega_0} + C_{MA} \right) \frac{v_0^2}{2} \text{-----} (3.4.2-8)$$

로 풀 수 있고, 점근법을 이용하여 ϵ 의 제 n 근사를 ϵ_n 으로 바꾸어

$$\epsilon_1 = \sqrt[3]{\frac{N}{L}} \text{-----} (3.4.2-9)$$

$$\epsilon_{n+1} = \epsilon_n - \frac{L\epsilon_n^3 - M\epsilon_n - N}{3L\epsilon_n^2 - M} \text{-----} (3.4.2-10)$$

필요한 정밀도의 ϵ 의 근사치를 구해 위 식으로부터 σ_G, k 를 구한다. 이로부터 계산된 착저시의 충격력을 어초재료의 단위중량이 증가한 것으로 취급하여 정역학적으로 푼다.

또한 해면으로부터 투입하는 경우에는 식(3.4.2-5)는 식(3.4.2-5')로 계산할 수 있다.

$$\sigma_G = \left[\frac{3K^{1/2} v_0^2}{2gV^{1/2}} (\sigma + C_{MA}\omega_0) \right]^{2/3} \text{-----} (3.4.2-5')$$

한편, 단층으로 설치한 어초 위에 어초를 쌓아 설치하는 경우 착저시의 지반반력은 $R=K\varepsilon$ 의 형태로 계산한다. 지반반력계수 K_1 위에 반력계수 $K_2, K_3 \cdots K_L$ 의 어초가 쌓이는 경우에는 지반반력계수를 (3.4.2-11) 식으로 구하고, 합성반력계수 K_L 를 (3.4.2-12)식으로 구한다. 이 경우 이미 설치된 어초의 탄력계수 K_0 도 첨가한다.

$$K_1 = K \cdot \varepsilon \text{ -----(3.4.2-11)}$$

$$K_L = \frac{1}{\frac{1}{K_0} + \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \cdots} \text{ -----(3.4.2-12)}$$

이 경우 σ_G 는 다음 식으로 계산한다.

$$\sigma_G = L + \sqrt{L^2 + M} \text{ -----(3.4.2-13)}$$

$$L = (\sigma_G - \omega_0) - \frac{C_{DA}\omega_0^2}{4gV} \text{ -----(3.4.2-14)}$$

$$M = \frac{K_L V^2}{gV} (\sigma_G + C_{MA} \cdot \omega_0) \text{ -----(3.4.2-15)}$$

中村(1975) 등은 충돌순간의 σ_G 의 최대치를 다음과 같이 제시하고, 어초에 부가되는 외력을 ($\sigma + \sigma_G$)이 되는 단위중량으로 하여 정역학으로 설계하는 방법을 제시하였다.

$$\sigma_G = \frac{K}{V} \left\{ \frac{\omega_0 V v_0^2}{2Kg} (n+1) \left(\frac{\sigma}{\rho} + C_{MA} \right) \right\}^{n/(n+1)}$$

$$R = K \cdot \varepsilon^n$$

Frolich의 이론을 이용하면

$$R_{\max} = K \cdot \epsilon_{\max}^2$$

$$K = \frac{2\pi E}{m}$$

E : 지반의 탄성계수

m : 응력집중계수(점토지반 $m=3$, 모래지반 $m=4\sim 5$)

이때 위 식은

$$\sigma_G = \left[\frac{3\omega_0 K^{1/2} v_0^2}{2gV^{1/2}} \left(\frac{\sigma}{\rho} + C_{MA} \right) \right]^{2/3} \text{ 가 된다.}$$

다. 어초의 안정

1) 파랑 및 흐름이 어초에 작용하는 힘

가) 파랑이 어초에 작용하는 힘

어초설치수심 h 가 $1/2 L$ (L : 파장)보다 깊은 경우에는 파력은 고려하지 않아도 된다. 한편, $1/4 L$ 보다 얕은 곳에서는 파력에 대해 충분히 검토해야 한다.

파도에 의해 어초에 작용하는 파력의 일반식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = C_D A \omega_0 \frac{u^2}{2g} + C_M V \frac{\omega_0}{g} \frac{\partial u}{\partial t} \text{ ----- (3.4.2-16)}$$

ω_0 : 물의 단위중량

C_M : 겉보기 질량계수 ($C_M = C_{MA} + 1$)

조류와 같이 비정상항이 미소한 경우에는 (3.4.2-16)식의 우변 제2항은 생략할 수 있다.

① 비쇄파 영역

$$u = u_m \sin \theta \text{ -----(3.4.2-17)}$$

$$u_m = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2\pi D/L}{\sinh 2\pi h/L} = \frac{\pi KH}{T} \text{ -----(3.4.2-18)}$$

$$\theta = \frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t \text{ -----(3.4.2-19)}$$

위 식을 최대를 하는 θ 로부터

$$\beta = \left| \frac{2\pi C_M V}{C_D A T u_m} \right| \text{ -----(3.4.2-20)}$$

를 계산한다.

$\beta > 1$ 일 때 최대파력 F_{\max} 는

$$F_{\max} = \frac{2\pi C_M V \omega_0}{g T} u_m \text{ -----(3.4.2-21)}$$

$\beta \leq 1$ 일 때 최대파력 F_{\max} 는

$$F_{\max} = \frac{C_D A \omega_0^2 u_m^2}{2g} + \frac{2\pi^2 C_M^2 V^2 \omega_0}{C_D A g T^2} \text{ -----(3.4.2-22)}$$

V : 어초의 실용적

T : 파의 주기

H : 파고

K : Fig. 1의 K 값

② 쇄파영역

쇄파영역에 설치되는 어초에 가해지는 전파력 F_b 는 다음식으로 계산된다.

$$F_b = 0.31 C_D A \omega_0 H_b \text{ -----(3.4.2-23)}$$

$$H_b = 0.78 h_b \text{ -----(3.4.2-24)}$$

H_b, h_b : 어초설치 위치에서의 쇄파고, 쇄파수심

2) 흐름(조류)에 의한 힘

흐름은 설치한 어초상단에서의 유속 u_m 을 이용한다. 조류 등 흐름의 변화가 느린 경우에는 다음과 같은 식으로 계산해도 관계없다.

$$F_u = C_D A \omega_0 \frac{u^2}{2g} \text{ ----- (3.4.2-25)}$$

여기에서, A : 유선방향의 투영면적

ω_0 : 해수의 단위중량

C_D : 항력계수로서

식 (3.4.2-21) ~ (3.4.2-25)에서 구한 파력 및 조류가 어초에 작용하는 힘을 모두 더하여 어초에 작용하는 전힘 F 를 구한다.

즉, 어초에 작용하는 전힘(F) = F_{\max} (또는 F_b) + F_u --- (3.4.2-26)

이 된다. 여기에서 구한 전힘(F)를 이용하여 다음과 같이 어초의 안정성을 판단한다.

2) 어초의 안정

가) 해저지반이 세굴되지 않는 경우의 안정

① 활동이 발생하지 않기 위한 조건

$$S_{FS} = \frac{W\mu(1-\omega_0/\omega_M)}{F} \geq 1.2 \text{ ----- (3.4.2-27)}$$

W : 어초의 공중중량

ω_M, ω_0 : 어초재료 및 해수의 단위중량

S_{FS} : 날림에 대한 안전율

μ : 어초와 지반의 마찰계수 ($\mu=0.5 \sim 0.6$)

② 전도되지 않기 위한 조건

$$S_{FS} = \frac{W(1 - \omega_0/\omega_M)}{F} \cdot \frac{l_V}{l_A} \geq 1.2 \quad \text{----- (3.4.2-28)}$$

l_A : 투영면 A의 도심까지의 높이

l_V : 어초중심의 저면에 투영한 점으로부터 가장 가까운 능선까지의 거리

해저가 경사진 경우에는 중력, 부력, 작용선을 지반면에 대해 법선, 접선 방향으로 분해합성한 수치를 이용하여 위의 식에 대입하여 검토해야 한다.

나) 지반이 세굴되는 경우의 안정

지반이 모래, 자갈로 되어 있어 세굴되는 경우 어초는 세굴 때문에 안정을 잃고 전도 또는 활동현상이 발생한다. 이에 대해 黒木(1954)는 저면에 설치된 블록이 움직이기 시작하는 유속을 회류수조를 이용해 실험을 실시하고, 다음과 같은 이론식을 제시하였다.

$$v_c = K_1 \sqrt{\frac{g}{\sigma}} \cdot \sqrt{(\sigma - \rho)l} \quad \text{----- (3.4.2-29)}$$

v_c : 움직이기 시작하는 유속

σ, ρ : 어초재료, 해수의 밀도

g : 중력가속도

l : 어초블록의 대표길이

K_1 : 무차원계수 (Table 2. 참조)

표 3.4.2-2 K_1 값

Type	K_1
Square I	0.42
Square II	0.48
Cylinder	0.48
Triangle	0.32
Wheel	0.51

Square I : 45° toward flow

Square II : 90° toward flow

3. 인공어초 설계 및 안정성 검토

가. 인공어초의 제원 및 구성

어초이론을 바탕으로 그림 3.4.3-1과 같은 인공어초를 설계하였는데, 어초의 규격은 다음과 같다.

(1) 인공어초 공체적 : $2\text{m} \times 2\text{m} \times 2\text{m} = 8\text{m}^3$

(2) 사각파이프 체적 : $1\text{m} \times 1\text{m} \times 2\text{m} = 2\text{m}^3$

$$1\text{m} \times 1\text{m} \times 0.5\text{m} \times 2 = 1\text{m}^3$$

(3) 어초의 실용적(V : 돌채움부의 체적) : $8\text{m}^3 - 2\text{m}^3 - 1\text{m}^3 = 5\text{m}^3$

(4) 돌채움부의 중량 : $5\text{m}^3 \times 0.7 \times 2.6\text{t}/\text{m}^3 = 9.1\text{t}$

(5) 투영면적(A) : $2 \times 2 - 1 \times 1 = 3\text{m}^2$

나. 어초의 구성

본 어초의 구성 내용은 다음과 같다.

1) 돌망태 : 직경이 0.2 ~ 0.3m의 캔돌을 넣은 가로 2m, 세로 2m, 높이 2m의 돌망태로서 망태 재료는 해수에서 내부식성 및 내염성이 있는 스테인

레스를 사용하였다.

2) 파이프 : 가로, 세로 각각 1m의 스테인레스 4각 파이프를 돌망태의 중심부에서 가로, 세로의 2방향으로 설치하고, 움직이지 않도록 4개 면에서 돌망태 철선에 용접하여 고정시켰다. 이 파이프는 경우에 따라서 페비닐관 등을 사용할 수도 있다.

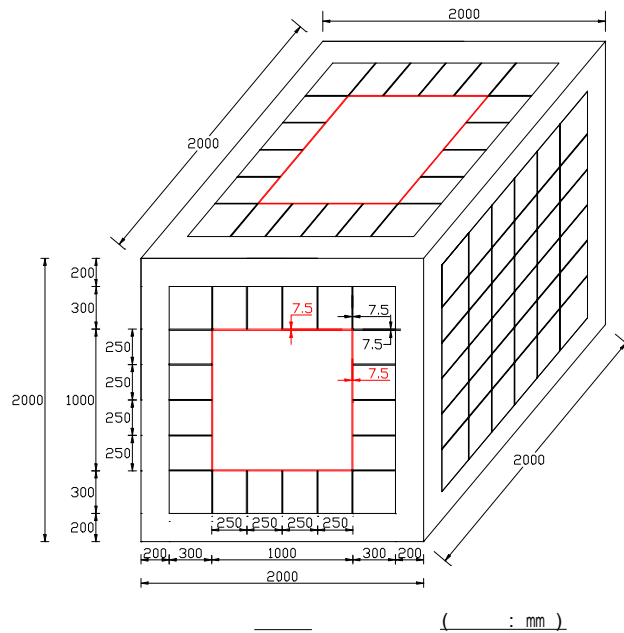


그림 3.4.3-1 돌망태 어초의 제원

다. 돌망태 어초의 특징

1) 돌망태

돌망태는 조석 흐름에 의한 견인력(drag force)에 대한 마찰저항력이 뛰어나며, 본 연구에서 특허 출원한 돌망태 어초에 대한 수리모형 시험 결과, 약 2톤 이상의 돌망태는 수심이 4 m 이상이고 유속이 7 m/s 이하인

흐름에서 안정되며, 일반 해안의 유속이 1m/s인 점을 감안하면, 본 돌망태 어초는 해류 흐름에 제한을 받지 않는 안전한 구조이다.

돌망태의 단위 중량은 2.0t/m^3 정도이고 수중 단위중량은 1.0 t/m^3 으로서 콘크리트의 수중 단위중량의 70%이므로 설치 투하시 침강속도가 작으므로 접지압이 작아서 시공 중 파손 위험이 적으며, 자중도 작으므로 매물의 위험도 적다. 본 돌망태 어초는 직육면체의 일정한 형태로서, 유수 중 투하 이동 궤적을 2차원적 운동에너지 방정식에 의한 수치모델로서 추적함으로써 정확한 투하 위치를 예측할 수 있다.

또한, 돌망태를 채우는 깬돌의 직경은 0.2-0.3m로서 이는 유속이 5m/s 이하의 흐름에서 거동이 미미하며 돌망태 안전에 영향을 주지 않는다. 돌망태의 채움 석재의 규격은 서식 어류의 크기 등을 감안하여 조정할 수 있다.

파도에 의한 돌망태의 안정성 실험 결과, 간조위 이하의 수심이 10m 이상이고 우리나라 해안의 최대 파고인 7m 정도의 파도가 발생하더라도 안전하다. 좀더 세부적인 수리실험을 통하여 구명하였다.

어초설치 구역의 지반 변화는 조석과 파랑 및 유사 이동에 관한 수치모델로 미리 예측할 수 있으며, 어초 설치 후 지반이 세굴되더라도 돌망태는 엇물림 효과(interlocking effect)가 크므로, 그 기능을 지속적으로 발휘할 수 있다. 특히, 침식성 해안과 방조제 및 방파제 주변에 다량의 어초군을 조성하는 경우, 돌망태 어초구간을 거치는 동안 파랑과 흐름 에너지가 소멸됨으로서 구조물 하부의 세굴 안정을 도모하며, 돌망태 배면에 퇴적을 조장할 가능성이 크다.

어초 설치 후 지반이 퇴적되면, 돌망태 어초를 덧쌓을 수 있으므로 보수 및 보강 공사가 용이하다. 또한, 정육면체의 구조물은 구조물이 다소 이동되더라도 제 기능을 발휘할 수 있다.

돌은 콘크리트 재료에 비하여 해조류와 미생물의 부착능력이 크므로 서식 어류의 먹이를 원활하게 제공하며, 콘크리트 어초는 설치 후 유황성 물질이 소산된 후 제 기능을 발휘하고, 오랜 기간이 지난 후에는 균열 등으로 어초기능이 저하된다. 이에 비하여 돌망태 어초는 비교적 빠른 기간 내에 집어, 산란처 기능이 발휘되며, 바다 지형에 따라서 구조물 형태가 신속하게 변형되고 안정되어 장기간동안 제 기능을 발휘한다. 또한 돌망태 내부의 돌 틈새는 치어들의 피신처를 제공한다.

스테인레스는 빛의 반사에 의한 집어 기능이 있고, 또한 철선은 문어 등 부착성 어류의 서식처를 제공한다.

돌망태 내부의 공극을 증대시키기 위하여, 채움돌의 높이는 유공관 바닥면 이하로 하고 상부 공간은 비워서 어류들의 휴식 공간으로 활용될 수 있다. 돌채움 높이를 바닥면에서 높이 0.3 m까지 채우고 그 위에 유공관을 얹으면 이에 따른 빈 공간(void space)은 65 % 정도 또는 그 이상(0.65/1)이다.

그러나, 여러 층으로 어초를 쌓을 때는 돌망태 내부를 채워야하며, 일정한 공간을 남기고자 할 때는 육면체의 모서리 부분들을 유공관 등으로 지지하는 구조로 구성하였다.

어초의 높이는 어류의 기호에 맞추어 결정된다. 넙치, 가재미, 문어 등 저층에 서식하는 어류 또는 돔, 농어, 썸뱅이 등 암초성 어류들의 먹이는 바닥에 쌓인 영양염류들이 소산하도록 난류를 발생하는데 중요한 역할을 한다. 일반적으로 어초의 높이가 수심의 20% 정도가 될 때까지 난류가 증가하며, 바다의 바닥 저층에 서식하는 넙치, 볼락, 쥐노래미, 썸뱅이 등 바닥접촉성 어류는 어초 설치 후 약 5년 경과 후 서식 수가 최고에 이르며, 참돔, 돌돔, 밴자리, 농어 등 어초 주변과 상층부에 서식하는 접촉 정지형 또는 부상 정지형 어류는 3년이 경과한 후에 서식 환경이 안정된다고

발표된 바 있다.

2) 4각 파이프

가로, 세로 각각 1m의 파이프는 수생식물이 착생할 수 있고, 어류들에게 휴식 및 산란 공간을 제공함으로써 집어 기능이 크다.

산란된 치어들이 돌망태 속으로 신속하게 이동하거나 대피할 수 있는 통로를 제공하기 위하여 파이프에 구멍을 뚫어 놓으면 치어의 보호 육성 효과가 크다.

파이프는 해수에 대한 내염성과 내구성이 있는 스테인레스관 등으로 제작 설치되며, 폐비닐 재료를 사용하는 경우 자원의 재활용 기능을 높이게 된다.

3) 채움돌

돌망태 속을 채우는 석재의 적정 규격은 식(3.4.3-1)으로 도출하였다.

$$D_m = S_f C_s C_v d \left[\left(\frac{\gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \right)^{0.5} \frac{V}{\sqrt{gdK_1}} \right]^{2.5} \text{-----}(3.4.3-1)$$

돌망태 어초의 안정성은 Hudson 공식의 형태를 적용하며, 안정계수 (stability coefficient)는 수심과 어초 높이로 나타낼 수 있다.

$$W = \frac{Wr H^3}{Ns^3 (Sr-1)^3} \text{-----}(3.4.3-2)$$

여기서, W 는 개개의 돌망태 어초의 평균 중량(kg), Wr 은 돌망태의 단위 중량(kg/m³), Ns 는 수심과 돌망태 높이의 영향을 고려한 어초의 안정계수 (stability number), Sr 은 어초가 설치되는 지점의 물과 어초의 단위 중

량에 의한 비중이다. N_s 는 Shore protection manual(7-203)의 근고공 안정에 관한 실험결과를 다음 식으로 단순화하여 나타낼 수 있다.

$$N_s^3 = 540 (d_1/d_s)^2 - 25(d_1/d_s) + 8 \text{ -----(3.4.3-3)}$$

여기서, d_1 : 수심, d_s : 돌망태 어초의 높이

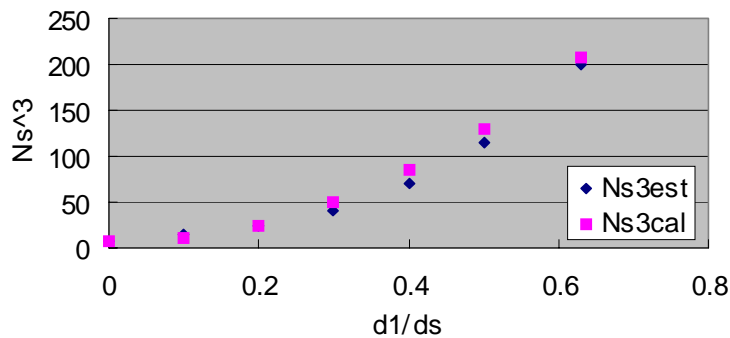


그림 3.4.3-2 돌망태 어초의 안정계수

그림 3.4.3-2는 SPM에서 도출된 결과를 식으로 수식화한 결과를 비교한 것으로서 도출된 식이 돌망태 높이에 대한 수심의 비율이 0.2 이하에서 잘 접근되도록 만든 결과를 나타내고 있다.

그림 3.4.3-3은 SPM의 실험 결과에 의하여, 파랑과 수심 및 돌망태 어초의 높이에 따른 어초의 적정성을 산정한 결과로서, 파랑(H)이 6m이고 돌망태의 높이(D)가 2m일 때, 수심이 10m면 적정 중량은 440kg 정도 되며, 수위가 높아지고 돌망태 높이가 증가할수록 소요 중량은 감소하는 경향을 나타낸다.

이에 관한 세부적인 실험은 수리시험장의 파랑 실험실에서 축척 1:20으

로 축소한 돌망태 어초 모형을 제작하여 실험하였다.

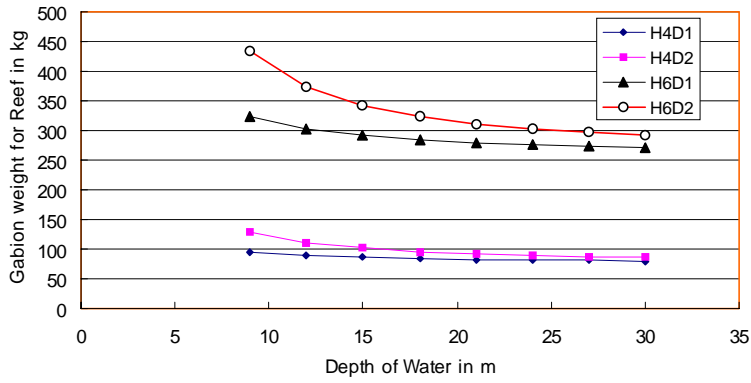


그림 3.4.3-3 파랑(H)과 수심 및 돌망태 어초 높이(D)에 따른 어초의 적정 중량 산정

라. 어초의 안정성 검토

1) 충격하중

가) 착저속도

설계수심(h) : 20m

항력계수(C_D) : 2

채움돌 단위중량(ω_M) : 2.6t/m³

해수의 단위중량(ω_0) : 1.03t/m³

겉보기질량 계수(C_M) : 2

부가질량계수 (C_{MA}) = $C_M - 1$

$$v_c = \sqrt{\frac{2gV}{C_D A} \left(\frac{\omega_M}{\omega_0} - 1 \right)} = \sqrt{\frac{2 \times 9.8 \times 5}{2 \times 3} \left(\frac{2.6}{1.03} - 1 \right)} = 5.0 \text{ m/s}$$

$$v_0 = v_c \left[1 - \exp \left\{ - \frac{2gh \left(\frac{\omega_M}{\omega_0} - 1 \right)}{\left(\frac{\omega_M}{\omega_0} + C_{MA} \right) v_c^2} \right\} \right]^{1/2}$$

$$= 5.0 \left[1 - \exp \left\{ - \frac{2 \times 9.8 \times 20 \left(\frac{2.6}{1.03} - 1 \right)}{\left(\frac{2.6}{1.03} + 1 \right) \times 5.0^2} \right\} \right]^{1/2} = 4.97 \text{ m/s}$$

나) 착저충격력

지반반력계수(K) = 3,000t/m²이라 하면

(단층으로 설치하는 경우)

$$L = \frac{gK}{3\omega_0 V} = \frac{9.8 \times 3,000}{3 \times 1.03 \times 5} = 1,903$$

$$M = g \left(\frac{\omega_M}{\omega_0} - 1 \right) - \frac{C_{DA}}{4V} v_0^2 = 9.8 \times \left(\frac{2.6}{1.03} - 1 \right) - \frac{2 \times 3}{4 \times 5} \times 4.97^2 = 7.53$$

$$N = \left(\frac{\omega_M}{\omega_0} + C_{MA} \right) \frac{v_0^2}{2} = \left(\frac{2.6}{1.03} + 1 \right) \times \frac{4.97^2}{2} = 43.53$$

로 풀수 있고, 점근법을 이용하여 ϵ 의 제 n 근사를 ϵ_n 으로 바꾸어

$$\epsilon_1 = 3 \sqrt[3]{\frac{N}{L}} = 3 \sqrt[3]{\frac{43.53}{1,903}} = 0.2839 \text{ m}$$

$$\epsilon_{n+1} = \epsilon_n - \frac{L\epsilon_n^3 - M\epsilon_n - N}{3L\epsilon_n^2 - M} \text{에서}$$

$$\epsilon_2 = 0.2839 - \frac{1,903 \times 0.2839^3 - 7.53 \times 0.2839 - 43.53}{3 \times 1,903 \times 0.2839^2 - 7.53} = 0.2886$$

$$\epsilon_3 = 0.2886 - \frac{1,903 \times 0.2886^3 - 7.53 \times 0.2886 - 43.53}{3 \times 1,903 \times 0.2886^2 - 7.53} = 0.2885$$

$$\epsilon_4 = 0.2885 - \frac{1,903 \times 0.2885^3 - 7.53 \times 0.2885 - 43.53}{3 \times 1,903 \times 0.2885^2 - 7.53} = 0.2885$$

$\epsilon_3 = \epsilon_4$ 이므로 $\epsilon = 0.2885$ 로 한다.

$$\sigma_G = \frac{R}{V} = \frac{K}{V} \epsilon^2 = \frac{3,000}{5} \times 0.2885^2 = 49.9 \approx 50 \text{ t/m}^2$$

단위길이당 하중

$$P = 50 \times 2 \times 0.25 = 25 \text{ t/m}$$

충격계수

$$i = \frac{15}{40 + l} = \frac{15}{40 + 2} = 0.36 \quad (0.3 \text{ 이상이면 무조건 } 0.3 \text{ 을 사용})$$

$$W_0 = 25(1 + 0.3) = 32.5 \text{ t/m}$$

$$\text{모우멘트}(M_c) = \frac{W_0 l^2}{8} = \frac{32.5 \times 2^2}{8} = 16.25 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$M_c = \frac{I}{y} \sigma \text{ 에서}$$

스테인레스의 항복강도 σ 를 $5,200 \text{ kg/cm}^2$ 로 하면 안전을 고려하여 $4,500 \text{ kg/cm}^2$ 으로 한다. 등변 Γ 형강의 표준단면 치수와 그 단면적, 단위중량, 단면특성표로부터 $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ ($t = 15 \text{ mm}$) 규격인 경우 단면2차 모멘트 $I = 2,180$, 중심 $y = 5.47$ 이므로

위 식에 대입하면

$$\frac{2,180}{5.47} \times 4,500 = 1793418.647 \text{ kg} \cdot \text{cm} = 17.93 \text{ t} \cdot \text{m} > 16.25 \text{ t} \cdot \text{m}$$

이므로 $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ ($t = 15 \text{ mm}$) 규격의 Γ 형강을 선택하여 인공어초의 프레임으로 한다.

2) 파랑과 조류가 어초에 작용하는 힘

① 파랑이 어초에 작용하는 힘

$$u_m = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2\pi D/L}{\sinh 2\pi h/L} = \frac{\pi \cdot 7}{13} \frac{\cosh(2\pi \cdot 4/167.475)}{\sinh(2\pi \cdot 20/167.475)}$$

$$\beta = \left| \frac{2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 5}{2 \cdot 3 \cdot 13 \cdot 1.1881} \right| = 0.68 \leq 1 \text{ 이므로 최대파력 } F_{\max} \text{ 는}$$

$$\begin{aligned} F_{\max} &= \frac{C_D A \omega_0 u_m^2}{2g} + \frac{2\pi C_M^2 V^2 \omega_0}{C_D A g T^2} \\ &= \frac{2 \cdot 3 \cdot 1.03 \cdot 1.1881^2}{2 \cdot 9.8} + \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2^2 \cdot 5^2 \cdot 1.03}{2 \cdot 3 \cdot 9.8 \cdot 13^2} = 0.6497 \text{ ton} \end{aligned}$$

② 흐름(조류)이 어초에 작용하는 힘

조류속을 1m/s라 하면

$$F_u = C_D A \omega_0 \frac{v^2}{2g} = 2 \cdot 3 \cdot 1.03 \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9.8} = 0.3158 \text{ ton}$$

따라서

$$\text{어초에 작용하는 전힘}(F) = F_{\max} + F_u = 0.6497 + 0.3153 = 0.965 \text{ ton}$$

3) 어초의 안정

가) 해저지반이 세굴되지 않는 경우의 안정

① 활동이 발생하지 않기 위한 조건

$\mu = 0.5$ 라 하면

$$S_{FS} = \frac{W\mu(1 - \omega_0/\omega_M)}{F} = \frac{9.1 \cdot 0.5 \left(1 - \frac{1.03}{2.6}\right)}{0.965} = 2.85 \geq 1.2$$

따라서 활동에 안정하다.

② 전도되지 않기 위한 조건

$$S_{FS} = \frac{W(1 - \omega_0/\omega_M)}{F} \cdot \frac{l_V}{l_A} = \frac{9.1 \cdot \left(1 - \frac{1.03}{2.6}\right)}{0.965} \cdot \frac{1}{1} = 5.69 \geq 1.2$$

따라서 전도에 대해서도 안정하다.

나) 지반이 세굴되는 경우의 안정

$$v_c = K_1 \sqrt{\frac{g}{\sigma}} \cdot \sqrt{(\sigma - \rho)l} = 0.48 \sqrt{\frac{9.8}{2.6}} \cdot \sqrt{(2.6 - 1.03) \cdot 2} = 1.65 \text{ m/s}$$

따라서 안정하다.

이상과 같이 본 연구에서 개발된 돌망태를 이용한 인공어초는 전도, 활동 등에 대하여 안전하다.

4. 돌망태 어초 내외의 해수유동 수리실험

설계된 인공어초에 대한 수리모형실험을 실시하기 위하여 그림 3.4.4-1과 같이 축척 1:10, 1:20의 인공어초 모형을 제작하여 실험을 실시하였다.

가. 실험조건

- 실험수로
 - 길이 : 40m
 - 폭 : 0.6m
 - 깊이 : 0.6m
 - 유속 : 1m/s ~ 4m/s
- 모형의 축척 : 1/10, 1/20
- 모형의 수심 : 20, 30, 40cm
- 유속측정 지점 : 어초 전방, 어초 중간, 어초 후방



그림 3.4.4-1 제작된 인공어초 모형(좌 : 1/10, 우1/20)

나. 한계유속실험

본 연구에서 개발된 돌망태 인공어초가 설계유속에 떠내려 가지 않고 안전 한지를 검토하기 위하여 돌망태 인공어초모형을 대상으로 한계유속실험을 실시하였다. 1/10축척의 모형에 대한 실험에서는 본 실험수로의 한계 때문에 최고 발생시킬 수 있는 유속은 51cm/s(원형 : 1.6m/s)이었으나, 이 유속에서 돌망태 어초는 움직이지 않았기 때문에 1/10축척의 모형에서는 한계유속을 발생시킬 수 없었다. 1/20모형을 대상으로 한계유속 실험을 한 결과 본 실험수로의 한계 때문에 최고 발생시킬 수 있는 유속은 80.2cm/s(원형 : 3.6m/s)인 경우에도 돌망태 어초가 이동하지 않았다. 따라서 설계 조류속인 1m/s에 대하여 안정한 것으로 나타났다.



그림 3.4.4-2 한계유속 실험전경

다. 해수유동 특성 시험

어류는 어초 부분에서 발생하는 와류를 감지하고 어초 부분으로 접근하기 때문에 어초 주위의 와류 발생특성 즉 수리특성에 대한 실험을 실시하였다.

1) 실험방법

어초와 주위의 유향유속 및 수심을 측정하였다. 측정점은 흐름방향으로는 그림 3.4.4-3과 같이 어초의 중심부, 어초의 좌·우측 부분 그리고 어초를 중심으로 상하류로 10cm간격, 흐름 직각방향으로는 어초의 중심과 좌우로 17.5cm 떨어진 지점에서 유향유속 및 수심을 측정하였다. 수심방향으로는 인공어초에 설치된 파이프의 중간지점 즉, 바닥으로부터 수면 쪽으로 5cm 올라간 지점에서 각각 측정하였다.

수위는 수위 측정용 자와 포인트게이지를 이용하여 측정하였다.

유향유속은 유속Vector를 측정하기 위하여 Alec Electromagnetic Current Meter(Model ACM-250)를 사용하였다. 이 전기자장식 유속계는 X, Y 2방향의 유속을 동시에 측정할 수 있기 때문에 복잡한 유속분포를 Vector 또는 Tensor량으로서 측정할 수 있는 장점이 있다.

또한 유향유속 측정에 병행하여 그림 3.4.4-4와 같이 색소를 이용하여 유향유속을 파악하였다.

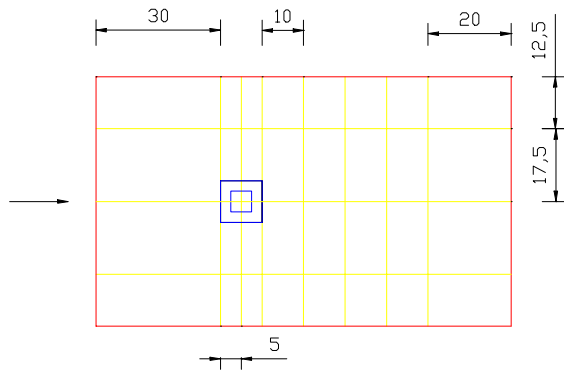


그림 3.4.4-3 유향유속 측정



그림 3.4.4-4 어초 주변 유황 (모형축척 1: 10)

라. 결과 및 고찰

위치별 유속은 어초 중심선(4각 파이프의 흐름방향 중심선)의 경우 그림 3.4.4-5, 6과 표 3.4.4-1과 같이 어초 전방에서의 유속보다 어초 중간부분 및 후방부분에서의 유속이 큰 것으로 나타났다. 이러한 현상은 유속, 수심, Fr수에 관계없이 같은 경향을 보였다. 이는 돌망태 및 돌채움에 의해 유수 단면적이 축소되었기 때문인 것으로 판단된다. 어초 좌·우측의 유속분포도 어초 중심선에서와 비슷한 경향을 나타냈다.

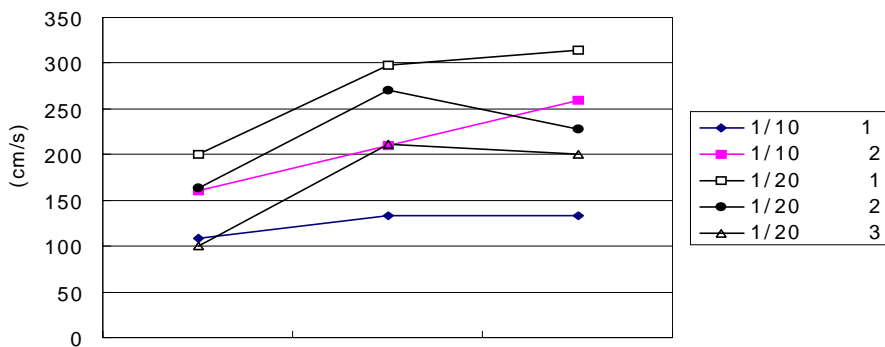
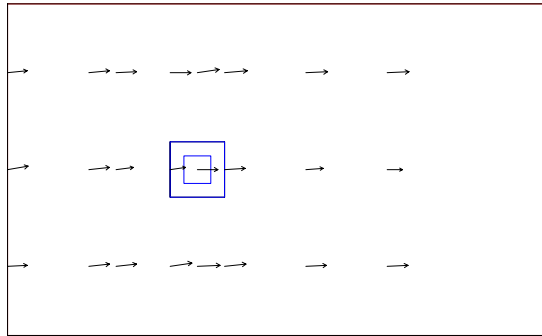


그림 3.4.4-5 어초 주변의 유속변화

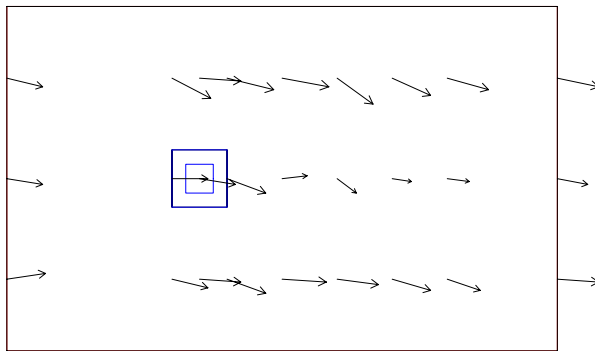
유속이 약 2m/s 이하인 경우에는 그림 3.4.4-6(a), (c), (e)와 같이 유수의 수심에 관계없이 난류가 거의 발생하지 않고, 유향유속의 변화가 적었다. 수위도 표 3.4.4-1과 같이 어초 전후에 관계없이 거의 변화가 없었다. 그러나 어초 하류 약 10m 이상까지 어초의 영향에 의한 미약한 와류가 발생하였다. 따라서 물고기들은 이 와류를 감지하고 어초 주위로 몰려들 것으로 판단된다.

유속이 약 2m/s 이상이 되면 그림 3.4.4-6(b), (d), (f)와 같이 어초 주위에 난류가 발생하고 유속이 증가함에 따라서 와류도 점점 심해지는 경향을 보였으며, 어초 하류부분에 발생하는 와류의 길이도 점점 길어지는 경향을 보였다. 따라서 보다 멀리 있는 물고기들도 어초를 향하여 모여들 것으로 판단된다. 난류가 심해짐에 따라서 표 3.4.4-1과 같이 수심의 변화도 심해지는 경향을 보였다.

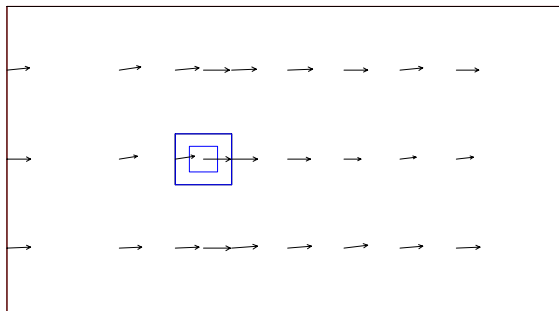
Fr수를 보면 표 3.4.4-1과 같이 유수의 수심이 4m인 경우는 Fr수가 0.4 이하에서는 난류가 거의 발생하지 않았고, 0.4 보다 커지면 난류가 발생하고, Fr수가 커질수록 난류는 심해지는 경향을 보였다. 유수의 수심이 6m인 경우에는 Fr수가 0.3 이하에서는 난류가 거의 발생하지 않았으나 그 이상이 되면 Fr수가 커짐에 따라서 난류도 점점 심해지는 경향을 보였다. 수심이 8m인 경우는 Fr수가 0.2 이하에서는 난류가 거의 발생하지 않고, Fr수가 0.2 이상이 되면 Fr수와 함께 난류도 점점 심해지는 경향을 보였다. 이와 같이 유수의 수심이 깊어질수록 작은 Fr수 영역에서 난류가 발행하였다.



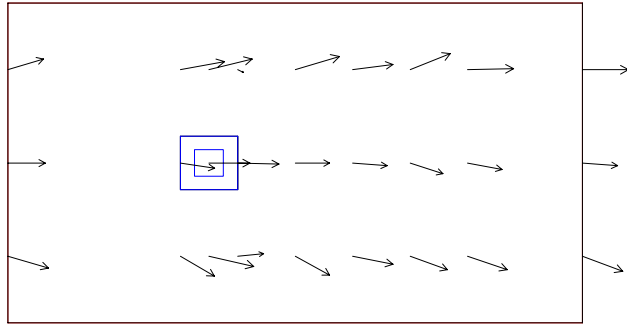
(a) 수심 4m, 유속 1.7m/s



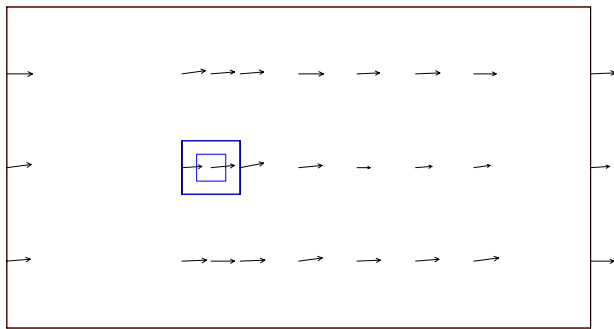
(b) 수심 4m, 유속 3.0m/s



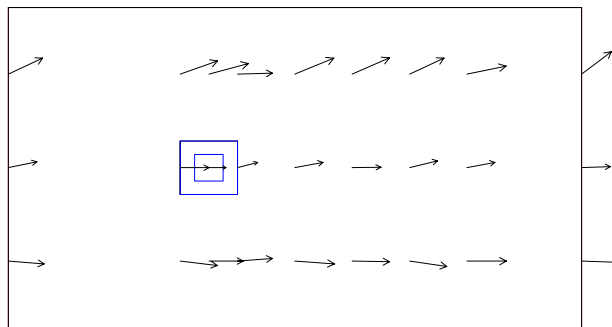
(c) 수심 6m, 유속 1.9m/s



(d) 수심 6m, 유속 3.0m/s



(e) 수심 8m, 유속 1.9m/s



(f) 수심 8m, 유속 2.7m/s

그림 3.4.4-6 인공어초 주위의 유향

표 3.4.4-1 어초 주위의 수리특성

위치	방향	유속	유속		수위		Froude No.	
			모형	원형	모형	원형		
전방	좌	X축	-6	40.4	180.9	20	400	0.29
		Y축	40					
	중	X축	-4	28.3	126.5	20	400	
		Y축	28					
	우	X축	0	38.0	169.9	20	400	
		Y축	38					
중앙	좌	X축	-2	42.0	188.0	20	400	0.30
		Y축	42					
	중	X축	0	38.0	169.9	20	400	
		Y축	38					
	우	X축	-6	40.4	180.9	20	400	
		Y축	40					
후방	좌	X축	-4	40.2	179.8	20	400	0.29
		Y축	40					
	중	X축	-2	38.1	170.2	20	400	
		Y축	38					
	우	X축	-4	42.2	188.7	20	400	
		Y축	42					
전방 10cm	좌	X축	-4	38.2	170.9	20	400	0.27
		Y축	38					
	중	X축	-4	32.2	144.2	20	400	
		Y축	32					
	우	X축	-2	38.1	170.2	20	400	
		Y축	38					
전방 15cm	좌	X축	-4	38.2	170.9	20	400	0.27
		Y축	38					
	중	X축	-4	38.2	170.9	20	400	
		Y축	38					
	우	X축	-4	38.2	170.9	20	400	
		Y축	38					
전방 30cm	좌	X축	-2	36.1	161.2	20	400	0.26
		Y축	36					
	중	X축	-6	38.5	172.0	20	400	
		Y축	38					
	우	X축	-4	36.2	162.0	20	400	
		Y축	36					
후방 30cm	좌	X축	-2	38.1	170.2	20	400	0.27
		Y축	38					
	중	X축	0	28.0	125.2	20	400	
		Y축	28					
	우	X축	-2	40.0	179.1	20	400	
		Y축	40					
후방 15cm	좌	X축	-2	38.1	170.2	20	400	0.27
		Y축	38					
	중	X축	-2	32.1	143.4	20	400	
		Y축	32					
	우	X축	-2	40.0	179.1	20	400	
		Y축	40					

표 3.4.4-1 계 속

위치		방향	유속	유속		수위		Froude No.
				모형	원형	모형	원형	
전방	좌	X축	-2	48.0	214.8	20	400	0.34
		Y축	48					
	중	X축	-2	34.1	152.3	20.5	410	
		Y축	34					
	우	X축	-8	46.7	208.8	20	400	
		Y축	46					
중앙	좌	X축	-2	48.0	214.8	20	400	0.34
		Y축	48					
	중	X축	-2	42.0	188.0	20.5	410	
		Y축	42					
	우	X축	-4	46.2	206.5	20	400	
		Y축	46					
후방	좌	X축	-2	48.0	214.8	20	400	0.34
		Y축	48					
	중	X축	-6	38.5	172.0	20.5	410	
		Y축	38					
	우	X축	-2	46.0	205.9	20	400	
		Y축	46					
전방 10cm	좌	X축	-4	40.2	179.8	20.5	410	0.28
		Y축	40					
	중	X축	-2	40.0	179.1	20.5	410	
		Y축	40					
	우	X축	-4	40.2	179.8	20.5	410	
		Y축	40					
전방 15cm	좌	X축	-2	40.0	179.1	20	400	0.29
		Y축	40					
	중	X축	-2	42.0	188.0	20	400	
		Y축	42					
	우	X축	-2	42.0	188.0	20	400	
		Y축	42					
전방 30cm	좌	X축	0	42.0	187.8	20	400	0.30
		Y축	42					
	중	X축	-6	40.4	180.9	20	400	
		Y축	40					
	우	X축	-8	42.8	191.2	20	400	
		Y축	42					
후방 5cm	좌	X축	-6	44.4	198.6	20.5	410	0.31
		Y축	44					
	중	X축	-4	34.2	153.1	20.5	410	
		Y축	34					
	우	X축	-2	44.0	197.0	20.5	410	
		Y축	44					
후방 15cm	좌	X축	-4	42.2	188.7	20.5	410	0.30
		Y축	42					
	중	X축	-2	28.1	125.5	20.5	410	
		Y축	28					
	우	X축	-4	44.2	197.6	20.5	410	
		Y축	44					
후방 30cm	좌	X축	-2	42.0	188.0	20.5	410	0.30
		Y축	42					
	중	X축	0	28.0	125.2	20.5	410	
		Y축	28					
	우	X축	-2	42.0	188.0	20.5	410	
		Y축	42					

표 3.4.4-1 계 속

위치		방향	유속	유속		수위		Froude No.
				모형	원형	모형	원형	
전방	좌	X축	0	48.0	214.7	20	400	0.34
		Y축	48					
	중	X축	-2	40.0	179.1	20	400	
		Y축	40					
	우	X축	-6	50.4	225.2	20	400	
		Y축	50					
중앙	좌	X축	-4	50.2	224.3	20	400	0.36
		Y축	50					
	중	X축	-6	50.4	225.2	20	400	
		Y축	50					
	우	X축	-8	50.6	226.5	20	400	
		Y축	50					
후방	좌	X축	0	50.0	223.6	20	400	0.36
		Y축	50					
	중	X축	-10	51.0	228.0	20	400	
		Y축	50					
	우	X축	-2	50.0	223.8	20	400	
		Y축	50					
전방 30cm	좌	X축	2	48.0	214.8	20	400	0.34
		Y축	48					
	중	X축	-2	44.0	197.0	20	400	
		Y축	44					
	우	X축	-6	48.4	216.3	20	400	
		Y축	48					
후방 10cm	좌	X축	0	50.0	223.6	20	400	0.36
		Y축	50					
	중	X축	-6	50.4	225.2	20	400	
		Y축	50					
	우	X축	-2	50.0	223.8	20	400	
		Y축	50					
후방 20cm	좌	X축	-2	50.0	223.8	20	400	0.36
		Y축	50					
	중	X축	-2	32.1	143.4	20	400	
		Y축	32					
	우	X축	-4	50.2	224.3	20	400	
		Y축	50					
후방 30cm	좌	X축	-2	50.0	223.8	20	400	0.36
		Y축	50					
	중	X축	-2	30.1	134.5	20	400	
		Y축	30					
	우	X축	-4	50.2	224.3	20	400	
		Y축	50					
후방 40cm	좌	X축	-4	50.2	224.3	20	400	0.36
		Y축	50					
	중	X축	0	34.0	152.1	20	400	
		Y축	34					
	우	X축	-6	50.4	225.2	20	400	
		Y축	50					
후방 60cm	좌	X축	-2	50.0	223.8	20	400	0.36
		Y축	50					
	중	X축	-2	38.1	170.2	20	400	
		Y축	38					
	우	X축	0	50.0	223.6	20	400	
		Y축	50					

표 3.4.4-1 계 속

위치		방향	유속	유속		수위		Froude No.
				모형	원형	모형	원형	
전방	좌	X축	0	48.0	214.7	20	400	0.34
		Y축	48					
	중	X축	-2	40.0	179.1	20	400	
		Y축	40					
	우	X축	-6	50.4	225.2	20	400	
		Y축	50					
중앙	좌	X축	-4	50.2	224.3	20	400	0.36
		Y축	50					
	중	X축	-6	50.4	225.2	20	400	
		Y축	50					
	우	X축	-8	50.6	226.5	20	400	
		Y축	50					
후방	좌	X축	0	50.0	223.6	20	400	0.36
		Y축	50					
	중	X축	-10	51.0	228.0	20	400	
		Y축	50					
	우	X축	-2	50.0	223.8	20	400	
		Y축	50					
전방 30cm	좌	X축	2	48.0	214.8	20	400	0.34
		Y축	48					
	중	X축	-2	44.0	197.0	20	400	
		Y축	44					
	우	X축	-6	48.4	216.3	20	400	
		Y축	48					
후방 10cm	좌	X축	0	50.0	223.6	20	400	0.36
		Y축	50					
	중	X축	-6	50.4	225.2	20	400	
		Y축	50					
	우	X축	-2	50.0	223.8	20	400	
		Y축	50					
후방 20cm	좌	X축	-2	50.0	223.8	20	400	0.36
		Y축	50					
	중	X축	-2	32.1	143.4	20	400	
		Y축	32					
	우	X축	-4	50.2	224.3	20	400	
		Y축	50					
후방 30cm	좌	X축	-2	50.0	223.8	20	400	0.36
		Y축	50					
	중	X축	-2	30.1	134.5	20	400	
		Y축	30					
	우	X축	-4	50.2	224.3	20	400	
		Y축	50					
후방 40cm	좌	X축	-4	50.2	224.3	20	400	0.36
		Y축	50					
	중	X축	0	34.0	152.1	20	400	
		Y축	34					
	우	X축	-6	50.4	225.2	20	400	
		Y축	50					
후방 60cm	좌	X축	-2	50.0	223.8	20	400	0.36
		Y축	50					
	중	X축	-2	38.1	170.2	20	400	
		Y축	38					
	우	X축	0	50.0	223.6	20	400	
		Y축	50					

표 3.4.4-1 계 속

위치		방향	유속	유속		수위		Froude No.
				모형	원형	모형	원형	
전방	좌	x축	0	55.0	246.0	20	400	0.39
		Y축	55					
	중	x축	-4	44.2	197.6	20.5	410	
		Y축	44					
	우	x축	0	55.0	246.0	20	400	
		Y축	55					
중앙	좌	x축	0	60.0	268.3	20	400	0.43
		Y축	60					
	중	x축	-10	51.0	228.0	21	420	
		Y축	50					
	우	x축	-10	55.9	250.0	20	400	
		Y축	55					
후방	좌	x축	-8	60.5	270.7	20	400	0.43
		Y축	60					
	중	x축	-8	55.6	248.6	20	400	
		Y축	55					
	우	x축	-5	55.2	247.0	20	400	
		Y축	55					
전방 10cm	좌	x축	0	50.0	223.6	20	400	0.36
		Y축	50					
	중	x축	0	50.0	223.6	20	400	
		Y축	50					
	우	x축	0	50.0	223.6	20	400	
		Y축	50					
전방 15cm	좌	x축	0	50.0	223.6	20	400	0.36
		Y축	50					
	중	x축	0	50.0	223.6	20	400	
		Y축	50					
	우	x축	-2	50.0	223.8	20	400	
		Y축	50					
전방 30cm	좌	x축	0	50.0	223.6	20	400	0.36
		Y축	50					
	중	x축	0	50.0	223.6	20	400	
		Y축	50					
	우	x축	-2	50.0	223.8	20	400	
		Y축	50					
후방 5cm	좌	x축	-2	55.0	246.1	20	400	0.39
		Y축	55					
	중	x축	-2	48.0	214.8	20	400	
		Y축	48					
	우	x축	0	55.0	246.0	20	400	
		Y축	55					
후방 15cm	좌	x축	-8	55.6	248.6	20	400	0.40
		Y축	55					
	중	x축	-2	40.0	179.1	20	400	
		Y축	40					
	우	x축	-5	52.2	233.6	20	400	
		Y축	52					
후방 30cm	좌	x축	-2	55.0	246.1	20	400	0.39
		Y축	55					
	중	x축	-6	40.4	180.9	20	400	
		Y축	40					
	우	x축	-2	55.0	246.1	20	400	
		Y축	55					

표 3.4.4-1 계 속

위치	방향	유속	유속		수위		Froude No.	
			모형	원형	모형	원형		
전방	좌	x축	15	71.6	320.2	20	400	0.51
		Y축	70					
	중	x축	-10	51.0	228.0	20	400	
		Y축	50					
	우	x축	-5	80.2	358.5	19	380	
		Y축	80					
중앙	좌	x축	35	78.3	350.0	20	400	0.56
		Y축	70					
	중	x축	0	75.0	335.4	19.5	390	
		Y축	75					
	우	x축	5	75.2	336.2	19	380	
		Y축	75					
후방	좌	x축	10	75.7	338.4	19.5	390	0.55
		Y축	75					
	중	x축	-10	70.7	316.2	19.5	390	
		Y축	70					
	우	x축	5	80.2	358.5	19	380	
		Y축	80					
전방 30cm	좌	x축	10	65.8	294.1	20	400	0.47
		Y축	65					
	중	x축	10	65.8	294.1	20	400	
		Y축	65					
	우	x축	20	72.8	325.6	19	380	
		Y축	70					
후방 10cm	좌	x축	0	80.0	357.8	19	380	0.59
		Y축	80					
	중	x축	-10	60.8	272.0	17.5	350	
		Y축	60					
	우	x축	15	86.3	386.0	18	360	
		Y축	85					
후방 20cm	좌	x축	5	75.2	336.2	19	380	0.55
		Y축	75					
	중	x축	-10	55.9	250.0	18	360	
		Y축	55					
	우	x축	40	80.6	360.6	18	360	
		Y축	70					
후방 30cm	좌	x축	45	79.1	353.6	19	380	0.58
		Y축	65					
	중	x축	20	49.2	220.2	19	380	
		Y축	45					
	우	x축	65	79.1	353.6	18.5	370	
		Y축	45					
후방 40cm	좌	x축	65	73.8	330.2	19.5	390	0.53
		Y축	35					
	중	x축	30	42.4	189.7	20	400	
		Y축	30					
	우	x축	70	76.2	340.6	19.5	390	
		Y축	30					
후방 60cm	좌	x축	30	76.2	340.6	18	360	0.57
		Y축	70					
	중	x축	10	65.8	294.1	18.5	370	
		Y축	65					
	우	x축	45	79.1	353.6	18	360	
		Y축	65					

표 3.4.4-1 계 속

위치	방향	유속	유속		수위		Froude No.	
			모형	원형	모형	원형		
전방	좌	X축	0	70.0	313.0	19.5	390	0.51
		Y축	70					
	중	X축	0	55.0	246.0	19	380	
		Y축	55					
	우	X축	-5	70.2	313.8	18.5	370	
		Y축	70					
중앙	좌	X축	15	71.6	320.2	19	380	0.52
		Y축	70					
	중	X축	75	99.2	443.8	20	400	
		Y축	65					
	우	X축	75	82.8	370.1	19	380	
		Y축	35					
후방	좌	X축	-15	76.5	342.1	18.5	370	0.57
		Y축	75					
	중	X축	5	65.2	291.5	17	340	
		Y축	65					
	우	X축	15	81.4	364.0	18	360	
		Y축	80					
전방 30cm	좌	X축	-10	60.8	272.0	19.5	390	0.44
		Y축	60					
	중	X축	0	75.0	335.4	20	400	
		Y축	75					
	우	X축	5	65.2	291.5	19	380	
		Y축	65					
후방 10cm	좌	X축	15	71.6	320.2	18.5	370	0.53
		Y축	70					
	중	X축	25	51.5	230.2	18	360	
		Y축	45					
	우	X축	45	83.2	372.2	18	360	
		Y축	70					
후방 20cm	좌	X축	5	75.2	336.2	18.5	370	0.56
		Y축	75					
	중	X축	20	49.2	220.2	18	360	
		Y축	45					
	우	X축	20	72.8	325.6	18.5	370	
		Y축	70					
후방 30cm	좌	X축	-5	70.2	313.8	19.5	390	0.51
		Y축	70					
	중	X축	0	45.0	201.2	19	380	
		Y축	45					
	우	X축	25	69.6	311.4	18.5	370	
		Y축	65					
후방 40cm	좌	X축	10	70.7	316.2	19.5	390	0.51
		Y축	70					
	중	X축	15	47.4	212.1	20	400	
		Y축	45					
	우	X축	40	76.3	341.3	19	380	
		Y축	65					
후방 60cm	좌	X축	15	71.6	320.2	18	360	0.54
		Y축	70					
	중	X축	20	58.5	261.7	18.5	370	
		Y축	55					
	우	X축	60	81.4	364.0	18	360	
		Y축	55					

표 3.4.4-1 계 속

위치	방향	유속	유속		수위		Froude No.
			모형	원형	모형	원형	
전방	좌	X축 5	70.2	313.8	19	380	0.51
		Y축 70					
	중	X축 0	60.0	268.3	19	380	
		Y축 60					
	우	X축 15	76.5	342.1	18.5	370	
		Y축 75					
중앙	좌	X축 10	70.7	316.2	19.5	390	
		Y축 70					
	중	X축 25	83.8	374.8	19.5	390	
		Y축 80					
	우	X축 35	78.3	350.0	19	380	
		Y축 70					
후방	좌	X축 30	71.6	320.2	18.5	370	
		Y축 65					
	중	X축 25	65.0	290.7	17.5	350	
		Y축 60					
	우	X축 60	78.1	349.3	17	340	
		Y축 50					
전방 30cm	좌	X축 -10	65.8	294.1	20	400	
		Y축 65					
	중	X축 -10	70.7	316.2	21	420	
		Y축 70					
	우	X축 -5	75.2	336.2	19.5	390	
		Y축 75					
후방 10cm	좌	X축 15	76.5	342.1	18.5	370	
		Y축 75					
	중	X축 30	62.6	280.2	17.5	350	
		Y축 55					
	우	X축 25	79.1	353.6	17.5	350	
		Y축 75					
후방 20cm	좌	X축 10	75.7	338.4	18	360	
		Y축 75					
	중	X축 15	57.0	255.0	16.5	330	
		Y축 55					
	우	X축 20	72.8	325.6	17.5	350	
		Y축 70					
후방 30cm	좌	X축 -40	68.0	304.1	19.5	390	
		Y축 55					
	중	X축 0	45.0	201.2	20	400	
		Y축 45					
	우	X축 15	71.6	320.2	18.5	370	
		Y축 70					
후방 40cm	좌	X축 -35	69.5	310.6	20	400	
		Y축 60					
	중	X축 -35	57.0	255.0	20.5	410	
		Y축 45					
	우	X축 -25	79.1	353.6	20	400	
		Y축 75					
후방 60cm	좌	X축 -5	70.2	313.8	17	340	
		Y축 70					
	중	X축 0	65.0	290.7	17.5	350	
		Y축 65					
	우	X축 -5	80.2	358.5	17	340	
		Y축 80					

표 3.4.4-1 계 속

위치	방향	유속	유속		수위		Froude No.
			모형	원형	모형	원형	
전방	좌	X측 15	66.7	298.3	20	400	0.48
		Y측 65					
	중	X측 0	65.0	290.7	19.5	390	
		Y측 65					
	우	X측 35	78.3	350.0	19	380	
		Y측 70					
중앙	좌	X측 5	75.2	336.2	19.5	390	
		Y측 75					
	중	X측 10	65.8	294.1	18.5	370	
		Y측 65					
	우	X측 5	75.2	336.2	19	380	
		Y측 75					
후방	좌	X측 25	74.3	332.4	19.5	390	
		Y측 70					
	중	X측 25	79.1	353.6	18	360	
		Y측 75					
	우	X측 20	87.3	390.5	18.5	370	
		Y측 85					
전방 30cm	좌	X측 -10	70.7	316.2	19.5	390	
		Y측 70					
	중	X측 10	65.8	294.1	20	400	
		Y측 65					
	우	X측 15	66.7	298.3	19	380	
		Y측 65					
후방 10cm	좌	X측 5	80.2	358.5	19	380	
		Y측 80					
	중	X측 -5	45.3	202.5	18	360	
		Y측 45					
	우	X측 15	86.3	386.0	18.5	370	
		Y측 85					
후방 20cm	좌	X측 10	75.7	338.4	19.5	390	
		Y측 75					
	중	X측 25	43.0	192.4	18.5	370	
		Y측 35					
	우	X측 45	79.1	353.6	18.5	370	
		Y측 65					
후방 30cm	좌	X측 20	72.8	325.6	20	400	
		Y측 70					
	중	X측 5	35.4	158.1	18.5	370	
		Y측 35					
	우	X측 30	76.2	340.6	19	380	
		Y측 70					
후방 40cm	좌	X측 20	63.2	282.8	19.5	390	
		Y측 60					
	중	X측 5	40.3	180.3	19	380	
		Y측 40					
	우	X측 20	77.6	347.1	19.5	390	
		Y측 75					
후방 60cm	좌	X측 5	75.2	336.2	18.5	370	
		Y측 75					
	중	X측 10	55.9	250.0	18.5	370	
		Y측 55					
	우	X측 15	76.5	342.1	18.5	370	
		Y측 75					

표 3.4.4-1 계 속

위치	방향	유속	유속		수위		Froude No.	
			모형	원형	모형	원형		
전방	좌	x축	-2	38.1	170.2	30	600	0.22
		Y축	38					
	중	x축	-8	31.0	138.9	30	600	
		Y축	30					
	우	x축	0	34.0	152.1	30	600	
		Y축	34					
중앙	좌	x축	-2	38.1	170.2	30	600	0.22
		Y축	38					
	중	x축	-4	36.2	162.0	30	600	
		Y축	36					
	우	x축	-4	38.2	170.9	30	600	
		Y축	38					
후방	좌	x축	0	36.0	161.0	30	600	0.21
		Y축	36					
	중	x축	-2	38.1	170.2	30	600	
		Y축	38					
	우	x축	-6	32.6	145.6	30	600	
		Y축	32					
전방 30cm	좌	x축	-6	34.5	154.4	30	600	0.20
		Y축	34					
	중	x축	-6	34.5	154.4	30	600	
		Y축	34					
	우	x축	-2	34.1	152.3	30	600	
		Y축	34					
후방 10cm	좌	x축	-4	32.2	144.2	30	600	0.19
		Y축	32					
	중	x축	-2	28.1	125.5	30	600	
		Y축	28					
	우	x축	-4	32.2	144.2	30	600	
		Y축	32					
후방 20cm	좌	x축	-2	36.1	161.2	30	600	0.21
		Y축	36					
	중	x축	0	20.0	89.4	30	600	
		Y축	20					
	우	x축	-4	34.2	153.1	30	600	
		Y축	34					
후방 30cm	좌	x축	-2	34.1	152.3	30	600	0.20
		Y축	34					
	중	x축	0	20.0	89.4	30	600	
		Y축	20					
	우	x축	0	34.0	152.1	30	600	
		Y축	34					
후방 40cm	좌	x축	0	34.0	152.1	30	600	0.20
		Y축	34					
	중	x축	0	28.0	125.2	30	600	
		Y축	28					
	우	x축	0	34.0	152.1	30	600	
		Y축	34					

표 3.4.4-1 계 속

위치	방향	유속	유속		수위		Froude No.	
			모형	원형	모형	원형		
전방	좌	x축	-2	42.0	188.0	30	600	0.25
		Y축	42					
	중	x축	-6	34.5	154.4	30	600	
		Y축	34					
	우	x축	-4	42.2	188.7	30	600	
		Y축	42					
중앙	좌	x축	0	48.0	214.7	30	600	0.28
		Y축	48					
	중	x축	0	48.0	214.7	30	600	
		Y축	48					
	우	x축	0	46.0	205.7	30	600	
		Y축	46					
후방	좌	x축	-4	46.2	206.5	30	600	0.27
		Y축	46					
	중	x축	0	46.0	205.7	30	600	
		Y축	46					
	우	x축	-2	44.0	197.0	30	600	
		Y축	44					
전방 10cm	좌	x축	-2	40.0	179.1	30	600	0.23
		Y축	40					
	중	x축	-6	32.6	145.6	30	600	
		Y축	32					
	우	x축	-6	38.5	172.0	30	600	
		Y축	38					
전방 30cm	좌	x축	-2	42.0	188.0	30	600	0.25
		Y축	42					
	중	x축	0	42.0	187.8	30	600	
		Y축	42					
	우	x축	-4	40.2	179.8	30	600	
		Y축	40					
후방 10cm	좌	x축	-4	42.2	188.7	30	600	0.25
		Y축	42					
	중	x축	0	40.0	178.9	30	600	
		Y축	40					
	우	x축	-2	44.0	197.0	30	600	
		Y축	44					
후방 20cm	좌	x축	-6	42.4	189.7	30	600	0.25
		Y축	42					
	중	x축	0	30.0	134.2	30	600	
		Y축	30					
	우	x축	0	42.0	187.8	30	600	
		Y축	42					
후방 30cm	좌	x축	-4	40.2	179.8	30	600	0.23
		Y축	40					
	중	x축	-4	28.3	126.5	30	600	
		Y축	28					
	우	x축	-4	40.2	179.8	30	600	
		Y축	40					
후방 40cm	좌	x축	-2	42.0	188.0	30	600	0.25
		Y축	42					
	중	x축	-4	30.3	135.4	30	600	
		Y축	30					
	우	x축	0	40.0	178.9	30	600	
		Y축	40					

표 3.4.4-1 계 속

위치	방향	유속	유속		수위		Froude No.	
			모형	원형	모형	원형		
전방	좌	x축	0	42.0	187.8	30	600	0.24
		Y축	42					
	중	x축	-2	40.0	179.1	30	600	
		Y축	40					
	우	x축	0	42.0	187.8	30	600	
		Y축	42					
중앙	좌	x축	-2	46.0	205.9	30	600	0.27
		Y축	46					
	중	x축	-6	48.4	216.3	30	600	
		Y축	48					
	우	x축	-10	43.2	193.1	30	600	
		Y축	42					
후방	좌	x축	0	46.0	205.7	30	600	0.27
		Y축	46					
	중	x축	-4	46.2	206.5	30	600	
		Y축	46					
	우	x축	-6	46.4	207.5	30	600	
		Y축	46					
전방 30cm	좌	x축	-2	42.0	188.0	30	600	0.25
		Y축	42					
	중	x축	-4	42.2	188.7	30	600	
		Y축	42					
	우	x축	-6	42.4	189.7	30	600	
		Y축	42					
후방 10cm	좌	x축	-2	46.0	205.9	30	600	0.27
		Y축	46					
	중	x축	-6	40.4	180.9	30	600	
		Y축	40					
	우	x축	-4	46.2	206.5	30	600	
		Y축	46					
후방 20cm	좌	x축	-2	46.0	205.9	30	600	0.27
		Y축	46					
	중	x축	-4	26.3	117.6	30	600	
		Y축	26					
	우	x축	0	42.0	187.8	30	600	
		Y축	42					
후방 30cm	좌	x축	0	48.0	214.7	30	600	0.28
		Y축	48					
	중	x축	-2	26.1	116.6	30	600	
		Y축	26					
	우	x축	-10	43.2	193.1	30	600	
		Y축	42					
후방 40cm	좌	x축	-2	44.0	197.0	30	600	0.26
		Y축	44					
	중	x축	0	30.0	134.2	30	600	
		Y축	30					
	우	x축	-4	46.2	206.5	30	600	
		Y축	46					
후방 60cm	좌	x축	-6	46.4	207.5	30	600	0.27
		Y축	46					
	중	x축	-2	38.1	170.2	30	600	
		Y축	38					
	우	x축	-6	44.4	198.6	30	600	
		Y축	44					

표 3.4.4-1 계 속

위치	방향	유속	유속		수위		Froude No.	
			모형	원형	모형	원형		
전방	좌	x축	-2	50.0	223.8	30	600	0.29
		Y축	50					
	중	x축	0	46.0	205.7	30	600	
		Y축	46					
	우	x축	-2	50.0	223.8	30	600	
		Y축	50					
중앙	좌	x축	1	50.0	223.7	30	600	0.29
		Y축	50					
	중	x축	-8	50.6	226.5	30	600	
		Y축	50					
	우	x축	-10	51.0	228.0	30	600	
		Y축	50					
후방	좌	x축	-2	50.0	223.8	30	600	0.29
		Y축	50					
	중	x축	-8	50.6	226.5	30	600	
		Y축	50					
	우	x축	-12	51.4	230.0	30	600	
		Y축	50					
전방 30cm	좌	x축	0	50.0	223.6	30	600	0.29
		Y축	50					
	중	x축	-12	51.4	230.0	30	600	
		Y축	50					
	우	x축	-6	42.4	189.7	30	600	
		Y축	42					
후방 10cm	좌	x축	0	50.0	223.6	30	600	0.29
		Y축	50					
	중	x축	-4	36.2	162.0	30	600	
		Y축	36					
	우	x축	-2	50.0	223.8	30	600	
		Y축	50					
후방 20cm	좌	x축	-4	50.2	224.3	30	600	0.29
		Y축	50					
	중	x축	-2	26.1	116.6	30	600	
		Y축	26					
	우	x축	-2	50.0	223.8	30	600	
		Y축	50					
후방 30cm	좌	x축	-4	50.2	224.3	30	600	0.29
		Y축	50					
	중	x축	-4	26.3	117.6	30	600	
		Y축	26					
	우	x축	-6	50.4	225.2	30	600	
		Y축	50					
후방 40cm	좌	x축	-2	48.0	214.8	30	600	0.28
		Y축	48					
	중	x축	0	42.0	187.8	30	600	
		Y축	42					
	우	x축	-2	50.0	223.8	30	600	
		Y축	50					

표 3.4.4-1 계 속

위치	방향	유속	유속		수위		Froude No.	
			모형	원형	모형	원형		
전방	좌	X축	37	69.6	311.4	30.7	614	0.40
		Y축	59					
	중	X축	10	60.8	272.0	30.5	610	
		Y축	60					
	우	X축	-15	78.4	350.8	30.5	610	
		Y축	77					
중앙	좌	X축	19	80.3	359.0	30.5	610	0.46
		Y축	78					
	중	X축	0	71.0	317.5	30.5	610	
		Y축	71					
	우	X축	-20	77.6	347.1	30.5	610	
		Y축	75					
후방	좌	X축	-5	45.3	202.5	30	600	0.26
		Y축	45					
	중	X축	2	72.0	322.1	30	600	
		Y축	72					
	우	X축	5	11.2	50.0	30	600	
		Y축	10					
전방 30cm	좌	X축	22	74.3	332.4	30.5	610	0.43
		Y축	71					
	중	X축	0	65.0	290.7	30.5	610	
		Y축	65					
	우	X축	-20	65.1	291.3	30.5	610	
		Y축	62					
후방 10cm	좌	X축	35	69.5	310.6	30.5	610	0.40
		Y축	60					
	중	X축	0	60.0	268.3	30.5	610	
		Y축	60					
	우	X축	-25	81.0	362.0	30.5	610	
		Y축	77					
후방 20cm	좌	X축	15	71.6	320.2	31	620	0.41
		Y축	70					
	중	X축	5	60.2	269.3	30.7	614	
		Y축	60					
	우	X축	-10	70.7	316.2	30.5	610	
		Y축	70					
후방 30cm	좌	X축	25	69.6	311.4	31	620	0.40
		Y축	65					
	중	X축	20	60.4	270.1	30.5	610	
		Y축	57					
	우	X축	-30	76.2	340.6	30.5	610	
		Y축	70					
후방 40cm	좌	X축	25	73.4	328.2	30.5	610	0.42
		Y축	69					
	중	X축	12	61.2	273.6	30.5	610	
		Y축	60					
	우	X축	-2	80.0	357.9	30.5	610	
		Y축	80					
후방 60cm	좌	X축	28	75.4	238.4	30.5	610	0.31
		Y축	70					
	중	X축	5	61.2	193.5	30.5	610	
		Y축	61					
	우	X축	0	80.0	253.0	30.5	610	
		Y축	80					

표 3.4.4-1 계 속

위치	방향	유속	유속		수위		Froude No.	
			모형	원형	모형	원형		
전방	좌	X측	10	81.6	365.0	30	600	0.48
		Y측	81					
	중	X측	0	65.0	290.7	30.5	610	
		Y측	65					
	우	X측	-10	90.6	405.0	30.5	610	
		Y측	90					
중앙	좌	X측	-1	90.0	402.5	30.5	610	0.52
		Y측	90					
	중	X측	-10	80.6	360.6	30	600	
		Y측	80					
	우	X측	-18	91.8	410.5	30.5	610	
		Y측	90					
후방	좌	X측	-19	90.0	402.6	30	600	0.53
		Y측	88					
	중	X측	-11	80.8	361.1	30	600	
		Y측	80					
	우	X측	-15	71.6	320.2	30	600	
		Y측	70					
전방 30cm	좌	X측	5	80.2	358.5	30.5	610	0.46
		Y측	80					
	중	X측	-22	64.8	290.0	30.3	606	
		Y측	61					
	우	X측	-25	93.4	417.7	30.5	610	
		Y측	90					
후방 10cm	좌	X측	29	85.1	380.6	30.5	610	0.49
		Y측	80					
	중	X측	0	65.0	290.7	31	620	
		Y측	65					
	우	X측	-25	93.4	417.7	30.5	610	
		Y측	90					
후방 20cm	좌	X측	10	88.6	396.1	30.7	614	0.51
		Y측	88					
	중	X측	-1	65.0	290.7	30.5	610	
		Y측	65					
	우	X측	-15	91.2	408.0	30.5	610	
		Y측	90					
후방 30cm	좌	X측	11	80.8	361.1	30.5	610	0.47
		Y측	80					
	중	X측	-10	65.8	294.1	30.5	610	
		Y측	65					
	우	X측	-19	92.0	411.4	30.5	610	
		Y측	90					
후방 40cm	좌	X측	15	86.3	386.0	30.7	614	0.50
		Y측	85					
	중	X측	-2	65.0	290.8	30.5	610	
		Y측	65					
	우	X측	35	95.6	427.7	30.3	606	
		Y측	89					
후방 60cm	좌	X측	15	81.4	257.4	30.5	610	0.33
		Y측	80					
	중	X측	-9	65.6	207.5	30.5	610	
		Y측	65					
	우	X측	-30	94.9	300.0	30.3	606	
		Y측	90					

표 3.4.4-1 계 속

위치	방향	유속	유속		수위		Froude No.	
			모형	원형	모형	원형		
전방	좌	x축	-2	38.1	170.2	40	800	0.19
		Y축	38					
	중	x축	-4	30.3	135.4	40	800	0.15
		Y축	30					
	우	x축	-8	36.9	164.9	40	800	0.19
		Y축	36					
중앙	좌	x축	-4	36.2	162.0	40	800	0.18
		Y축	36					
	중	x축	0	40.0	178.9	40	800	0.20
		Y축	40					
	우	x축	-8	38.8	173.7	40	800	0.20
		Y축	38					
후방	좌	x축	-4	38.2	170.9	40	800	0.19
		Y축	38					
	중	x축	-6	40.4	180.9	40	800	0.20
		Y축	40					
	우	x축	-2	38.1	170.2	40	800	0.19
		Y축	38					
전방 30cm	좌	x축	-4	30.3	135.4	40	800	0.15
		Y축	30					
	중	x축	0	28.0	125.2	40	800	0.14
		Y축	28					
	우	x축	-2	26.1	116.6	40	800	0.13
		Y축	26					
후방 10cm	좌	x축	-6	38.5	172.0	40	800	0.19
		Y축	38					
	중	x축	-8	36.9	164.9	40	800	0.19
		Y축	36					
	우	x축	-8	38.8	173.7	40	800	0.20
		Y축	38					
후방 20cm	좌	x축	-2	38.1	170.2	40	800	0.19
		Y축	38					
	중	x축	0	22.0	98.4	40	800	0.11
		Y축	22					
	우	x축	-6	36.5	163.2	40	800	0.18
		Y축	36					
후방 30cm	좌	x축	-2	38.1	170.2	40	800	0.19
		Y축	38					
	중	x축	0	24.0	107.3	40	800	0.12
		Y축	24					
	우	x축	0	38.0	169.9	40	800	0.19
		Y축	38					
후방 40cm	좌	x축	-2	40.0	179.1	40	800	0.20
		Y축	40					
	중	x축	0	24.0	107.3	40	800	0.12
		Y축	24					
	우	x축	-4	36.2	162.0	40	800	0.18
		Y축	36					
후방 60cm	좌	x축	-4	40.2	179.8	40	800	0.20
		Y축	40					
	중	x축	0	29.0	129.7	40	800	0.15
		Y축	29					
	우	x축	-2	38.1	170.2	40	800	0.19
		Y축	38					

표 3.4.4-1 계 속

위치	방향	유속	유속		수위		Froude No.	
			모형	원형	모형	원형		
전방	좌	X축	-2	42.0	188.0	40	800	0.21
		Y축	42					
	중	X축	-2	34.1	152.3	40	800	
		Y축	34					
	우	X축	-6	40.4	180.9	40	800	
		Y축	40					
중앙	좌	X축	0	40.0	178.9	40	800	0.20
		Y축	40					
	중	X축	-4	40.2	179.8	40	800	
		Y축	40					
	우	X축	-4	40.2	179.8	40	800	
		Y축	40					
후방	좌	X축	-2	42.0	188.0	40	800	0.21
		Y축	42					
	중	X축	-8	40.8	182.4	40	800	
		Y축	40					
	우	X축	-4	40.2	179.8	40	800	
		Y축	40					
전방 30cm	좌	X축	-4	40.2	179.8	40	800	0.20
		Y축	40					
	중	X축	-6	42.4	189.7	40	800	
		Y축	42					
	우	X축	0	44.0	196.8	40	800	
		Y축	44					
후방 10cm	좌	X축	-6	40.4	180.9	40	800	0.20
		Y축	40					
	중	X축	-4	40.2	179.8	40	800	
		Y축	40					
	우	X축	0	42.0	187.8	40	800	
		Y축	42					
후방 20cm	좌	X축	-2	40.0	179.1	40	800	0.20
		Y축	40					
	중	X축	0	22.0	98.4	40	800	
		Y축	22					
	우	X축	-2	38.1	170.2	40	800	
		Y축	38					
후방 30cm	좌	X축	-4	40.2	179.8	40	800	0.20
		Y축	40					
	중	X축	-2	28.1	125.5	40	800	
		Y축	28					
	우	X축	-2	42.0	188.0	40	800	
		Y축	42					
후방 40cm	좌	X축	-6	42.4	189.7	40	800	0.21
		Y축	42					
	중	X축	-4	28.3	126.5	40	800	
		Y축	28					
	우	X축	0	38.0	169.9	40	800	
		Y축	38					
후방 60cm	좌	X축	0	40.0	178.9	40	800	0.20
		Y축	40					
	중	X축	-2	32.1	143.4	40	800	
		Y축	32					
	우	X축	-2	42.0	188.0	40	800	
		Y축	42					

표 3.4.4-1 계 속

위치	방향	유속	유속		수위		Froude No.	
			모형	원형	모형	원형		
전방	좌	X축	3	60.1	268.7	40.5	810	0.30
		Y축	60					
	중	X축	-2	45.0	201.4	40	800	0.23
		Y축	45					
	우	X축	-10	60.8	272.0	40.3	806	0.31
		Y축	60					
중앙	좌	X축	8	59.5	266.3	40.2	804	0.30
		Y축	59					
	중	X축	3	48.1	215.1	40	800	0.24
		Y축	48					
	우	X축	-18	62.6	280.1	40.5	810	0.31
		Y축	60					
후방	좌	X축	-5	59.2	264.8	40.5	810	0.30
		Y축	59					
	중	X축	-5	40.3	180.3	40.3	806	0.20
		Y축	40					
	우	X축	-1	60.0	268.4	40	800	0.30
		Y축	60					
전방 30cm	좌	X축	0	55.0	246.0	40.2	804	0.28
		Y축	55					
	중	X축	-2	42.0	188.0	40	800	0.21
		Y축	42					
	우	X축	-21	62.6	280.1	40	800	0.32
		Y축	59					
후방 10cm	좌	X축	10	55.9	250.0	40.5	810	0.28
		Y축	55					
	중	X축	-1	45.0	201.3	40.5	810	0.23
		Y축	45					
	우	X축	-20	63.2	282.8	40.3	806	0.32
		Y축	60					
후방 20cm	좌	X축	5	55.2	247.0	40.5	810	0.28
		Y축	55					
	중	X축	0	40.0	178.9	40	800	0.20
		Y축	40					
	우	X축	-18	62.6	280.1	40	800	0.32
		Y축	60					
후방 30cm	좌	X축	-1	55.0	246.0	40.5	810	0.28
		Y축	55					
	중	X축	-8	40.8	182.4	40.3	806	0.21
		Y축	40					
	우	X축	-32	60.2	269.3	40.5	810	0.30
		Y축	51					
후방 40cm	좌	X축	1	60.0	268.4	40.3	806	0.30
		Y축	60					
	중	X축	-9	41.0	183.4	40	800	0.21
		Y축	40					
	우	X축	-28	61.7	276.0	40.5	810	0.31
		Y축	55					
후방 60cm	좌	X축	0	60.0	268.3	40	800	0.30
		Y축	60					
	중	X축	0	45.0	201.2	40.3	806	0.23
		Y축	45					
	우	X축	-30	66.2	296.0	40.3	806	0.33
		Y축	59					

표 3.4.4-1 계 속

위치	방향	유속	유속		수위		Froude No.	
			모형	원형	모형	원형		
전방	좌	X측	5	73.2	327.2	40.3	806	0.37
		Y측	73					
	중	X측	0	55.0	246.0	40	800	0.28
		Y측	55					
	우	X측	-30	80.8	361.2	40	800	0.41
		Y측	75					
중앙	좌	X측	0	72.0	322.0	40	800	0.36
		Y측	72					
	중	X측	0	48.0	214.7	40	800	0.24
		Y측	48					
	우	X측	-19	77.4	346.0	40.1	802	0.39
		Y측	75					
후방	좌	X측	-10	70.7	316.2	40.3	806	0.36
		Y측	70					
	중	X측	-1	63.0	281.8	40	800	0.32
		Y측	63					
	우	X측	-20	73.8	329.9	40	800	0.37
		Y측	71					
전방 30cm	좌	X측	8	71.4	319.5	40	800	0.36
		Y측	71					
	중	X측	-10	55.9	250.0	40	800	0.28
		Y측	55					
	우	X측	-35	78.3	350.0	40.3	806	0.39
		Y측	70					
후방 10cm	좌	X측	5	75.2	336.2	40.3	806	0.38
		Y측	75					
	중	X측	-1	55.0	246.0	40.3	806	0.28
		Y측	55					
	우	X측	-32	81.5	364.7	40.3	806	0.41
		Y측	75					
후방 20cm	좌	X측	5	71.2	318.3	40.5	810	0.36
		Y측	71					
	중	X측	-10	55.9	250.0	40	800	0.28
		Y측	55					
	우	X측	-30	80.8	361.2	40	800	0.41
		Y측	75					
후방 30cm	좌	X측	-3	70.1	313.3	40.5	810	0.35
		Y측	70					
	중	X측	0	55.0	246.0	40.5	810	0.28
		Y측	55					
	우	X측	-31	78.4	350.6	40.5	810	0.39
		Y측	72					
후방 40cm	좌	X측	2	75.0	335.5	40	800	0.38
		Y측	75					
	중	X측	-9	59.7	266.9	40	800	0.30
		Y측	59					
	우	X측	-31	81.2	362.9	40	800	0.41
		Y측	75					
후방 60cm	좌	X측	5	73.2	327.2	40	800	0.37
		Y측	73					
	중	X측	-1	59.0	263.9	40	800	0.30
		Y측	59					
	우	X측	-42	81.6	365.1	40.2	804	0.41
		Y측	70					

5. 돌망태 어초의 파랑에 대한 안정성 수리실험

가. 시험조건

1) 설계수심 : 어초의 일반적 적지 조건은 수산생물이 서식하는 수심 10~50m수역(최적 수심 20~40m)으로 매물, 유실의 우려가 없는 경사가 완만한 곳, 공단 주변이나 항로가 아닌 곳이어야 한다. 본 연구에서는 모형시험 시설 및 모형제작상의 제약으로 설계수심을 10m로 하였다. 모형의 축척을 1/20로 하였으므로 모형에서의 설계수심은 0.5m가 된다.

2) 파고 : 서해안의 최대 파고는 대략 7m 정도인 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 최대파고를 7m로 하여 실험을 실시하였다. 최대파고 7m는 모형에서는 0.35m에 해당한다.

3) 주기 : 바람의 작용해 의해서 발달하는 풍파(wind wave)의 주기는 10~15초 이하이다(Kiyoshi, 1997). 이 범위의 대략의 평균치인 13초를 설계파의 주기하였다.

4) 단위어초의 규모 : 1단 어초의 유효공간은 400㎡ 정도가 최소단위라는 보고가 있다(魚礁綜合硏究會, 1976). 또한 이정우(2000)은 단위어초의 규모는 어초어장의 최소단위로서 공간부피가 대략 400㎡ 이상을 표준으로 하고, 수심에 의한 시공정도와 천연초의 보완, 평탄한 해저에서의 어장조성 등 대상어종의 특성, 해양환경의 특성, 설치수심, 어업자의 조업상의 요망 등으로부터 결정된다고 기술하고 있다.

본 연구에서는 $400\text{㎡} \div 8\text{㎡}$ (어초의 부피) = 50개이나 배치의 편의상 가로 7개×세로 7개=49개를 1단(그림 3.4.5-1 (a))으로 나열한 형태와 그 위에 1단을 더 쌓아(가로 5개×세로 5개=25개) 2단으로 배열(그림 3.4.5-1(b))한 2가지 배치형태에 대하여 실험을 실시하였다. 원형에서 400㎡은 본 모형에서는 $0.05\text{㎡}(400\text{㎡}/20\text{㎡})$ 이 된다.



(a) 1단 배치



(b) 2단 배치

그림 3.4.5-1 인공어초군 배치 모습

나. 시험장치

파랑 발생 장치 및 시험 장치는 그림 3.4.5-2와 같은데, 제원은 3.3.2항과 같다.



그림 3.4.5-2 인공어초 안정성 시험 모습

다. 실험결과

파랑을 이용한 인공어초 안정성 시험결과 그림 3.4.5-3과 같이 1, 2단 모두 설계파고 7m, 주기 13sec에 대하여 전혀 움직임이 없이 안정한 것으로 나타났다.



그림 3.4.5-3 돌망태 어초 파랑시험 후의 모습

6. 결론

본 연구를 통하여 개발한 돌망태를 이용한 인공어초는 수리시험결과 설계 유속 및 설계파고에 대하여 안전한 것으로 나타났다. 따라서 안전성 면에서는 문제가 없을 것으로 판단된다. 또한 돌망태 후면에 난류가 발생하므로 이를 감지하고 물고기들이 어초군 주위로 모여들 수 있을 것으로 판단된다.

돌망태 사이의 공극은 안전한 산란장소나 치어들의 피난장소가 될 수 있기 때문에 인공어장 조성에 좋은 효과가 있을 것으로 판단된다.

본 연구를 통하여 개발된 돌망태 어초는 특허를 출원 중에 있다.

제 5절 해안 석재와 콘크리트 구조물 부근의 미생물 서식 현황

1. 서론

방조제 피복석과 돌망태, 콘크리트 구조물(T.T.P.)의 환경 친화적 기능성을 비교하기 위하여 방조제 피복석과 콘크리트 구조물(T.T.P.) 주변의 수리·환경인자에 대한 현장조사를 실시하였다. 본 조사는 새만금4호방조제와 군장매립지에 설치된 콘크리트 구조물(T.T.P.)부근 해역에서 수온·염분 및 부착 미세조류를 채집 조사하였다. 조사 및 채집은 2000년 9월과 10월에 전라북도 군산시 비응도 주변해역에서 최대 만조시와 간조시에 실시하였다. 본 조사는 부착 미세조류(규조류, 남조류 등), 부착동물 및 부착해조류의 군집형성·발달 과정 및 군락천이 과정을 규명하여, 간척 및 매립공사시 사용될 수 있는 이상적인 환경친화적 구조물을 밝혀내기 위하여 실시되었다. 석재와 돌망태를 이용한 제방 또는 수로 구조물에 부착하거나 설치 구역에 서식하는 플랑크톤의 수와 종을 조사하였다. 이는 조사 방법이 매우 정밀하고 전문화되어 있기 때문에 학계의 지원을 받아서 실행되었다.

2. 해양 환경 조사

돌망태와 콘크리트 구조물(T.T.P.)의 환경 친화적 기능성을 비교하기 위한 돌망태와 콘크리트 구조물 주변의 수리·환경인자 현장조사를 위하여 2000년 9월28일, 10월14일의 2회에 걸쳐 새만금4호방조제와 군장매립지에 설치된 T.T.P.부근 해역에서 수온 및 염분을 관측하였는데, 그 관측지점은 그림 3.5.2-1과 같다. 수온 및 염분을 관측한 결과는 표 3.5.2-1,2,3,4와 같았다.

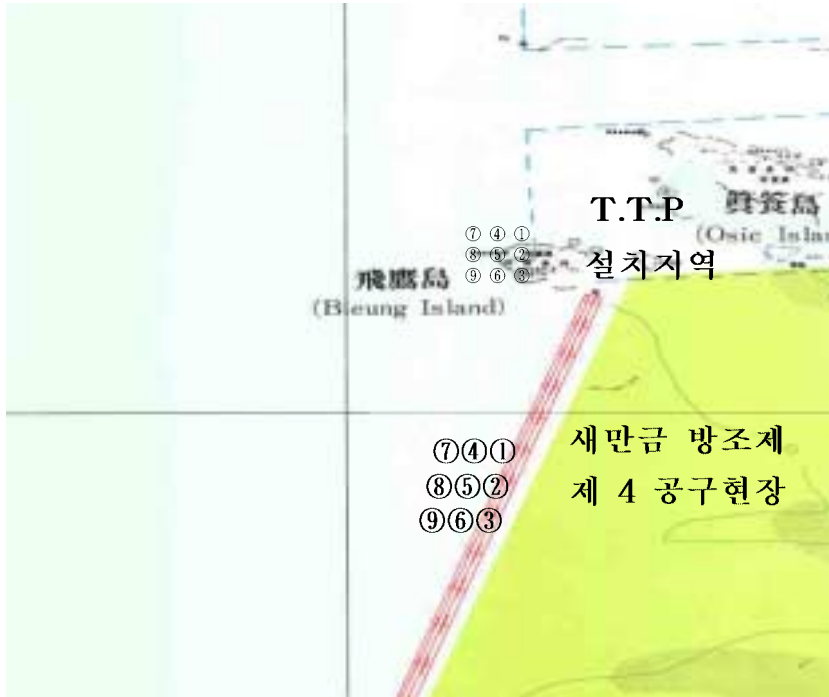


그림 3.5.2-1 수온·염분분포 및 생물조사지점

가. 해안수질 분석결과

1) 수온

새만금4호 방조제 시점에서 약 400m 떨어진 지점 부근에서 2000년 9월 28일 관측한 수온분포를 보면 표층에서 20.57~20.46℃(평균 20.50℃), 표층으로부터 3m수심에서는 20.42~20.49℃(평균 20.46℃)의 온도분포를 보였으며, 표층보다 평균 0.04℃낮은 분포를 나타내고 있었다. 전도도는 표층에서 40.45~40.68(평균 40.52)범위를 나타내고 있었으며, 표층으로부터 3m수심에서는 40.56~40.62(평균 40.58)범위를 나타내고 있었다. T.T.P. 설치시점에서 약 300m 떨어진 지점부근에서 관측한 수온분포를 보면 표층에서 20.4

6~20.50℃(평균20.48℃), 표층으로부터 3m수심에서는 20.44~20.50℃(평균 20.46℃)의 온도分布를 보였으며, 표층보다 평균 0.02℃ 낮은 분포를 나타내고 있었다. 수온 분포차가 새만금4호 방조제 시점에서 약 400m 떨어진 지점 부근에서 관측한 수온分布보다 작은 원인은 금강하천수의 영향으로 판단된다. 전도도는 표층에서 39.95~40.32(평균 40.15)범위를 나타내고 있었으며 표층으로부터 3m수심에서는 40.12~40.39(평균 40.28)범위를 나타내고 있었다.

새만금4호 방조제 시점에서 약 400m 떨어진 지점부근에서 2000년 10월 14일 관측한 수온分布를 보면 표층에서 18.41~18.64℃(평균 18.52℃), 표층으로부터 3m수심에서는 18.60~18.69℃(평균 18.64℃)의 온도分布를 보였으며, 표층보다 평균 0.12℃ 낮은 분포를 나타내고 있었다. 전도도는 표층에서 38.40~38.62(평균 38.48)범위를 나타내고 있었으며, 표층으로부터 3m수심에서는 38.65~38.71(평균 38.69)범위를 나타내고 있었다. T.T.P.설치시점에서 약 300m 떨어진 지점부근에서 관측한 수온分布를 보면 표층에서 18.21~18.62℃(평균18.51℃), 표층으로부터 3m수심에서는 18.22~18.61℃(평균 18.46℃)의 온도分布를 보였으며, 표층보다 평균 0.05℃ 낮은 분포를 나타내고 있었다. 전도도는 표층에서 38.39~38.64(평균 38.48)범위를 나타내고 있었으며, 표층으로부터 3m수심에서는 38.59~38.73(평균 38.67)범위를 나타내고 있었다.

2) 염분(Salinity)

새만금4호 방조제 시점에서 약 400m 떨어진 지점부근에서 2000년 9월 28일 관측한 염분分布를 보면 표층에서 28.65~28.79%(평균 28.69%)을, 표층으로부터 3m수심에서는 28.74~28.82%(평균 28.77%)를 나타내 표층보다 평균 0.08% 높은 분포를 나타내고 있었다. T.T.P설치시점에서 약 300m 떨어진

진 지점부근에서 관측한 염분分布를 보면 표층에서 28.19~28.54%(평균 28.38%)을, 표층으로부터 3m수심에서는 28.37~28.63%(평균 28.51%)를 나타내었고 표층보다 평균 0.13%높은 분포를 나타내고 있었다.

새만금4호 방조제 시점에서 약 400m 떨어진 지점부근에서 2000년 10월 14일 관측한 염분分布를 보면 표층에서 28.37~28.43%(평균 28.40%)을, 표층으로부터 3m수심에서는 28.23~28.48%(평균 28.41%)를 나타내었고 표층보다 평균 0.01%높은 분포를 나타내고 있었다. T.T.P설치시점에서 약 300m 떨어진 지점부근에서 관측한 염분分布를 보면 표층에서 28.34~28.41%(평균 28.37%)을, 표층으로부터 3m수심에서는 28.37~28.44%(평균 28.42%)를 나타내었고 표층보다 평균 0.05%높은 분포를 나타내고 있었다.



그림 3.5.2-2 수온·염분 현장관측사진

표 3.5.2-1 새만금4호 방조제 시점에서 약 400m 부근의 수온·염분분포
(2000년 9월 28일 관측)

항목 위치	1m			3m		
	온도	염분	전도도	온도	염분	전도도
①	20.54	28.73	40.60			
②	20.56	28.79	40.68			
③	20.57	28.71	40.63			
④	20.47	28.70	40.51	20.49	28.75	40.56
⑤	20.47	28.66	40.46	20.48	28.74	40.56
⑥	20.48	28.67	40.48	20.47	28.75	40.57
⑦	20.46	28.66	40.46	20.47	28.76	40.59
⑧	20.46	28.67	40.45	20.45	28.80	40.60
⑨	20.46	28.65	40.45	20.42	28.82	40.62

표 3.5.2-2 T.T.P설치시점에서 300m 부근의 수온·염분분포
(2000년 9월 28일 관측)

항목 위치	1m			3m		
	온도	염분	전도도	온도	염분	전도도
①	20.49	28.37	40.14	20.50	28.37	40.12
②	20.49	28.44	40.23	20.48	28.45	40.23
③	20.49	28.40	40.18	20.48	28.47	40.23
④	20.50	28.23	39.95	20.46	28.54	40.31
⑤	20.46	28.54	40.32	20.46	28.55	40.32
⑥	20.46	28.53	40.31	20.46	28.56	40.34
⑦	20.47	28.25	40.03	20.45	28.55	40.30
⑧	20.47	28.50	40.23	20.44	28.63	40.39
⑨	20.50	28.19	40.00	20.45	28.50	40.32

표 3.5.2-3 새만금4호 방조제 시점에서 약 400m 부근의 수온·염분분포

(2000년 10월 14일 관측)

항목 위치	1m			3m		
	T	S	C	T	S	C
①	18.41	28.40	38.40			
②	18.52	28.39	38.46			
③	18.47	28.38	38.40			
④	18.47	28.37	38.40	18.60	28.43	38.65
⑤	18.44	28.38	38.42	18.61	28.42	38.68
⑥	18.54	28.39	38.51	18.64	28.48	38.71
⑦	18.54	28.39	38.49	18.62	28.44	38.69
⑧	18.64	28.43	38.62	18.69	28.47	38.72
⑨	18.62	28.43	38.60	18.69	28.23	38.71

표 3.5.2-4 T.T.P. 설치시점에서 약 300m 부근의 수온·염분분포

(2000년 10월 14일 관측)

항목 위치	1m			3m		
	T	S	C	T	S	C
①	18.21	28.35	38.39	18.22	28.42	38.59
②	18.39	28.37	38.41	18.41	28.39	38.65
③	18.32	28.38	38.39	18.39	28.40	38.67
④	18.62	28.37	38.42	18.51	28.43	38.62
⑤	18.59	28.34	38.39	18.47	28.44	38.64
⑥	18.61	28.34	38.55	18.52	28.42	38.69
⑦	18.59	28.34	38.53	18.51	28.49	38.71
⑧	18.61	28.41	38.61	18.54	28.46	38.70
⑨	18.62	28.39	38.64	18.61	28.37	38.73

3. 해양수리 구조물의 기질에 따른 부착 미생물 분석

가. 서론

규조류는 일반적으로 부유생활하는 부유성 종류들과 부착생활하는 부착성 규조류로 구분하는데, 부착성 규조류는 다른 기질에 착생하여 사는 해산 저서 규조류의 일종으로 일차 생산자로서의 역할뿐만 아니라 수서 무척추 동물이나 초기 먹이생물로서 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 때로는 조간대의 오염지표종으로 이용되기도 하나 발전소의 수중구조물에 부착함으로써 구조물의 특성을 변화시키기도 한다(Cho et al., 1987; Lee and kim, 1989).

지금까지 규조류에 관한 연구는 주로 부유성 규조류에 편중되어 온 반면, 부착성 규조류의 연구는 최근에야 비로소 연구의 필요성이 강조되어 연구가 시작되었는데, 그 이유는 부착규조류 세포의 크기가 일반적으로 너무 작아서 종 동정과 분석에 어려움이 많았기 때문이다. 최근 생태학적 연구(Cho et al, 1987, Lee and Kim, 1989, 김등, 1991)와 부착규조류를 이용한 수질 평가에 관한 연구(정, 1987), 조간대 및 해안역의 부착규조류의 분류 및 생태학적 연구(심과조, 1984; 김과 조, 1985; Cho and Kim, 1988; Choi, 1990; 오와 고, 1991)가 일부 이루어져 있을 뿐 매우 빈약하여, 부착규조류의 연구는 이제 시작 단계에 불과하다. 그리고 지금까지 부착생물에 관해 조사·보고된 것으로는 간척공사 및 신항만 공사와 관련하여 조사된 해양생태계 조사(토지개발공사, 1993; 대우자동차 주식회사, 1994; 해운항만청 군산항 건설사무소, 1995; 군산 지방해운 항만청, 1997) 등이 보고되어 있으나 부착 해조류의 식생에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 더욱이 간척공사시 방파제로 사용되는 사석 구조물 또는 콘크리트 구조물(T.T.P)을 해상에 투하시킨 후 부착 미세조류, 부착동물 및 부착 해조류를 대상으로한 군집형성과 발달과정 및 군집천이에 관한 연구는 지금까지 찾아볼 수 없었다. 본 연구의 목적은 이와 관련하여 부착 미세조류(규조류, 남조류 등),

부착동물 및 부착해조류의 군집형성·발달 과정 및 군락천이 과정을 규명하여, 매립공사시 사용될 수 있는 이상적인 환경친화적 구조물을 밝히려고 조사하였다.

나. 조사방법

1) 식물플랑크톤

사석 구조물 및 콘크리트 구조물(T.T.P) 주변해수 및 부착미세조류의 채집은 2000년 9월과 10월에 전라북도 군산시 비응도 주변해역에서 최대 만조시와 간조시에 실시하였다. 구조물 주변해수의 식물플랑크톤 채집은 만조시에 채수기를 이용하여 해수를 1ℓ 폴리에틸렌 병에 담고 Lugol 용액으로 고정하였다. 고정된 시료는 실험실로 옮겨 24시간 이상 정체시킨 후, 상등액을 버리고 일정량으로 농축시킨 다음 Sedgwick-Rafter counting chamber를 이용하여 광학현미경하에서 동정·계수한 후 mL 당 세포수로 환산하였다.

사석 및 콘크리트 구조물(T.T.P)은 각각 3년전에 설치된 시설물로, 여기에 부착하여 서식하는 미세조류의 채집은 최대 간조시에 조간대를 상부(S-1, T-1), 중부(S-2, T-2), 하부(S-3, T-3)로 구분하고, 각각의 조사위치에서 GF/C로 여과시킨 지하수(군산대학교)를 기질 표면에 서서히 부어 주면서 솔로 문질러 채집하였다. 수집된 시료는 1ℓ 폴리에틸렌 병에 넣어 중성 포르말린으로 최종 농도가 3%되게 고정하였다. 고정된 시료는 24시간 이상 침전시킨 다음 적정량으로 농축하고, 이중 일부를 취하여 세포가 완전한 미세조류를 대상으로 3회 반복 검정한 결과를 백분율(%)로 나타내었다. 식물플랑크톤의 종 동정을 위해 Dexiang et al. (1984), 심 (1994), Tomas et al. (1993, 1996) 등을 참고하였다.

2) 부착생물

부착·서식하는 부착동물과 부착식물로 구분하여 조사하였다.

가) 부착생물

(1) 조사 정점 및 시기

비응도에 위치한 4호 방조제를 상부, 중부 및 하부조간대의 3개 정점으로 나누어 1997년에 투석된 사석구조물(암반)과 콘크리트 구조물(Tetrapod)에 부착·고착하여 서식하는 부착해조류와 부착동물을 조사하기 위해 2000년 9월 28~29일(1차조사)과 10월 4일(2차조사)에 총 2회에 걸쳐 간조시 조사하였다.

(2) 부착생물 채집

부착생물의 조사는 Line transect method (선상법)에 의해 간출시에 노출된 3개 조사지점에 위치한 사석구조물(암반)과 콘크리트 구조물(Tetrapod)의 표면에 부착·고착된 부착동물과 부착해조류를 채집하였다. 절벽 또는 암벽으로 되어 있는 곳은 대조시에 저조선에서 5 ~10m 선상의 암반상에 50 cm × 50cm의 방형구(Quadrat)를 4개씩 설치하여 방형구내에 있는 부착동물과 식물들을 전부 채집하였다. 그러나 채집된 포본과 부착하여 일일이 채집할 수 없는 종 중 동정이 용이한 종은 살아있는 개체수와 죽은 개체수를 조사기록부에 종별로 헤아려 기록하였고, 동정이 용이하지 못한 종들의 포본은 10% 해수 포르말린이나 중성 포르말린에 고정한 후 실험실로 운반하여 이들을 분리한 다음 동정하여 부착동물과 해조류의 출현종을 조사하였다.



그림 3.5.3-1 T.T.P 설치사진



그림 3.5.3-2 T.T.P 설치지점에서 생물조사 전경



그림 3.5.3-3 새만금 4호 방조제의 사석에서 생물조사 전경



그림 3.5.3-4 새만금 4호 방조제의 사석에서 생물조사 전경

다. 조사결과 및 고찰

1) 부착 미세조류

가) 주변해수의 식물플랑크톤

① 출현 종조성

사석 및 콘크리트 구조물(T.T.P) 주변해수에서 출현한 식물플랑크톤은 모두 84종으로 72종은 중 수준으로 나머지는 속 수준으로 동정되었는데, 이 중 규조류 72종, 와편모조류 8종, 유글레나조류 2종, 규질편모조류 및 은편모조류가 각각 1종씩으로 규조류의 출현종이 월등히 많아 우리나라 연안의 일반적인 현상과 비슷하였다(표 3.5.3-1). 식물플랑크톤의 출현종수는 군산 부근해역에서 조사한 이 등 (1989)의 121종보다는 적었지만, 개야도 부근에서 조사한 김 등 (1991)의 87종과는 비슷하였다.

1차 조사(2000년 9월)에서 식물플랑크톤은 총 64종이 출현하였는데, 그 중 규조류 52종, 와편모조류 8종, 유글레나조류 2종, 규질편모조류 및 은편모조류가 각각 1종씩 출현하였다. 그리고 각 구조물의 주변해수에서 출현한 종수는 사석 구조물의 경우 총 39종, 콘크리트 구조물에서 총 51종이 출현하였다. 2차 조사 (2000년 10월)에서는 1차 조사시보다 훨씬 적은 총 55종이 출현하였는데, 그 중 규조류 53종, 은편모조류 및 유글레나조류 각각 1종씩 출현하였다(표 3.5.3-1). 그러나 와편모조류는 출현하지 않았다. 사석 구조물주변해수에서 35종, 콘크리트 구조물주변해수에서 40종이 출현하였다. 대체로 출현 종수는 사석 구조물의 주변해수보다 콘크리트 구조물의 주변해수에서 더 많았다.

조사기간 동안 각 정점에서 모두 출현한 종은 *Actinoptychus senarius*, *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros debilis*, *Chaetoceros socialis*, *Cylindrotheca closterium*, *Guinardia delicatula*, *Rhizosolenia setigera*, *Skeletonema costatum*, *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira*

eccentrica 등 10종으로 서해안 연안에서 일반적으로 출현하는 종들이고, *Actinoptychus senarius*, *Cylindrotheca closterium*, *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira eccentrica*는 저서성 종으로 일시부유한 것으로 판단되며, 나머지 종들은 모두 부유성 종이였다. 또한 조사기간 중 출현한 식물플랑크톤 중 부유성 종은 대체로 40% 전후이었고, 나머지 종들은 저서성이거나 일시 부유성 종으로 나타나 구조물 근처에서 출현하여 수괴가 활발히 혼합되는 지역임을 알 수 있었다.

특기할 사항은 본 조사 기간 중 사석 및 콘크리트 구조물의 주변해역의 해수에서는 출현하였어도 이들 구조물에 부착하지 않은 규조류로는 *Nitzschia sigma*, *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira eccentrica* 등이 있는데 이들 종은 제주도 해안선 주변해역에서는 돌에 부착하는 부착 규조류로 보고(이등, 1991)되어 있어 앞으로 상기 종들의 부착기질(구조물)에 대한 생태적 특성에 관해 좀더 세심한 연구가 요망된다.

② 출현량 및 우점종

조사기간 중 구조물 주변해수에서 출현한 식물플랑크톤의 출현량은 525~684 cells/ml였으며, 1차조사시 사석 구조물의 주변해수에서 261 cells/ml, 콘크리트 구조물 주변해수에서 684 cells/ml로 나타났고, 10월 조사시 사석 구조물의 주변해수에서 525 cells/ml, 콘크리트 구조물 주변해수에서 597 cells/ml로 나타나 사석 구조물의 주변해수보다 콘크리트 구조물의 주변해수에서 높게 나타났다(표 3.5.3-1).

각 구조물의 주변해수에서 출현한 우점종은 부영양화 지표종으로 알려져 있는 *Chaetoceros debilis*, *C. socialis*, *Skeletoma costatum*, *C. curvisetus*, *thalassionema nitzschioides*, *Eucampia zodiacus* 등의 식물플랑크톤이 우점종으로 등장하고 있어 본 조사 해역은 부영양화된 지역의 특

징을 보이고 있다. 그리고 9월 조사에서는 *Chaetoceros debilis*, *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros socialis*, *Chaetoceros curvisetus* 등 부유성 종이 우점하였으며, 10월 조사에서는 *Chaetoceros debilis*, *Chaetoceros curvisetus*, *Eucampia zodiacus* 등의 순으로 부유성 종이 우점하였다. 또한 본 조사해역에서는 저서성이면서 일시 부유성 종으로 알려진 *Cylindrotheca closterium*, *Paralia sulcata*, *Thalassionema nitzschioides* 등의 출현량도 비교적 많았다(표 3.5.3-5).

나) 구조물 표면의 부착미세조류

① 출현 종조성

조사기간 동안 각 구조물 표면에 부착·서식하는 미세조류는 총 45종으로 동정되었는데, 이중 30종은 종 수준까지 동정되었고, 나머지는 속 수준 이하로 동정되어 더 많은 종이 출현할 것으로 기대된다(표 3.5.3-2). 동정된 부착 미세조류 중 부착규조류가 42종, 규질편모조류 1종, 남조류가 2목으로 나타났다.

1차 조사(2000년 9월)에서 출현한 부착미세조류는 총 40종으로, 그 중 부착 규조류 37종, 남조류 2목, 규질편모조류 1종이 출현하였고, 사석 구조물에서는 총 25종, 콘크리트 구조물(T.T.P)에서는 총 39종이 출현하였다. 2차 조사(2000년 10월)에서는 총 28종이 출현하였는데, 이중 부착규조류가 26종, 남조류 2목이 출현하였다. 그중 사석 구조물에서는 17종, 콘크리트 구조물(T.T.P)에서는 26종이 출현하였다(표 3.5.3-2).

사석 구조물의 경우, 상부 조간대(정점 S-1)에서는 각각 6종(9월)과 5종(10월)이 출현하였고, 중부 조간대(정점 S-2)에서는 각각 17종(9월)과 8종(10월), 하부 조간대(S-3)의 경우는 9월에 22종, 10월에 16종이 출현하였다.

콘크리트 구조물(T.T.P)의 경우는 상부 조간대(정점 T-1)에서 각각 10종(9월)과 7종(10월)이 출현하였고, 중부 조간대(정점 T-2)에서는 각각 22종(9월)과 13종(10월), 하부 조간대(정점 T-3)의 경우는 9월 조사에서 37종, 10월 조사에서 25종이 출현하였다(표3.5.3-2).

각 조사시기마다 두 구조물에서 모두 출현한 종은 *Acnantes javanica* var. *subconstricta*, *Achnantes* sp., *Actinocyclus octonarius*, *Amphora coffeaeformis*, *Bacillaria paxillifera*, *Cocconeis scutellum* var. *parva*, *Navicula mollis*, *Navicula frustulum*, *Pleurosigma minutum* 등 모두 9종이었다.

존 조사기간 중 사석 및 콘크리트구조물에 부착하여 출현된 부착규조류 종들 중 *Amphora angusta*, *A. coffeaeformis*, *Bacillaria paxillifera*, *Cocconeis placentala*, *C. scutellum*, var. *parva*, *Cocconeis* spp., *Coscinodiscus oculus-iridis*, *Grammatophore marina*, *Navicula* spp., *Nitzschia* spp., *Pinnular* sp., *Pleurosigma elongatum*, *Pleurosigma* sp. 등은 제주도 해안선 주변해역에서는 돌과 해조류에 부착하는 종으로 보고(이 등, 1991)된 종들이다. 따라서 이들 종들은 돌 이외에 다른 부착기질에 대한 적응이 비교적 높은 것으로 사료된다.

② 우점종

1차(9월)와 2차(10월)에 걸쳐 조사된 조간대 부착미세조류의 조위별 출현 비율(%)은 표 3.5.3-3~5에 나타내었다. 상부 조간대(정점 S-1)에서는 사석 구조물의 경우 9월과 10월에 각각 6종과 5종이 출현하여 가장 적게 출현하였는데, 이중 사상형 남조류(Oscillatoriales)가 각각 51.35%, 59.72%로 가장 우점하였고, 구형 남조류(Croococcales)가 22.97%와 25.00%로 두 번째로 우점하였으며, 규조류 중에서는 *Acnantes javanica* var.

*subconstricta*가 각각 20.27%, 11.11%로 나타났다. 콘크리트 구조물 (정점 T-1)에서는 9월 조사에서 사상형 남조류(38.41%)가 가장 우점하였으나, 10월 조사에서는 규조류의 *Navicula parva* (32.99%)가 가장 우점하여 사석 구조물과 다소 차이를 보여 주었다. 두 번째로 우점한 종도 9월 조사에서는 규조류의 *Acnantes javanica* var. *subconstricta* (31.17%)가 차지하였던 반면, 10월 조사에서는 규조류의 *Navicula mollis* (21.65%)가 차지하였다.

조간대 중부에서는 사석 구조물(정점 S-2)의 경우, 9월 조사에서는 *Navicula mollis*가 25.93%를 차지하여 가장 우점하였으나, 10월 조사에서는 사상형 남조류가 35.29%를 차지하여 가장 우점함으로써 다소의 차이를 보였다. 콘크리트 구조물(정점T-2)의 경우는 9월 조사에서 *Acnantes javanica* var. *subconstricta*가 22.33% 출현하여 가장 우점하였지만, 10월 조사에서는 *Navicula parva*가 38.89%로 가장 우점하여 약간의 변화를 보였다.

조간대 하부의 사석 구조물(정점S-3)의 경우, 우점종은 9월 조사시 *Navicula mollis* (31.37%)가 가장 우점하였고, 10월 조사에서는 *Navicula parva* (35.31%)가 가장 우점하였다. 그러나 9월 조사시 두 번째로 우점했던 *Bacillaria paxillifera* (15.69%)는 10월 조사에서는 2.82%로 급격히 출현 비율이 감소하였고, 그 대신 10월 조사에서 *Nitzschia frustrulum* (12.68%)가 두 번째로 우점하였다. 콘크리트 구조물(정점T-3)의 경우, 9월 조사에서 *Navicula mollis*가 24.75%로 가장 우점하였고, 10월 조사에서는 *Navicula parva*(31.31%)가 가장 우점하였다. 두 번째로 우점했던 종은 9월에 *Bacillaria paxillifera* (4.14%)이었지만, 10월에는 *Navicula mollis* (18.18%)가 우점하였다.

조간대의 조위에 따른 우점종을 종합해 보면, 사상형 남조류와 구형 남조류는 조간대 상부에서 가장 우점하였고, 점차 조위가 낮아질수록 우점비율은 낮아졌으며, 이러한 경향은 *Acnantes javanica* var. *subconstricta*의

경우에서도 나타나 대체로 이들은 노출에 강한 종으로 판단된다.

중부와 하부조간대에서 우점종으로 출현했던 *Navicula mollis*와 *Navicula parva*는 9월 조사에서는 각 구조물에서 *Navicula mollis*가 가장 우점했던 반면, 10월 조사에서는 *Navicula parva*가 우점하여 천이과정이 진행되고 있음을 알 수 있었다. 또한 조간대에서는 하부로 내려갈수록 출현종의 종수가 점차 증가하였고, 사석 구조물보다는 콘크리트 구조물에서 출현 종수가 더 많았다.

표 3.5.3-1 주변해수에서 출현한 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량(cells/ml)

출 현 종	9 월		10 월	
	사석구조물설치해역	콘크리트구조물설치해역	사석구조물설치해역	콘크리트구조물설치해역
Bacillariophyceae (규조류)				
<i>Achnanthes javanica</i> var. <i>subconstricta</i>		1	1	1
<i>Actinocyclus octonarius</i>		1	1	3
<i>Actinoptychus senarius</i>	1	1	1	1
<i>Actinoptychus splendens</i>			1	
<i>Amphiprora</i> sp.	1			
<i>Amphora coffeaeformis</i>				1
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	1	1		
<i>Bacillaria paxillifera</i>	1			2
<i>Bacteriastrium hyalinum</i>				3
<i>Biddulphia reticulata</i>			1	
<i>Chaetoceros affinis</i>	6	1		1
<i>Chaetoceros compressus</i>		1		3
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	21	27	29	36
<i>Chaetoceros debilis</i>	321	338	222	245
<i>Chaetoceros decipiens</i>	2	7		
<i>Chaetoceros densus</i>		2		
<i>Chaetoceros denticulatus</i>	1			
<i>Chaetoceros didymus</i>		1		
<i>Chaetoceros lauderi</i>		1		
<i>Chaetoceros socialis</i>	37	33	2	8
<i>Cocconeis</i> sp.	1			
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>		1		
<i>Coscinodiscus centralis</i>		2		1
<i>Coscinodiscus marginatus</i>		1	1	
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>		1		1
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	1	3	1	
<i>Cyclotella striata</i>			1	
<i>Cylindrotheca closterium</i>	10	6	2	5
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	2			2
<i>Diploneis bombus</i>	1			
<i>Ditylum sol</i>	1			
<i>Eucampia zodiacus</i>	6	16		14
<i>Fragilaria islandica</i>			1	2
<i>Guinardia delicatula</i>	4	3	7	7

표 3.5.3-1 (계 속)

조사시기 및 장소 출 현 종	9 월		10 월	
	사석구 조물설 치해역	콘크리트 구조물설 치해역	사석구 조물설 치해역	콘크리트 구조물설 치해역
<i>Guinardia flaccida</i>	1	2		1
<i>Guinardia striata</i>	1	3		
<i>Gyrosigma</i> sp.			1	1
<i>Lauderia borealis</i>	1			
<i>Leptocylindrus danicus</i>	6	3		
<i>Melosira nummuloides</i>				3
<i>Meuniera membranacea</i>		3		
<i>Navicula salinarum</i>				1
<i>Navicula</i> sp.		1	1	1
<i>Nitzschia longissima</i>				
<i>Nitzschia longissima</i> var. <i>reversa</i>			1	2
<i>Nitzschia obtusa</i> var. <i>scalpelliformis</i>			1	
<i>Nitzschia salinarum</i>	1		1	
<i>Nitzschia sigma</i>			1	
<i>Nitzschia</i> sp.	1	2	1	1
<i>Odontella longicuris</i>		1		
<i>Odontella obtusa</i>		1		
<i>Odontella sinensis</i>	1	1	1	
<i>Paralia sulcata</i>		5	5	6
<i>Plagiogrammopsis vanheurckii</i>			4	
<i>Pleurosigma angulatum</i>				1
<i>Pleurosigma elongatum</i>	1	1		
<i>Pleurosigma normanii</i>			1	1
<i>Pleurosigma</i> sp.	1		1	
<i>Pleurosigma strigosum</i>		1		
<i>Proboscia alata</i>				1
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	4		6	4
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>		1	1	1
<i>Rhizosolenia setigera</i>	2	1	1	1
<i>Skeletonema costatum</i>	160	171	194	196
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	2	2	1	
<i>Synedra</i> sp.			1	
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>				1
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	1	7	3	2
<i>Thalassiosira eccentrica</i>		1		1

표 3.5.3-1 (계 속)

조사시기 및 장소 출 현 종	9 월		10 월	
	사석 구조물설 치해역	콘크리트 구조물설 치해역	사석 구조물설 치해역	콘크리트 구조물설 치해역
<i>Thalassiosira hyalina</i>	2	1	1	1
<i>Thalassiosira pacifica</i>		2	1	2
<i>Thalassiosira rotula</i>	2	1		
Dictyochophyceae (규질편모조류)				
<i>Dictyocha fibula</i>	1	1		
Cryptophyceae (은편모조류)				
<i>Chroomonas</i> sp.	2			2
Dinophyceae (와편모조류)				
<i>Alexandrium</i> sp.				
<i>Prorocentrum minimum</i>	1	1		
<i>Prorocentrum triestinum</i>		2		
<i>Ceratium fusus</i>		2		
<i>Protoperidinium</i> sp.		1		
<i>Gyrodinium spirale</i>		1		
<i>Scrippsiella trochoidea</i>		1		
<i>Gymnodinium</i> sp.	1			
Euglenophyceae (유글레나조류)				
<i>Euglena</i> sp.		1		
<i>Eutreptiella marina</i>	1	15		1
출 현 종 수	39	51	35	40
현 존 량 (cells/ml)	261	614	86	167

표3.5.3-2 부착미세조류(규조류, 규질편모조류 및 남조류)의 출현 종목록

(2000. 9-10)

출현종	1차조사 (9월)		2차조사 (10월)	
	사석 구조물설 치해역	콘크리트 구조물설 치해역	사석 구조물설 치해역	콘크리트 구조물설 치해역
Bacillariophyceae (규조류)				
<i>Achnanthes javanica</i> var. <i>subconstricta</i>	*	*	*	*
<i>Achnanthes</i> sp.	*	*	*	*
<i>Actinocyclus octonarius</i>	*	*	*	*
<i>Actinoptychus senarius</i>				*
<i>Amphiprora</i> sp.	*	*		
<i>Amphora angusta</i>	*	*		
<i>Amphora bigibba</i>		*		
<i>Amphora coffeaeformis</i>	*	*	*	*
<i>Amphora exigua</i>		*		*
<i>Amphora</i> sp.	*	*		*
<i>Bacillaria paxillifera</i>	*	*	*	*
<i>Cocconeis placentula</i>		*	*	*
<i>Cocconeis scutellum</i> var. <i>parva</i>	*	*	*	*
<i>Cocconeis</i> spp.	*	*	*	*
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>	*	*		*
<i>Cylindrotheca closterium</i>		*		
<i>Cymbella affinis</i>				*
<i>Diploneis bombus</i>		*		
<i>Diploneis</i> sp.	*			*
<i>Fragilaria islandica</i>		*		
<i>Hantzschia</i> sp.				*
<i>Grammatophora marina</i>	*	*		
<i>Grammatophora oceanica</i>		*		
<i>Licmophora paradoxa</i>			*	
<i>Licmophora</i> sp.	*	*		*
<i>Mastogloia pumila</i>		*		
<i>Melosira nummuloides</i>	*	*		*
<i>Navicula distans</i>	*	*		*
<i>Navicula mollis</i>	*	*	*	*
<i>Navicula parva</i>	*	*	*	*
<i>Navicula</i> spp.	*	*	*	*
<i>Nitzschia angularis</i>		*		
<i>Nitzschia frustulum</i>	*	*	*	*
<i>Nitzschia</i> spp.	*	*	*	*

표 3.5.3-2 (계 속)

조사시기 및 정점 출 현 종	1차조사 (9월)		2차조사 (10월)	
	사석 구조물설 치해역	콘크리트 구조물설 치해역	사석 구조물설 치해역	콘크리트 구조물설 치해역
<i>Odontella</i> sp.				*
<i>Paralia sulcata</i>		*		
<i>Pinnularia</i> sp.	*	*		
<i>Pleurosigma elongatum</i>		*		
<i>Pleurosigma minutum</i>	*	*	*	*
<i>Pleurosigma</i> sp.		*		
<i>Surirella ovata</i>		*		
<i>Synedra</i> sp.		*		
Dictyochophyceae (규질편모조류)				
<i>Dictyocha fibula</i>		*		
Cyanophyceae (남조류)				
Croococcales	*	*	*	*
Oscillatoriales	*	*	*	*
출 현 종 수	25	39	17	26

표 3.5.3-3 본 조사 해역에서 출현한 구조물에 부착한 부착미세조류의 출현
종조성 및 비율(%) (2000.9)

출 현 종	사석구조물			콘크리트구조물		
	S-1	S-2	S-3	T-1	T-2	T-3
Bacillariophyceae (규조류)						
<i>Achnanthes javanica</i> var. <i>subconstricta</i>	20.27	6.17	1.96	31.71	22.33	1.52
<i>Achnanthes</i> sp.		1.23			1.94	
<i>Actinocyclus octonarius</i>		1.23	0.98		0.97	0.51
<i>Amphiprora</i> sp.		1.23	0.98		0.97	1.01
<i>Amphora angusta</i>			0.98			0.51
<i>Amphora bigibba</i>						0.51
<i>Amphora coffeaeformis</i>	1.35	2.47	1.96	0.61	4.85	7.07
<i>Amphora exigua</i>					0.97	0.51
<i>Amphora</i> sp.			0.98		0.97	
<i>Bacillaria paxillifera</i>		2.47	15.69		5.83	14.14
<i>Cocconeis placentula</i>					0.97	0.51
<i>Cocconeis scutellum</i> var. <i>parva</i>	1.35	9.88	5.88	1.22	1.94	7.07
<i>Cocconeis</i> spp.		2.47	3.92	0.61	1.94	3.54
<i>Coccinodiscus oculus-iridis</i>			0.98			0.51
<i>Cylindrotheca closterium</i>					0.97	1.01
<i>Diploneis bombus</i>						1.01
<i>Diploneis</i> sp.		1.23	0.98			
<i>Fragilaria islandica</i>						1.01
<i>Grammatophora marina</i>			0.98			1.01
<i>Grammatophora oceanica</i>					1.94	0.51
<i>Licmophora</i> sp.			0.98			0.51
<i>Mastogloia pumila</i>						0.51
<i>Melosira nummuloïdes</i>			0.98			1.52
<i>Navicula distans</i>		1.23				0.51
<i>Navicula mollis</i>	2.70	25.93	31.37	10.37	20.39	24.75
<i>Navicula parva</i>		7.41	5.88	4.88	2.91	3.03
<i>Navicula</i> spp.		2.47	14.71		0.97	11.11
<i>Nitzschia angularis</i>						0.51
<i>Nitzschia frustulum</i>		2.47	2.94	0.61	1.94	4.55
<i>Nitzschia</i> spp.		2.47	0.98	1.83	6.80	2.02
<i>Paralia sulcata</i>						0.51
<i>Pinnularia</i> sp.			0.98		0.97	0.51
<i>Pleurosigma elongatum</i>						0.51
<i>Pleurosigma minutum</i>			0.98		0.97	0.51
<i>Pleurosigma</i> sp.						0.51
<i>Surirella ovata</i>						0.51
<i>Synedra</i> sp.						0.51
Dictyochophyceae (규질편모조류)						
<i>Dictyocha fibula</i>						0.51
Cyanophyceae (남조류)						
Croococcales	22.97	9.88		9.76	0.97	1.01
Oscillatoriales	51.35	19.75	3.92	38.41	17.48	4.04
출 현 종 수	6	17	22	10	22	37

표 3.5.3-4 본 조사 해역에서 출현한 구조물에 부착한 부착 미세조류의 출현
종조성 및 비율(2000.10)

출 현 종	정 점		사석구조물			콘크리트구조물		
	S-1	S-2	S-3	T-1	T-2	T-3		
Bacillariophyceae (규조류)								
<i>Achnanthes javanica</i> var. <i>subconstricta</i>	11.11	8.82	4.23	12.37	0.69	12.12		
<i>Achnanthes</i> sp.			1.41			0.34		
<i>Actinocyclus octonarius</i>			1.41			1.01		
<i>Actinoptychus senarius</i>						0.34		
<i>Amphora coffeaeformis</i>		2.94	7.04		2.08	1.35		
<i>Amphora exigua</i>					0.69			
<i>Amphora</i> sp.						0.67		
<i>Bacillaria paxillifera</i>			2.82			1.35		
<i>Cocconeis placentula</i>			1.41					
<i>Cocconeis scutellum</i> var. <i>parva</i>		2.94			4.17	4.04		
<i>Cocconeis</i> sp.			1.41			0.67		
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>						0.34		
<i>Cymbella affinis</i>						0.67		
<i>Diploneis</i> sp.						0.67		
<i>Hantzschia</i> sp.						0.34		
<i>Licmophora paradoxa</i>			1.41					
<i>Licmophora</i> sp.						0.34		
<i>Melosira nummuloides</i>				6.19	0.69	7.41		
<i>Navicula distans</i>						0.34		
<i>Navicula mollis</i>	1.39	8.82	11.27	21.65	22.22	18.18		
<i>Navicula parva</i>	2.78	17.65	35.21	32.99	38.89	31.31		
<i>Navicula</i> spp.			4.23		1.39	1.35		
<i>Nitzschia frustulum</i>		14.71	12.68	9.28	19.44	9.76		
<i>Nitzschia</i> spp.			2.82		1.39	2.69		
<i>Odontella</i> sp.						0.34		
<i>Pleurosigma minutum</i>			1.41		1.39	1.35		
Cyanophyceae (남조류)								
Croococcales	25.00	8.82	2.82	1.03	0.69	0.34		
Oscillatoriales	59.72	35.29	8.45	16.49	6.25	2.69		
출 현 종 수	5	8	16	7	13	25		

표 3.5.3-5 조사해역에서 출현된 식물플랑크톤의 우점종 종조성

(2000. 9~10)

구분	1차조사 (9월)	2차조사(10월)
사석 및 T.T.P 설치 주 변 해수	<i>Chaetoceros curvisetus</i> <i>C. debilis</i> <i>C. socialis</i> <i>Cylindrotheca closterium</i> <i>Eucampia zodiacus</i> <i>Skeletonema costatum</i>	<i>Chaetoceros curvisetus</i> <i>C. debilis</i> <i>C. socialis</i> <i>Cylindrotheca closterium</i> <i>Eucampia zodiacus</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Paralia sulcata</i>
사석 및 T.T.P 설치 부 착미세 조류	<i>Amphora coffeaeformis</i> <i>Bacillaria pacillifera</i> <i>Navicula mollis</i> <i>N. parva</i> <i>Nitzschia spp.</i> <i>N. frustulum</i> <i>Oscillatoriales</i>	<i>Achnanthes javanicavar. subconstricta</i> <i>Cocconeis scutellum var. parva</i> <i>Navicula mollis</i> <i>N. parva</i> <i>Nitzschia spp.</i> <i>N. frustulum</i> <i>Oscillatoriales</i>

2) 대형저서 부착생물

대형저서 부착생물 조사는 조간대 대형 부착동물과 대형 부착식물 (해조류)로 구분하여 조사하였다.

가) 조간대 대형 부착 동물

(1) 종조성

본 조사 기간 중 경성저질인 사석 구조물과 콘크리트 구조물에 부착된 조간대 대형 부착동물은 총 6문 9강 30속 34종으로 해면동물 2종, 자포동물 5

종, 연체동물 20종, 환형동물이 1종, 절지동물이 3종, 극피동물 3종이 출현하였다.(표 3.5.3-6, 7) 본 조사에서는 특히 이동성이 심한 갑각류의 계류와 등각류(갯강구)의 출현종수는 부착생물 종수에서 제외시켰다.

따라서 동물 분류군별 출현 종조성 비율(%)은 연체동물 58.82%, 자포동물 14.71%, 절지동물 8.82%, 극피동물 8.82%, 해면동물 5.88%, 환형동물 2.94%로 부착동물 가운데 연체동물의 종조성 비율이 가장 높았다. 월별, 출현 종수는 9월에 34종, 10월에 29종이 출현하여 9월에 좀 더 많이 출현하였는데 10월에는 기온이 낮아져 복족류들이 암벽 사이로 이동하여 출현종수가 줄어든 것으로 사료된다.

월별, 정법별 출현 종수의 범위는 9월에 2종(정점 S-1, T-1)~31종(정점 S-3)의 범위였고, 10월에 2종(정점S-1, T-1)~25종(정점S-3)의 범위로 대체로 하부 조간대의 사석 구조물(정점S-3)과 콘크리트 구조물(정점T-3)에서 출현 종수가 많았다. 특히, 상부 조간대의 사석 구조물(정점 S-1)과 콘크리트 구조물(정법T-1)에서는 부착동물의 출현 종수가 단지 2종씩만 출현하고 있어 조위별 다른 정점들과 큰 차이를 나타내었다. 상부조간대를 제외하고, 중부조간대 및 하부 조간대의 출현 종수를 비교하여 보면, 중부조간대에서는 콘크리트 구조물(정점T-2)에 부착된 종수보다 사석구조물(정점S-2)에 부착된 종수가 1.8배(10월)~2.88배(9월)나 더 많이 출현하였고, 하부조간대에서도 콘크리트 구조물 보다 사석구조물에 부착된 종수가 2.1(10월)~2.8(9월)배나 더 많았다.(표 3.5.3-6, 7)

본 조사 지역인 비응도 주변해역에서 출현한 조간대 부착동물의 출현종수와 인근 군·장 신항만 주변해역에서 출현한 조간대 부착동물의 출현 종수를 비교(표 3.5.3-8)하여 보면, 토지개발 공사(1993)의 보고에서, 조간대 암초지대에 서식하는 부착 및 포복성 동물들은 총 46종이며, 그중 9월에 출현한 종은 44종으로 본 조사 결과(34종) 보다 좀더 많았는데 이것은 15개

정점에서 조사하였기 때문에 종수가 많았던 것으로 사료된다.

대우자동차 주식회사(1994)의 기존 자료에서도 부착동물의 출현종수는 총 45종이며, 그중 9월에 출현한 종은 44종으로 본 조사 결과(34종) 보다 좀더 많았는데 그 원인은 보다 넓은 15개 정점에서 조사하였기 때문이다.

해운항만청 군산항 건설사무소(1995)의 자료에 의하면 조간대 부착·포복성 동물의 출현종수는 총 40종이며, 그중 9월에 출현한 종은 4개 정점에서 40종으로 본 조사 결과와 비슷하였다.

군산지방해운항만청(1997)의 기존자료에 의하면 조간대 암초지대에 서식하는 부착동물의 출현종수는 총 40종이었으며, 그중 10월에 출현한 종수는 총 37종으로 본 조사에서 출현한 총 종수(34종)와 거의 유사하였다.

콘크리트 구조물에 부착된 동물의 종수는 하부조간대(정점T-3)라 하더라도 따개비류, 참굴, 진주담치, 고등류, 해면류, 말미잘류 등 소수의 종들이 부착되어 있었다. 콘크리트 구조물 설치 후 3년이 지났지만 같은 해에 설치된 후 3년이 경과된 사석 구조물에 부착된 부착동물 종수보다 출현 종들이 매우 단조로웠고 종 다양성이 적었다. 그 원인을 밝히기 위해서는 앞으로 계속된 세심한 연구가 요망된다.

(2) 우점종

출현 종의 총개체수 조성비율(%)과 출현빈도가 높아 우점종으로 등장한 종을 동물 분류군별로 보면(표 3.5.3-6, 7), 9월과 10월을 통하여 절지동물의 조무래기따개비(*Chthamalus challengeri*), 고랑따개비(*Balanus albicostatus*), 줄따개비(*B. reticulatus*) 그리고 연체 동물의 참굴(*Crassostrea gigas*) 등이 사석 구조물과 콘크리트 구조물 표면에 다량 부착되어 극 우점하였다(표 3.5.3-9). 이들 우점종은 모두 암반이나 콘크리트 구조물(Tetrapod)에 고착되어 서식하는 고착성종(sessile species)들이다.

심과 정(1987)에 의하면 남해안에서 인조기판 위에서 해양 부착생물의 발달 및 천이과정을 1년간 실험한 결과, 대형 생물군집의 주요종은 진주담치(*Mytilus edulis*), 주걱따개비(*Balanus amphitrite amphitrite*), 우산석회관갯지렁이(*Hydroides ezoensis*), 가지이끼 벌레류(*Celleporina* sp.)이었으며 군집발달에 영향을 미치는 것은 주로 주변해수의 물리화학적 안정성 및 영양 상태라고 보고하였다. 또한 군집 발달과정은 세균 및 규조류가 부착한 후 대형 부착생물 군집은 2가지로 나누어지는데, 첫번째는 해조군락으로 다세포 해조류(녹조류, 홍조류, 갈조류)가 부착·성장 발달한다. 두번째는 동물군집으로 따개비류, 홍합류 및 다모류(우산석회관갯지렁이 등)가 군집을 이루어 정착하며, 여기에 해면류와 말미잘류 군집 및 해초류가 성장·번식하게 되는 군집천이가 일어났다고 하였다.

본 조사에서 하부 조간대(정점S-3, 정점T-3)와 일부 중부 조간대(정점S-2, 정점T-2)에는 3년된 사석 및 콘크리트 구조물이 있는데 이에 는 부착규조류가 착생된 후 다세포 해조류 군집이 이미 형성되었으며, 한편으로는 부착동물인 따개비류, 홍합류 및 다모류 군집(석회관갯지렁이류)이 형성되었다. 그리고 여기에 해면동물과 말미잘류의 군집이 잘 발달되어 있는 것을 발견할 수 있어 인조기판에서의 해양 부착생물의 발달 천이과정과 거의 동일한 양상을 나타내었다.

나) 조간대 부착 해조류

(1) 종조성

본 조사기간 중 사석 구조물과 콘크리트 구조물에 부착된 부착해조류는 총 3문 3강 4목 7과 8속 9종으로 녹조류 1종, 갈조류 1종, 홍조류 7종이 출현하였다(표 3.5.3-10, 11). 식물 분류군별 출현종 조성 비율(%)은 녹조류 11.11%, 갈조류 11.11%, 홍조류 77.78%로 홍조류의 종조성이 가장 높았다.

월별로는 9월과 10월 각각 9종이 출현하였다.

월별정점별로는 9월에 0종(정점 S-1, T-1, T-2)~9종(정점 S-3)의 범위가 있었고, 10월에는 0종(정점 S-1, T-1, T-2)~7종(정점 3)의 범위를 나타내 하 부조건대, 중부조건대, 상부조건대의 순으로 나타났다(표 3.5.3-10, 11).

본 조사 정점에 설치된 사석 구조물과 콘크리트 구조물은 최근 3년전에 투하된 것으로 부착생물의 군락 발달 및 천이과정 중에 있다. 본 조사 정점에서는 해조류의 식생이 비교적 빈약한 편인데, 이에는 각종 해양 간척공사 등으로 인한 부유물질의 발생 및 확산, 해수유동에 따른 퇴적물 이동 등의 물리화학적 불안정성 등으로 인한 해양생태계 변화로 해조류의 포자 형성 및 착생에 지장을 주어 해조류 식생이 매우 빈약하게 된 것으로 사료된다.

(2) 우점종

본 조사해역에서 가장 우점한 종은 9월과 10월에 사석 구조물의 경우, 구멍갈파래(*Ulva pertusa*), 작은구슬산호말(*Corallina polulifera*), 애기가시덤불(*Caulacanthus okamurai*)이었고, 콘크리트 구조물에서는 구멍갈파래(*Ulva pertusa*)와 작은구슬산호말(*Corallina polulifera*)이었다(표 3.5.3-10, 11).

표 3.5.3-6 본 조사해역에서 출현한 부착동물의 종조성 (2000. 9.)

출 현 종	정 점			콘크리트구조물		
	S-1	S-2	S-3	T-1	T-2	T-3
Phylum PORIFERA 해면동물문						
Class Demospongia 보통해면강						
<i>Halichondria panicea</i> 회색해면해면		*	*			*
<i>Hymeniacion sinapium</i> 주황해면해면			*			*
Phylum CNIDARIA 자포동물문						
Class Anthozoa 산호충강						
<i>Actinia equina</i> 해변말미잘			*			
<i>Anthopleura kurogane</i> 검정꽃해변말미잘			*			*
<i>Anthopleura midori</i> 풀색해변말미잘			*			
<i>A. xanthogrammica</i> 황색해변말미잘			*			*
<i>Haliplanella luciae</i> 담황줄말미잘		*	*		*	*
Phylum MOLLUSCA 연체동물문						
Class Gastropoda 복족강						
<i>Ceratostoma roriflum</i> 맵사리		*	*			
<i>Chlorostoma argyrostoma turbinata</i> 구멍뿔고둥		*	*			
<i>Collisella heroldi</i> 애기두드럭배말		*	*		*	*
<i>C. heroldi luchuana</i> 주름애기두드럭배말		*	*		*	
<i>Littorina brevicula</i> 총알고둥	*	*				
<i>Lunella coronata coreensis</i> 눈알고둥		*				
<i>Monodonta labio</i> 울타리고둥		*	*			
<i>Nerita japonica</i> 갈고둥		*	*			
<i>Notoacmea schrenckii</i> 배무레기		*	*			
<i>N. concinna concinna</i> 둥근배무레기		*	*			
<i>Omphalius rusticus</i> 보말고둥		*	*			
<i>Rapana benosa</i> 피뿔고둥		*	*			
<i>Reishia clabigera</i> 대수리		*	*			
<i>Siphonaria japonica</i> 고랑딱개비		*	*			
Class Pelecypoda 이매패강						
<i>Crassostrea gigas</i> 참굴		*	*		*	*
<i>Mytilus edulis</i> 진주담치			*			*
<i>Vignadula atrata</i> 왜홍합		*	*		*	*
Class Polyplacophora 다판강						
<i>Ischnochiton compus</i> 연두군부		*	*			
<i>Acanthochiton rubrolineatus</i> 애기털군부			*			
<i>Lioophura japonica</i> 군부		*	*			
Phylum ANNELIDA 환형동물문						
Class Polychaeta 갯지렁이강						
Unid. Serpulidae 석회관갯지렁이류			*			
Phylum ARTHROPODA 절지동물문						
Class Crustacea 갑각강						

표 3.5.3-6 (계 속)

출 현 종	정 점	사석 구조물			콘크리트구조물		
		S-1	S-2	S-3	T-1	T-2	T-3
<i>Balanus albicostatus</i> 고랑따개비			*	*	*	*	*
<i>B. reticulatus</i> 줄따개비			*	*		*	*
<i>Chthamalus challengeri</i> 조무래기따개비		*			*	*	
Phyl. ECHINODERMATA 극피동물문							
Class Asterroidea 불가사리강							
<i>Asterias amurensis</i> 아무르불가사리			*	*			
<i>Asterina pectinifera</i> 별불가사리							
Class Echinoidea 성게강							
<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i> 말뚝성게				*			
부착동물의 출현종수		2	23	31	2	8	11

표 3.5.3-7 본 조사해역에서 출현한 부착동물의 종조성 (2000. 10.)

출 현 종	정 점			콘크리트구조물		
	S-1	S-2	S-3	T-1	T-2	T-3
Phylum PORIFERA 해면동물문						
Class Demospongia 보통해면강						
<i>Halichondria panicea</i> 회색해면해면			*			*
<i>Hymeniacidon sinapium</i> 주황해면해면		*	*			*
Phylum CNIDARIA 자포동물문						
Class Anthozoa 산호충강						
<i>Actinia eguina</i> 해변말미잘			*			
<i>Anthopleura kurogane</i> 검정꽃해변말미잘		*	*		*	*
<i>A. xanthogrammica</i> 황색해변말미잘			*			
<i>Haliplanella luciae</i> 담황줄말미잘		*	*		*	*
Phylum MOLLUSCA 연체동물문						
Class Gastropoda 복족강						
<i>Chlorostoma argyrostoma turbinata</i> 구멍밭고둥			*			
<i>Collisella heroldi</i> 에기두드럭배말		*	*		*	*
<i>Littorina brevicula</i> 총알고둥	*	*	*	*		
<i>Lunella coronata coreensis</i> 눈알고둥		*	*			
<i>Monodonta labio</i> 올타리고둥		*	*			
<i>Notoacmea schrenckii</i> 배무래기		*	*			
<i>N. concinna concinna</i> 등근배무래기		*	*			
<i>Omphalium rusticus</i> 보말고둥		*	*			
<i>Rapana benosa</i> 피빨고둥			*			
<i>Reishia clabigera</i> 대수리		*	*			*
<i>Siphonaria japonica</i> 고랑딱개비		*	*		*	*
Class Pelecypoda 이매패강						
<i>Crassostrea gigas</i> 참굴		*	*		*	*
<i>Mytilus edulis</i> 진주담치			*			*
<i>Vignadula atrata</i> 왜홍합		*	*		*	*
Class Polyplacophora 다판강						
<i>Ischnochiton compus</i> 연두군부		*	*			
<i>Lioophura japonica</i> 군부		*	*			*
Phylum ANNELIDA 환형동물문						
Class Polychaeta 갯지렁이강						
Unid. Serpulidae 석회관갯지렁이류			*			
Phylum ARTHROPODA 절지동물문						
Class Crustacea 갑각강						

표 3.5.3-7 (계 속)

정 점 출 현 종	사석 구조물			콘크리트구조물		
	S-1	S-2	S-3	T-1	T-2	T-3
<i>Balanus albicostatus</i> 고랑따개비		*			*	*
<i>B. reticulatus</i> 줄따개비					*	
<i>Chthamalus challengeri</i> 조무래기따개비	*			*	*	
Phyl. ECHINODERMATA 극피동물문						
Class Asterozoa 불가사리강						
<i>Asterias amurensis</i> 아무르불가사리			*			
<i>Asterina pectinifera</i> 별불가사리			*			
Class Echinozoa 성게강						
<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i> 말뚝성게			*			
부착동물의 출현종수	2	17	25	2	9	12

표 3.5.3-8 군·장 신항만 주변해역에서 출현한 저서동물의 출현종 수 비교

사업시행처	조사 항목	조사시기 (월)	총출현 종수	정점수	비고
토지개발 공사 (1993)	조간대의 부착 · 포복성동물	9 12 3 6 44 32 46 46	46	15	
대우자동차 주식회사 (1994. 11)	조간대의 부착 · 포복성동물	9 12 3 6 44 32 47 46	45	15	군산지역정점 :6-24종
해운항만청 군산항 건설사무소 (1995. 11)	조간대의 부착 · 포복성동물	11 9 37 40	40	4	군산지역정점 :21-23종
군산 지방해운 항만청 (1997. 3)	조간대의 부착 · 포복성동물	10 1 3 8 37 34 35 40	40	4	군산지역정점 :20-27종

표 3.5.3-9 조사해역에서 출현된 부착동물의 우점종 종조성(2000.9~10)

구분	1차조사(9월)	2차조사 (10월)
사석구조물	<i>Chthamalus challengerii</i> <i>Balanus albicostatus</i> <i>B. retiulatus</i> <i>Crassostrea gigas</i> <i>Colisella heroldi</i> <i>Siphonaria japonica</i> <i>Chlorostoma argyrostoma turbin-ata</i>	<i>Chthamalus challengerii</i> <i>Balanus albicostatus</i> <i>B. retiulatus</i> <i>Crassostrea gigas</i> <i>Colisella heroldi</i> <i>Monodonta Labio</i> <i>Chlorostoma argyrostoma turbin-ata</i>
콘크리트구조물	<i>Chthamalus challengerii</i> <i>Balanus albicostatus</i> <i>B. retiulatus</i> <i>Crassostrea gigas</i> <i>Anthopleura kurogane</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Haliplanell lucia</i>	<i>Chthamalus challengerii</i> <i>Balanus albicostatus</i> <i>B. retiulatus</i> <i>Crassostrea gigas</i> <i>Colisella heroldi</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Haliplanell luciae</i> <i>Halichondria panicea</i> <i>Hymeniacion sinapium</i>

표 3.5.3-10 본 조사해역에서 출현한 부착 해조류의 종조성(2000. 9)

출 현 종	정 점			콘크리트구조물		
	S-1	S-2	S-3	T-1	T-2	T-3
Division Chlorophyta 녹조식물 문						
Class Chlorophyceae 녹조식물 강						
Order Volvocales 볼복크스 목						
Family Ulvaceae 갈파래 과						
<i>Ulva pertusa</i> 구멍갈파래		*	*			*
Division Phaeophyta 갈조식물 문						
Class Cyclosporeae 원포자 강						
Order Fucales 모자반 목						
Family Sargassaceae 모자반 과						
<i>Sargassum thunbergii</i> 지충이		*	*			
Division Rhodophyta 홍조식물 문						
Class Florideophycidae 진정홍조 강						
Order Gelidiales 우뭇가사리 목						
Family Gelidiaceae 우뭇가사리 과						
<i>Gelidium divaricatum</i> 애기우뭇가사리		*	*			
<i>Gelidium amansii</i> 우뭇가사리			*			
Order Cryptonemiales 지누아리 목						
Family Corallinaceae 산호말 과						
<i>Corallina polulifera</i> 작은구슬산호말		*	*			*
Family Cryptonemiaceae 지누아리 과						
<i>Carpopeltis affinis</i> 까막살			*			
<i>Zanardinula cornea</i> 붉은부챗살			*			
Family Sphaerococaceae 핑꼬리 과						
<i>Caulacanthus okamurai</i> 애기가시덤불			*			
Family Gigartinaceae 돌가사리 과						
<i>Chondrus pinnulatus</i> 깃꼴진두발			*			
출현종수	0	4	9	0	0	2

표 3.5.3-11 본 조사해역에서 출현한 부착 해조류의 종조성(2000. 10.)

정 집 출 현 종	사석 구조물			콘크리트구조물		
	S-1	S-2	S-3	T-1	T-2	T-3
Division Chlorophyta 녹조식물 문						
Class Chlorophyceae 녹조식물 강						
Order Volvocales 볼복크스 목						
Family Ulvaceae 갈파래 과						
<i>Ulva pertusa</i> 구멍갈파래		*	*			*
Division Phaeophyta 갈조식물 문						
Class Cyclosporeae 원포자 강						
Order Fucales 모자반 목						
Family Sargassaceae 모자반 과						
<i>Sargassum thunbergii</i> 지충이			*			
Division Rhodophyta 홍조식물 문						
Class Florideophycidae 진정홍조 강						
Order Gelidiales 우뭇가사리 목						
Family Gelidiaceae 우뭇가사리 과						
<i>Gelidium divaricatum</i> 애기우뭇가사리			*			
<i>Gelidium amansii</i> 우뭇가사리			*			
Order Cryptonemiales 지누아리 목						
Family Corallinaceae 산호말 과						
<i>Corallina polulifera</i> 작은구슬산호말		*	*			*
Family Cryptonemiaceae 지누아리 과						
<i>Carpopeltis affinis</i> 까막살						
<i>Zanardinula cornea</i> 붉은부챗살						
Family Sphaerococaceae 평꼬리 과						
<i>Caulacanthus okamurai</i> 애기가시덤불			*			
Family Gigartinaceae 돌가사리 과						
<i>Chondrus pinnulatus</i> 깃꼴진두발			*			
출현종수	0	2	7	0	0	2

4. 결 론

방조제 피복석과 돌망태, 콘크리트 구조물(T.T.P.)의 환경 친화적 기능성을 비교하기 위하여 방조제 피복석과 콘크리트 구조물(T.T.P.) 주변의 수리·환경인자를 현장조사하였다. 조사는 새만금4호방조제와 군장매립지에 설치된 콘크리트 구조물(T.T.P.)부근 해역에서 수온·염분을 측정하고, 부착미세조류를 채집, 조사하였다. 그 결과를 요약하면

1. 새만금4호 방조제 시점에서 약 400m 떨어진 지점부근에서 2000년 9월 28일 관측한 수온분포를 보면 표층에서 20.57~20.46℃(평균 20.50℃)분포를 나타내고 있었다. T.T.P.설치시점에서 약 300m 떨어진 지점부근에서 관측한 수온분포를 보면 표층에서 20.46~20.50℃(평균20.48℃)의 온도분포를 보였으며, 표층보다 평균 0.02℃낮은 분포를 나타내고 있었다.

염분도의 경우 새만금4호 방조제 시점에서 약 400m 떨어진 지점부근에서 염분분포는 표층에서 28.65~28.79%(평균 28.69%)를 나타내었고, T.T.P.설치시점에서 약 300m 떨어진 지점부근에서 관측한 염분분포를 보면 표층에서 28.19~28.54%(평균 28.38%)의 분포를 나타내고 있었다. 염분농도가 방조제 시점보다 T.T.P.설치지점이 낮은 원인은 금강하천수의 영향으로 판단된다.

2. 조사된 염분농도는 평균 28.38%~ 28.69%이기 때문에 부착동물과 부착해조류의 성장생육에 영향이 없다고 사료되나 이보다 염분농도가 저하할 경우에는 성장생육에 영향이 있다. 9월과 10월중 주변해수 내 플랑크톤은 콘크리트(T.T.P)구조물 설치해역 보다 사석제 설치해역에서 적게 출현하였다. 구조물에 부착된 부착 미세조류출현은 콘크리트(T.T.P)구조물보다 사석제에서 적게 출현하였다. 부착동물과 부착해조류는 콘크리트(T.T.P)구조물보다 사석제에서 많은 종수가 출현하였다.

제 4장 하천 수리구조물의 돌망태 이용 연구

제1절 서론

하천이나 용배수로에 이·치수의 목적으로 설치되는 댐, 보, 낙차공, 호안공, 분수공 등 수리구조물은 대부분 콘크리트로 축조되었으나, 최근 돌망태를 이용하여 구조물을 축조하는 사례가 증가되고 있다. 돌망태는 투수성이 좋기 때문에 수압을 소산시키고, 석재만을 이용할 때 보다 큰 안전성을 얻을 수 있다. 돌망태는 콘크리트보다 유연성이 크며 약간 이동되더라도 모양에 큰 변화가 일어나지 않으며 안전도에 큰 피해를 일으키지 않는다. 보수도 손쉽게 수행할 수 있는 장점이 있다.

흐름 변화가 심한 용배수로에 설치되는 낙차공과 급류공 및 하천 독에 설치되는 호안공 등의 수리 구조물도 대부분 철근콘크리트로 시공하여 왔으나 경관과 생태계에 좋지 않다는 인식이 확산되어 이를 환경과 조화를 이룬 구조물로 바꾸는 예가 증가하고 있다.

본 연구는 돌망태를 이용하여 낙차공을 시공하고, 이의 수리특성을 파악하기 위하여 실험을 실시하였다. 또한 용배수로의 호안공을 돌망태로 시공하고, 안정성에 대한 고찰을 통하여 돌망태의 활용성을 확대하고자 한다. 이에 관하여 본 연구에서는 돌망태 채움돌 사이의 공극에서 식물이 자랄 수 있도록 녹화토양을 살포하는 기법 등도 연구되었다. 이를 위하여 시범지구를 선정하여 돌망태 제방을 직접 설치하였다. 또한, 폐콘크리트를 돌망태의 채움재로 활용할 수 있는 방안도 검토되었다.

이러한 돌망태 구조물의 연구 결과는 경험에만 의존하고 있는 현실을 개선하여 돌망태 설치 이론을 정립하고, 안전하고 경제적인 시공 체계를 구축하는데 기여토록 하였다.

제 2절 이론적 고찰 및 경제성

1. 수중 돌망태 경사면의 안정성

그림 4.2.1-1과 같이 투수성 구조물의 사면에 돌망태를 설치하는 경우가 많아지고 있다. 이때 돌망태는 채움돌 사이의 공극이 물이 통과할 수 있는 수로의 역할을 하기 때문에 유하에 의한 또는 기층재료의 파이핑에 의한 침식을 경감시킬 수 있는 장점이 있다. 돌망태의 주요 이점은 록필 및 기타 유사한 재료를 사용하는 경우와 투수성면에서는 비슷하지만 돌망태를 이용하면 채움돌 전체를 하나의 구조체로서 작용시킬 수 있고, 중량을 무겁게 할 수 있어 안정성 면에서는 개개의 사석을 이용할 때보다 높은 안전도를 얻을 수 있다.

돌망태를 사면경사와 평행하게 부설하는 경우의 안전도는 수평으로 부설한 때보다 크지는 않지만 단위면적당 돌망태의 수를 경감시킬 수 있어 경제 적일 수도 있다.

가. 활동에 대한 안전도

사면상의 돌망태 안전도에 대한 해석방법을 유도하기 위해서 다음과 같은 약간의 가정이 필요하다.

- ① 흐름은 수평으로 이루어진다.
- ② 공극은 물로 가득 채워져 있다.
- ③ 사면이 노출된 경우의 수압은 0이다.
- ④ 사면상의 돌망태간에는 힘이 작용하지 않는다.

그림 4.2.1-1에서와 같은 상태에서 돌망태사이에 작용하는 단위폭당 압력 (Internal Force)을 고려하면 두 개의 물체력 즉, 아래방향으로 작용하는 수중자중 및 수평으로 작용하는 침투력(Seepage force)을 들 수 있다.

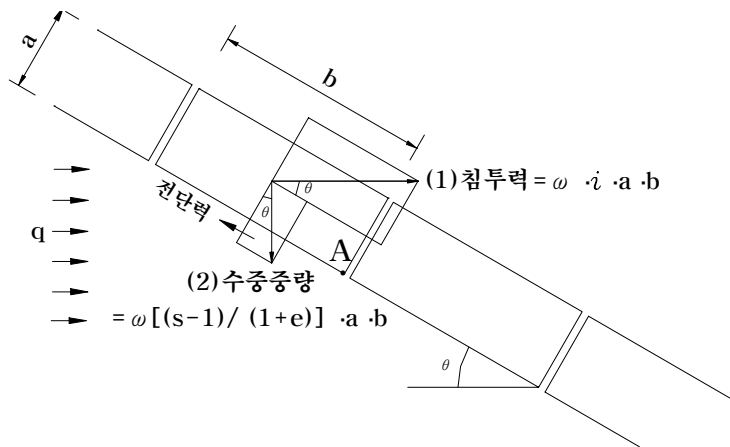


그림 4.2.1-1 돌망태 사면에 작용하는 힘

돌망태의 수중중량은 다음과 같다.

$$w \cdot a \cdot b \cdot (s-1)(1-n) \text{ 또는 } w \cdot a \cdot b \cdot (s-1)/(1+e)$$

여기서, n : 공극율(%)

e : 공극비

w : 물의 단위중량(t/m³)

s : 석재의 상대밀도

돌망태가 평형을 이루기 위해서는 그림 4.2.1-1에서 사면을 따라서 미끄러져 내려가려는 힘의 성분 (1), (2)가 사면에 수직하게 작용하는 힘에 마찰계수를 곱한 값보다 적어야 한다.

$$w \frac{s-1}{1+e} \cdot a \cdot b \cdot \sin \theta + w \cdot i \cdot a \cdot b \cdot \cos \theta \leq \tan \phi \left(w \frac{s-1}{1+e} \times \right.$$

$$\left. a \cdot b \cdot \cos \theta - w \cdot i \cdot a \cdot b \cdot \sin \theta \right) \text{ -----(4.2.1-1)}$$

식 (4.2.1-1)을 정리하면

$$i \frac{1+e}{s-1} \leq \frac{\tan \phi - \tan \theta}{1 + \tan \phi \tan \theta} \text{-----}(4.2.1-2)$$

여기서, ϕ : 내부마찰각

$$i = \frac{\Delta y}{a / \sin \theta}$$

Δy : 수심

즉, 식 (4.2.1-2)를 만족하면 돌망태 사면은 활동에 대하여 안전한 것으로 판단한다.

나. 전도

침투력은 하단지점 즉, 그림 4.2.1-1의 A를 중심으로 돌망태를 회전시키려는 경향이 있으며 이때 힘의 평형식은 식 (4.2.1-3)과 같다.

$$w \cdot i \cdot a \cdot b \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{2} \tan \theta \right) \cos \theta \leq$$

$$w \frac{s-1}{1+e} \cdot a \cdot b \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2} \tan \theta \right) \cos \theta \text{-----}(4.2.1-3)$$

다시 정리하면

$$i \frac{1+e}{s-1} \leq \frac{\frac{b}{a} - \tan \theta}{1 + (b/a) \tan \theta} \text{-----}(4.2.1-4)$$

즉, 식(4.2.1-4)를 만족하면 돌망태 사면은 전도에 대하여 안전한 것으로 판단한다.

다. 고찰

$\frac{b}{a}$ 의 값이 0.7보다 큰 경우 활동에 대한 조건을 적용하며, 돌망태 사

면 경사와 $\frac{b}{a}$ 값과는 무관하고, $\frac{b}{a}$ 의 값이 적은 경우는 전도에 대한 조건을 검토하도록 한다.

돌망태 한 개에 의해서 활동이 일어나 완전한 파괴가 일어나는 것은 극히 드문데, 이는 만약 한 개가 활동하면 그 밑에 위치한 돌망태가 지지하는 역할을 하기 때문이다.

경사각이 작아져서 수평으로 접근할 경우는 앞에서의 이론을 적용할 경우의 값을 결정하기 곤란하므로 정확해지지 않는다. 이때는 수평면에 돌망태가 설치된 경우로 해석한다.

2. 수중 수평면상의 돌망태 안정성

수평면상에 한 개의 돌망태가 놓여 있는 경우를 그림 4.2.2-1과 같이 생각한다. 여기서 돌망태 하류부의 수심은 0으로 가정하고, 양압력 및 내부의 수면은 도시한 바와 같다.

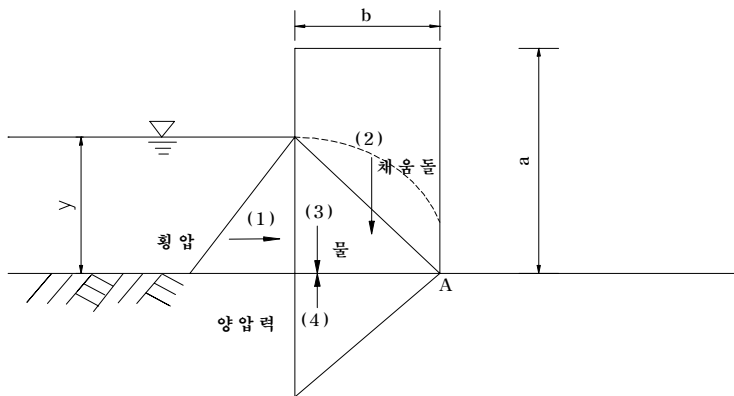


그림 4.2.2-1 수평상 돌망태

가. 활동

그림 4.2.2-1에서 돌망태에 작용하는 외력 및 물체력을 생각하고 활동에 대해서 안전하기 위해서는 식(4.2.2-1)을 만족해야 한다.

$$w \frac{Y^2}{2} \leq \left(w \frac{s}{1+e} a b + w \frac{e}{1+e} \frac{y b}{2} - w \frac{y b}{2} \right) \times \tan \phi \quad \text{---(4.2.2-1)}$$

이 식을 간단히 하면

$$\frac{y}{b} \leq \frac{2 \frac{S_a}{y} - 1}{1+e} \tan \phi \quad \text{-----(4.2.2-2)}$$

나. 전도

지점 A에서 전도에 대해서 안전하기 위해서는 식(4.2.2-3)을 만족해야 한다.

$$w \frac{y^2}{2} \frac{y}{3} - w \frac{s}{1+e} a b \frac{b}{2} + w \frac{y b}{2} \frac{2b}{3} - w \frac{e}{1+e} \frac{y b}{2} \cdot \frac{2b}{3} \leq 0$$

----- (4.2.2-3)

이를 간단히 하면

$$\frac{y}{b} \leq \frac{\sqrt{3 S_a / y} - 2}{1+e} \quad \text{----- (4.2.2-4)}$$

여기서 하류부 수심이 상류부 수심의 1/2까지는 (4.2.2-2) 및 (4.2.2-4)식을 적용할 수 있지만 하류부 수심이 현저히 증가할 때는 다시 고려하도록 한다.

3. 돌망태 옹벽의 토압이론과 안정성

가. 지표면에 하중이 없는 경우의 토압

옹벽에 작용하는 토압은 주동토압, 수동토압 및 정지토압의 3가지로 나누어 생각할 수 있다. 이 토압의 구별은 전적으로 옹벽의 변위에 관계되며 옹벽이 전방으로 변위가 일어나면 주동토압, 후방으로 변위가 일어나면 수동

토압, 변위가 전혀 없다면 정지토압이 된다. 실제로 옹벽은 그 상단이 자유 단이어서 배면에 있는 흙의 압력으로 말미암아 약간의 변위를 수반하기 때문에 정지상태가 되는 경우는 거의 없다.

토압을 구하는 이론은 여러 가지 있지만 그 중에서도 Rankine 이론과 Coulomb 이론이 보편적으로 쓰이고 있다. 식(4.2.3-3)과 (4.2.3-6)은 Rankine 이론으로서 벽체와 흙 사이의 마찰을 무시하고 있으므로 실제와는 다소 어긋난다. 따라서 이 식으로 계산한 주동토압은 실제보다 크고 수동토압은 실제보다 작아서 안전하다. 토압은 높이의 제곱에 비례하므로 높은 옹벽에 대한 토압 계산에 있어서는 이 공식을 써서는 안 된다.

식(4.2.3-4)와 (4.2.3-7)은 Coulomb 이론으로 유도된 공식이다. 이 식에는 벽마찰이 고려되어 있고, 흙덩이의 활동면을 직선으로 가정하고 있다. 이 이론에 의한 주동토압의 값은 활동면을 곡면으로 가정한 경우보다 약간 크지만 비교적 실제와 잘 접근하고 있다. 그러나 수동토압은 실제보다 상당히 작으므로 이 이론에 의한 값은 잘 사용하지 않고 대신 Caquot와 Kerisel의 도표를 많이 이용한다. 벽마찰각은 내부마찰각의 $\frac{2}{3}$ 를 최대치로 한다.

돌망태 옹벽의 토압은 중력식 옹벽의 이론에 준하여 산정하는데, 각 토압 이론을 살펴보면 다음과 같다.

1) 주동토압

지표면에 하중이 없는 경우 전주동토압은 다음 식(4.2.3-1)에 의해 계산된다.

$$P_A = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A \text{ -----(4.2.3-1)}$$

여기서,

P_A : 주동토압 (t/m)

γ : 흙의 단위중량 (t/m^3)

K_A : 주동토압계수

H : 점착력을 무시할 때에는 옹벽의 높이 (H_o) (m)

점착력을 고려 할 때에는

$$H = H_o - \frac{2c}{\gamma} \tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) \text{-----}(4.2.3-2)$$

H_o : 옹벽의 높이 (m)

c : 흙의 점착력 (t/m^2)

ϕ : 흙의 내부마찰각 ($^\circ$)

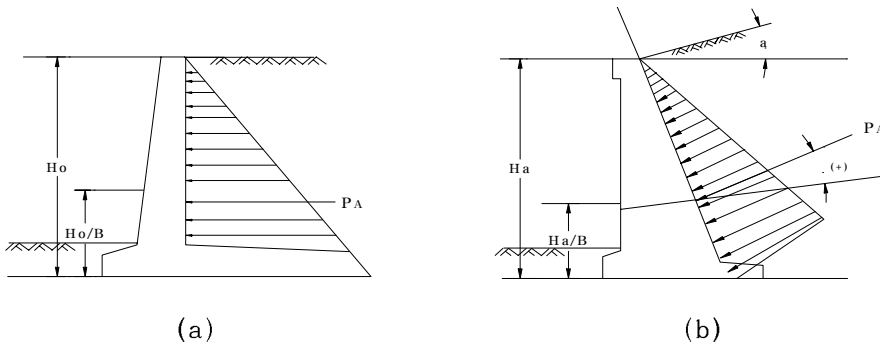


그림 4.2.3-1 옹벽에 작용하는 주동토압

토압은 삼각형 형상으로 분포되며 식(4.2.3-1)의 K_A 값은 다음 식(4.2.3-3) 또는 (4.2.3-4)로부터 구한다.

(1) 지표면이 수평, 옹벽의 배면이 수직이고 벽마찰이 무시되는 경우

[그림 4.2.3-1(a) 참조]

$$K_A = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) \text{-----}(4.2.3-3)$$

(2) 일반적인 경우

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2\beta \cos(\beta + \delta) \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta)\sin(\phi - \alpha)}{\cos(\beta + \delta)\cos(\beta - \alpha)}} \right\}^2} \text{----(8.2.3-4)}$$

단, $\phi < \alpha$ 일 때에는 $\sin(\phi - \alpha) = 0$ 으로 한다.

2) 수동토압

지표면에 하중이 없는 경우 전주동토압은 다음 식(4.2.3-5)로 계산한다.

$$P_P = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_P + 2cH\sqrt{K_P} \text{-----(4.2.3-5)}$$

여기서

P_P : 수동토압 (t/m)

K_P : 수동토압 계수

H: 옹벽의 높이 (m)

K_P 값은 다음 식(4.2.3-6), (4.2.3-7) 또는 표 4.2.3-1로 계산한다.

(1) 지표면이 수평, 옹벽 배면이 수직하고, 벽마찰을 무시하는 경우

$$K_P = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) \text{-----(4.2.3-6)}$$

(2) 도표를 이용하는 경우

표 4.2.3-1의 표를 이용하여 수동 토압계수를 구한다.

(3) 일반적인 경우

$$K_P = \frac{\sin^2(\alpha - \phi) \cos \delta}{\sin \alpha \sin(\alpha + \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta)\sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta)\sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \text{-----(4.2.3-7)}$$

여기서

ϕ : 흙의 내부마찰각(°)

δ : 벽배면과 흙의 벽마찰각(°)

α : 지표면이 수평면과 이루는 각 (°)

β : 벽배면이 연직면과 이루는 각 (°)

표 4.2.3-1 수동토압계수($\alpha=0, \beta=0$ 경우)

$\delta \backslash \phi$	10 °	12.5 °	15 °	17.5 °	20 °	25 °	30 °	35 °	40 °
$\delta = -\phi$	1.65	1.89	2.19	2.55	3.01	4.29	6.42	10.20	17.50
$\delta = -\phi/2$	1.56	1.76	1.98	2.25	2.59	3.46	4.78	6.88	10.38
$\delta = \pm 0$	1.42	1.55	1.70	1.85	2.04	2.56	3.00	3.70	4.60
$\delta = +\phi$	0.73	0.68	0.64	0.61	0.58	0.55	0.53	0.53	0.52

점착력이 있는 경우에는 인장균열의 깊이까지는 계산상 인장력이 생기지만, 옹벽에 작용하는 토압 계산에서는 이것을 무시한다. 따라서 식(4.2.3-2)과 같이 옹벽의 높이에서 인장균열을 뺀 값을 식(4.2.3-1)에 대입하여 계산하면 인장력을 무시한 주동토압이 된다.

옹벽 배면의 흙이 서로 다른 토층으로 이루어지거나 지표면이 불규칙할 때에는 식(4.2.3-1)과 같은 공식을 쓰기 곤란할 때가 있다. 이때에는 가상 활동면을 미리 가정하고 이 활동면 내에 있는 흙덩어리의 무게에 대한 반력의 평형을 생각하여 토압을 결정한다. 여러 개의 가상활동면에 대해 최대치를 주는 값이 주동토압이 된다.

나. 지표면에 하중이 놓여 있는 경우의 토압

뒤채움 흙 위의 지표면에 등분포하중 q 가 작용하는 경우에는 다음 식(4.2.3-8) 또는 (4.2.3-9)에 의해 계산되는 값만큼 토압이 증가된다.

$$\Delta P_A = K_A \cdot q \cdot H \text{ -----(4.2.3-8)}$$

$$\Delta P_P = K_P \cdot q \cdot H \text{ ----- (4.2.3-9)}$$

옹벽 배면의 지표면이 도로로 사용된다면 교통하중이 작용한다. 교통하중은 등분포하중으로 환산하여 식(4.2.3-8) 또는 (4.2.3-9)에 의해 추가되는 토압을 계산한다. 건설부 제정 구조물 기초설계기준 해설에는 등가등분포하중은 중차량이 빈번히 통과하는 도로에 대해서는 2.0t/m²으로 정하도록 추천하고 있다. 보도와 같은 경량하중에 대해서는 0.5t/m² 정도의 등분포하중을 적용한다.

다. 수압

옹벽 배면에 지하수위가 있거나 강수로 인해 수위가 높아지는 경우에는 배수시설이 적절하지 못하면 수압을 고려하여야 한다. 이 수압은 토압과 함께 옹벽에 횡방향력으로 작용한다.

배수공과 필터(filter)와 같은 배수시설이 전혀 없거나 이들이 그 기능을 발휘하지 못한다면 수압을 고려하여야 한다.

정수압인 경우에는

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w H^2 \text{ ----- (4.2.3-10)}$$

로 구하고 동수압인 경우에는 유선망을 그려서 수압을 산정하여야 한다.

여기서

U : 수압 (t/m)

γ_w : 물의 단위중량 (t/m³)

H : 옹벽 바닥에서 수면까지의 높이

옹벽 배면에 지하 수위가 있는 경우의 토압을 계산할 때, 식(4.2.3-1) 또는 (4.2.3-5)에서의 γ 의 값은 지수위 아래에 있는 흙에 대해서는 수중단위

중량을 쓴다.

돌망태 옹벽의 경우 돌망태 채움돌 사이의 공극을 통한 배수가 매우 양호하므로 반드시 불투수성으로 해야만 하는 등의 특수한 경우를 제외하고는 돌망태 배면의 수압은 무시하고 계산한다.

라. 돌망태 옹벽의 안전성

1) 전도에 대한 안정

옹벽에서 토압에 의해서 기초 전면의 압급을 중심으로 하여 회전하려는 작용모멘트를 전도 모멘트라 하고, 이에 반하여 같은 축을 중심으로 반대 방향으로 회전하려는 모멘트를 저항 모멘트라 한다.

중력식 옹벽에 대해서는 옹벽 배면에 작용하는 토압을 사용하여 전도 모멘트를 구한다. 전도에 대한 안전율은 다음 식으로 구한다.

$$F_s = \frac{M_r}{M_d} = \frac{W \cdot a}{P_H \cdot b - P_V \cdot e} \text{-----}(4.2.3-11)$$

여기서

M_r : 저항 모멘트

M_d : 전도 모멘트

w : 옹벽과 흙의 중량

P_H : 주동토압의 수평 성분

P_V : 주동토압의 수직 성분

a : 기초 전면의 모멘트 중심점으로부터 자중의 작용선까지의 수평 거리(m)

b : 기초 전면의 모멘트 중심점으로부터 토압의 수평성분의 작용선까지의 수직 거리(m)

e : 기초의 폭(m)

식(4.2.3-11)에서 구한 안전율이 1.5 이상이 되었을 때 전도에 대해서 안전한 것으로 한다.

2) 활동에 대한 안정

토압의 수평 성분 P_H 에 의한 벽체의 수평 활동은 기초 슬래브와 흙 사이의 마찰력에 의해 저항된다. 옹벽 전면의 수동토압은 이 부분의 흙이 기초 공사 때문에 흐트러질 염려가 많을뿐더러 옹벽 설치후의 다른 공사나 우수에 의하여 세굴되어 흐트러질 염려가 있다. 이와 같은 원인에 의해서 흙이 느슨하게 되었을 경우에는 상당히 큰 변형이 일어난 뒤에야 수동토압이 유효하게 작용하게 되므로 보통 이것을 고려하지 않는다. 지지지반의 내부마찰각 ϕ 를 채택하고 $\tan \phi$ 를 취하며 점착력은 무시한다. 점성토 지반에서는 일축압축강도 q_u 의 $\frac{1}{2}$ 을 활동저항 성분으로 한다. 마찰계수의 표준치는 표 4.2.3-2와 같다.

표 4.2.3-2 기초슬래브 밑면과 지지지반과의 마찰계수

실트 또는 점토를 함유치 않은 조립흙	0.55($\phi=29^\circ$)
실트를 함유하는 조립흙	0.45($\phi=24^\circ$)
실트 또는 점토 (기초슬래브 밑은 두께 약10cm의 흙을 잘 다져진 모가 난 모래 또는 자갈로 치환한다.)	0.35($\phi=19^\circ$)

기초 슬래브에 대한 연직력의 합력을 W라 하면 슬래브 밑면의 활동에 대한

최대 마찰저항력 R_h 는 식(4.2.3-12)로 구한다.

$$R_h = \mu_{an} \delta \text{ -----(4.2.3-12)}$$

여기서 δ 는 기초 슬래브 밑면과 기초 지반 사이의 마찰각으로 앞서 설명한 바와 같이 보통은 기초 지반의 내부마찰각과 같은 값을 취한다.

주동토포압의 수평 성분을 P_{Ah} 라 하면 안전율은

$$F_s = \frac{P_h}{P_{Ah}} \text{ -----(4.2.3-13)}$$

로 주어지고 $F_s \geq 1.5$ 이면 활동에 대해 안전하다.

4. 경제성

돌망태 구조물에 대한 표준 품셈이 정확히 확립되어 있지 않아 기존 콘크리트 구조물의 공사비와 직접비교하는 것은 어렵다. 본 연구에서는 자료를 통하여 공사비에 직접적인 영향을 미치는 공기와 공사비를 비교해 보았다.

가. 공기

1) 콘크리트 구조물

콘크리트 구조물은 공종이 다양(거푸집설치, 철근조립, 콘크리트 타설, 양생, 거푸집 제거)하기 때문에 장기간의 공기가 소요되고, 후속 작업이 동시에 지연되어 많은 공기가 소요된다.

2) 돌망태 구조물

돌망태 구조물은 설치기간이 짧고 축조 중 또는 축조완료 즉시 후속 공정이 가능하므로 공기를 최대한 단축할 수 있다. 따라서 콘크리트 옹벽에 비해 약 70% 정도의 공기를 단축할 수 있다. 또한 콘크리트 구조물은 작업기간 터파기 부분에 물이 고여 있으면 작업이 불가능하나 돌망태 구조물의 경우는 어느 정도 물이 고여있어도 작업이 가능하기 때문에 별도의 물푸기

작업이 필요하지 않은 경우가 많다.

나. 공사비

콘크리트 구조물은 공기가 다양하고, 공기가 장기간 소요되므로 직·간 접비가 증가되는 등 공사비가 증가된다. 이에 비해 돌망태 구조물은 공중이 단일 공중이고 시공이 간편하여 단기간에 설치되므로 공사비가 절감된다. 또한 자연자원을 활용할 수 있고, 기초공, 배수시설을 생략할 수 있으므로 초기 공사비를 줄일 수 있고, 축조 높이가 높을수록 공사비가 절감된다. 돌 망태 옹벽과 콘크리트 옹벽의 공사비를 비교한 자료를 소개하면 다음 표와 같다.

표 4.2.4-1 돌망태와 콘크리트의 공사비 비교표 (단위 : 원)

높이	돌망태 옹벽	L형 옹벽	역 T형 옹벽	뒷부벽식 옹벽
4.0	550,000	749,000	583,000	
5.0	820,000	1,114,000	838,000	
6.0	1,101,000	1,622,000	1,188,000	1,375,000
7.0	1,457,000	2,027,000	1,597,000	1,759,000
8.0	1,834,000	2,575,000	1,967,000	2,217,000
9.0	2,257,000			2,699,000
10.0	2,738,000			3,456,000

* 돌망태 옹벽의 근입 깊이는 1.0m를 기준으로 한다.

* 단, 현장에 따라 다소 변경될 수 있다.

이상과 같이 돌망태의 공중 감소에 따른 공기 단축에 의한 공사비 및 공사 관리비 절감효과를 감안한다면 돌망태 구조물의 공사비는 현저히 감축될 수 있을 것으로 판단된다.

제 3절 돌망태 제방 현장 설치

1. 설치지구 선정

돌망태 제방 설치 대상지는 전북 김제시 백학동 1033번지에 위치하는 배수로로서 사진 4.3.1-1과 같이 홍수시에 제방이 붕괴되어 자주 민원이 발생하는 곳이었다. 반대편 제방은 교통량이 많은 도로 사면이다.



그림 4.3.1-1 돌망태 제방 축조 대상지

대상 제방이 붕괴되는 이유는 그림 4.3.1-2와 같이 사각형 잠공의 왼쪽 측벽에 배수구가 있어 홍수시에는 비교적 많은 물이 유입한다. 이 유출수가 상류에서 유하하는 물의 유향을 날개벽 쪽으로 유도하고, 속도가 빨라진 물이 논에 제방에 부딪치면서 제방을 붕괴시키는 원인이 되었다. 따라서 논주인은 임시방편으로 나무판을 대고 말뚝을 박았으나 영구적인 시설이 되지 못하기 때문에 관계기관에 민원을 제출해 놓은 상태였다.

이곳을 돌망태로 설치할 경우 안정성을 충분히 확보할 수 있을 뿐만 아니라 마을 입구인 동시에 도로변이기 때문에 경관면에서도 효과가 좋을 것으로 판단되어 대상지로 선정하였다.

대상지가 논의 제방이므로 농사철에는 시공이 불가능하기 때문에 부득이 추수가 끝난 다음에 시공해야만 했다. 이것이 시공이 늦어진 직접적인 원인이었다.



그림 4.3.1-2 대상지의 유향

2. 설계 및 시공

가. 설계

대상지에 돌망태 제방을 축조하기 위하여 그림 4.3.2-1과 같이 양안의 축조 높이를 각각 2.0m로 하였다. 좌안의 논 제방이 약 1.9m 정도였기 때문에 높이 1.0m의 돌망태를 2단으로 쌓기로 하였다. 우안은 좌안에 비해 높은데도 불구하고 2.0m만 돌망태로 쌓은 것은 논 제방보다 높은 부분은 물이 흐를 수 없기 때문에 돌망태를 2.0m 이상 축조하는 것은 무의미하기 때문이다. 또한 우안 중 2.0m 이상의 부분은 사면 기울기 약 1:1로 흙으로 뒤채움하는 것으로 하였다. 이 흙으로 된 사면은 식물이 자랄 수 있기 때문에 경관상 좋을 뿐만 아니라 생태계가 단절되는 것을 방지할 수 있어 생태계 보

전 면에서도 좋을 것으로 판단된다. 특히 우안은 도로변이기 때문에 식생이 자랄 수 있게 하여 경관을 보전하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

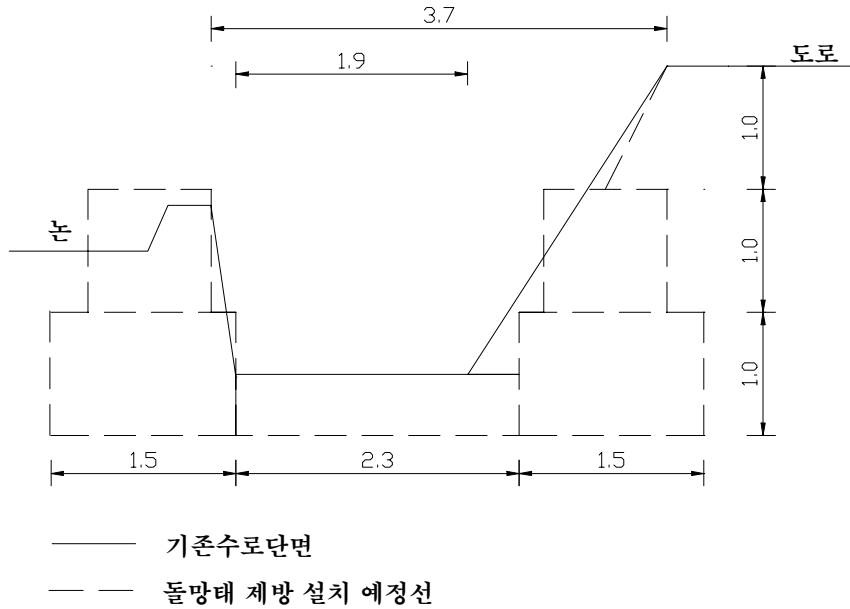


그림 4.3.2-1 기존 수로 단면과 돌망태 설치 후의 예상 단면

나. 기존 수로단면 및 계획 돌망태 호안공

1) 기존 수로의 최대 유수 단면적

기존 수로의 최대 유수 단면적은 좌안의 논 제방이 약 1.9m이기 때문에 물이 흐를 수 있는 최대 수심을 양안 모두 1.9m로 하여 계산하면

$$(3.0546 + 1.9) \times 1.3518 \times \frac{1}{2} = 3.34\text{m}^2$$

이 된다.

2) 개수 후의 최대 유수 단면적

개수 후의 유수 단면적은 논 제방이 높이 1.0m의 돌망태를 2단으로 쌓으면 높이는 2.0m가 되나 밀다짐공의 높이가 0.5m이기 때문에 물이 흐를 수 있는 최대 수심은 1.5m가 된다. 따라서 개수 후의 최대 유수 단면적은

$$(2.3 \times 0.5) + (2.7 \times 1) = 3.85 \text{ m}^2$$

이 된다.

따라서 개수 후의 예상 최대 유수 단면적이 기존 수로의 최대 유수 단면적보다 크므로 개수 후에도 유수에 대하여 안전할 것으로 판단된다.

다. 터파기 물량

터파기 물량은 우안의 경우 도로 사면이기 때문에 터파기 단면을 경사지게 하면 도로를 철거해야 하기 때문에 불가능하다. 따라서 우안의 터파기 단면은 사면부분을 수직으로 터파기하였는데 그 물량은

$$\left((0.8 + 2.42) \times 3 \times \frac{1}{2} \right) \times 20 (m) = 96.6 \text{ m}^3$$

이 된다. 밀다짐공은 0.5m의 높이로 설치하기 때문에

$$1.9 \times 0.5 \times 20 = 19 \text{ m}^3$$

이 된다. 좌안은 논바닥까지의 높이가 1.5m 정도이기 때문에 터파기 사면을 수직으로 하여도 작업상 문제가 없을 것으로 판단되어 터파기 사면을 수직으로 하였다. 터파기 물량은

$$1.5 \times 2.0 \times 20 = 60 \text{ m}^3$$

이 된다. 따라서 총 터파기 물량은 175.6m³이 된다. 그러나 수로에 물이 흐르기 때문에 임시물막이를 위한 공사물량이 필요하다. 또한 잠공의 배수구로부터 물이 유입하고, 터파기 단면이 하류의 기존 수로 바닥보다 낮아 물의 흐름이 차단되기 때문에 터파기 부분에 물이 고여 작업이 불가능하다. 따라서 터파기 부분의 물을 저류시키기 위한 웅덩이를 굴착해야 하기 때문

에 터파기 물량이 증가되므로 터파기 물량에 여유를 두어 240㎥으로 하였다.

라. 돌망태 소요개수 및 작업량

이상의 계획 단면으로 돌망태 제방을 축조할 경우 예상되는 돌망태는 표 4.3.2-1과 같다. 양안의 하단(1단)용 돌망태는 1.5(길이)×1.0(폭)×1.0(길이)㎥가 40개, 양안의 상단(2단)용 돌망태는 1.0(길이)×1.0(폭)×1.0(길이)㎥가 40개가 필요하다. 밀다짐공의 경우 예상 폭이 2.3m이나 시판되는 돌망태는 폭이 2.3m가 없기 때문에 폭 2.0m의 돌망태만으로는 부족하다. 따라서 폭 1.0m의 돌망태를 절단하여 사용해야만 하기 때문에 부득이 폭 2.0m의 돌망태 10개, 1.0m의 돌망태 10개를 사용하여 시공하는 것으로 하였다. 설계단면은 그림 4.3.2-2와 같다.

표 4.3.2-1 돌망태 소요량

규격 (단위:m) (L×B×H)	돌망태			비 고
	소요개수 (개)	단가	소계	
1.5×1.0×1.0	40	30,000	1,200,000	하 단
1.0×1.0×1.0	40	22,000	880,000	상 단
2.0×1.0×0.5	10	28,000	280,000	밀다짐공
1.0×1.0×0.5	10	28,000	280,000	밀다짐공
합 계	100		2,640,000	

마. 채움돌 소요량

돌망태의 채움돌 소요량은 하단, 상단, 밑다짐공이 각각

- 하 단 : $1.5(m) \times 1.0(m) \times 1.0(m) \times 36\text{개} = 54\text{m}^3$
- 상 단 : $1.0(m) \times 1.0(m) \times 1.0(m) \times 36\text{개} = 36\text{m}^3$
- 밑다짐공 : $2.3(m) \times 1.0(m) \times 0.5(m) \times 10\text{개} = 11.5\text{m}^3$

이므로 총 채움돌 소요량은 $101.5 \approx 110\text{m}^3$ 으로 하였다.

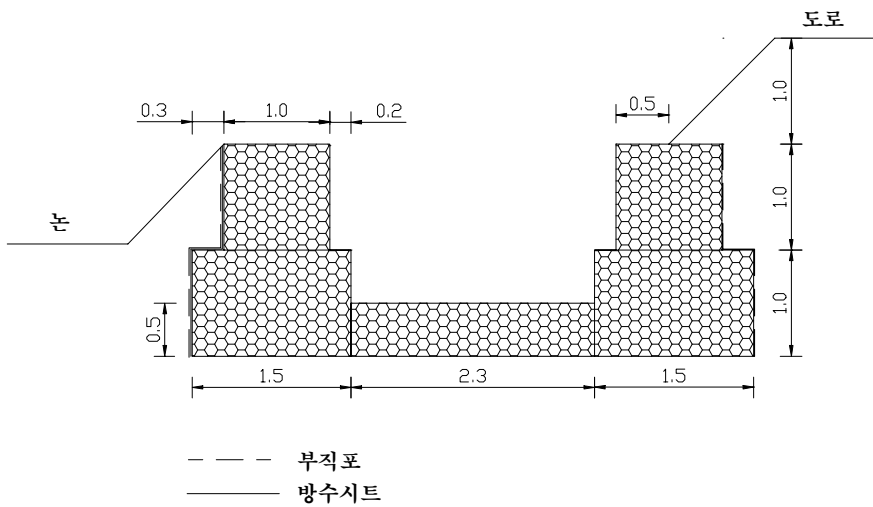


그림 4.3.2-2 돌망태 제방 설계도

바. 시공

1) 준비

가) 돌망태 채움돌

돌망태의 채움돌은 그림 4.3.2-3과 같은 채석장의 깬돌을 이용하였는데, 돌의 지름은 100~300mm 정도였다. 김제시는 평야지대이기 때문에 석산이 없어 인근지역 석산의 채석장으로부터 주문하여 사용하였다.



그림 4.3.2-3 돌망태 채움돌

나) 돌망태

돌망태용 철망은 그림 4.3.2-4와 같은 철선을 본 연구과제의 협력업체로부터 공급받아 사용하였다. 돌망태 철망의 소요 개수는 표 4.3.2-1과 같다.



그림 4.3.2-4 돌망태

본 하천 제방에 사용한 돌망태는 그림 4.3.2-5와 같이 아연도금된 철선을 중복되게 꼬아서 만든 연속된 육각형 와이어 메쉬로 된 철망을 일정크기에 맞추어 상자형을 만들고, 이 공간에 조약돌 또는 깬돌 등을 채워 용도에 맞게 조립한 축조물로서 특히 내구성, 배수성 및 안전도가 높은 구조물 옹벽체이다.

돌망태 철선은 아연도금 처리한 고강도 철선으로서 내부식성이 강하여 녹이슬지 않고, 내구성이 강한 제품이다.

육각형 와이어 메쉬의 직경은 그림 4.3.2-5와 같이 짧은 직경은 80mm, 긴 직경은 100~120mm이다. 육각형 와이어 메쉬를 이루는 철선의 직경은 2.7mm이고, 가장자리 테두리 철선의 두께는 3.4mm이다.

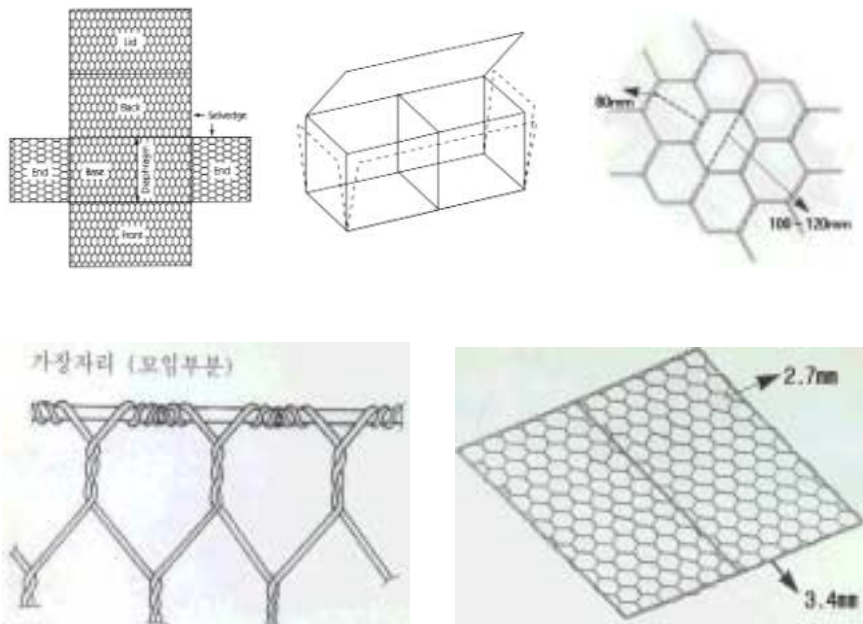


그림 4.3.2-5 돌망태의 형상

다) 돌망태 조립

돌망태 옹벽을 시공하기에 앞서 돌망태를 조립해야하는데 조립모습은 그림 4.3.2-6과 같다.



그림 4.3.2-6 돌망태 조립

2) 시공

가) 터파기

터파기 작업은 비가 내려 논바닥이 질기 때문에 그림 4.3.2-7과 같이 궤도형 백호우(0.8t)를 이용하였다. 또한 도로쪽 사면의 마무리 작업은 도로의 파손을 방지하기 위하여 바퀴형 백호우(0.8t)를 이용하였다. 터파기 작업 용량은 약 240^m이었다.



그림 4.3.2-7 터파기 작업

나) 우안(도로쪽) 1단 시공

우안의 1단은 그림 4.3.2-8과 같이 1.5(길이)×1(높이)×1(폭)m의 돌망태를 이용하여 축조하였다. 돌망태의 뒤채움시에는 투수성 부직포를 부설하여 수압을 감쇄시키고, 도로 쪽 토양의 유실에 의한 도로의 붕괴를 방지하였다.



그림 4.3.2-8 우안 1단 시공

다) 우안 2단 시공

우안 2단은 그림 4.3.2-9와 같이 1(길이)×1(높이)×1(폭)m의 돌망태를 이용하여 축조하였다. 2단에도 뒤채움시에 부직포를 설치하였고, 2단 상부의 50cm 정도는 뒤채움 흙으로 덮고 사면경사 1:1로 도로의 노면까지 뒤채움하였다.



그림 4.3.2-9 우안 2단 시공

라) 좌안 1단

좌안 1단도 그림 4.3.2-10과 같이 1.5(길이)×1(높이)×1(폭)m의 돌망태를 이용하여 축조하였다. 좌안은 논의 제방이기 때문에 침투에 의한 누수를 방지하기 위하여 부직포 안쪽에 방수시트를 부설하고 뒤채움하였다.



그림 4.3.2-10 좌안 1단 시공

마) 좌안 2단 시공

좌안 2단은 그림 4.3.2-11과 같이 1(길이)×1(높이)×1(폭)m의 돌망태를 이용하여 축조하였다. 2단도 마찬가지로 침투에 의한 누수를 방지하기 위하여 부직포 안쪽에 방수시트를 부설하고 뒤채움하였다. 뒤채움시 사면의 경사는 약 1:1로 하여 뒤채움하였다.



그림 4.3.2-11 좌안 2단 시공

바) 바닥시공

수로바닥은 유수에 의한 세굴을 방지하기 위하여 0.5m 두께로 돌망태 매트
를 시공하였다. 장래 토사퇴적시 준설에 지장을 줄 염려가 있기 때문에 준
설의 편이성을 위하여 10m 구간만 돌망태 매트를 부설하였다.



그림 4.3.2-12 완공된 돌망태 하천 제방

3. 직립형 돌망태 제방의 안전성 검토

축조된 돌망태 제방의 안전성 여부를 판단하기 위하여 전도 및 활동에 대
한 안전성을 검토하였다. 좌·우안은 모두 똑같은 재료와 규격으로 축조되
었으나, 도로사면인 우안이 좌안에 비해 토압이 크고 지표면에 차량하중도
작용하므로 우안이 안전하면 좌안도 안전하므로 우안에 대해서만 안전성을
검토하였다. 또한 우안의 경우는 투수성 부직포를 부설하였기 때문에 수압
은 무시하고 검토하였다.

가. 전도에 대한 안전성

1) 전도모멘트

횡방향 토압을 계산하기 위하여 주동토압계수를 계산하면 다음과 같다.

- 토양의 습윤단위중량(γ_t) = 1.8 tf/m³
- 토양의 수중단위중량(γ_{sub}) = 1.8-1.0 = 0.8 tf/m³

따라서 주동토압계수 (K_a) = $\tan^2(45^\circ - \frac{30^\circ}{2}) = \frac{1}{3}$

여기서, 내부마찰각(ϕ) = 30°

① 횡방향 토압

$$P_{A1} = \frac{1}{2} \cdot K_A \cdot \gamma_{sub} \cdot H^2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{3} \times 0.8 \times 2^2 = 0.53\text{tf}$$

② 상재하중에 의한 횡방향 압력

도로의 상재하중에 의한 횡방향 압력을 계산하기 위하여 중차량이 빈번히 통과하는 도로에 사용하는 등분포 하중인 2.0tf/m²을 사용하여 계산하였다.

$$P_{A2} = K_A \cdot q \cdot H = \frac{1}{3} \times 2 \times 2 = 1.33\text{tf}$$

③ 횡토압에 의한 전도모멘트

$$M_o = 0.53 \times (\frac{2}{3} - 0.5) + 1.33 \times (\frac{2}{2} - 0.5) = 0.09 + 0.665 = 0.755 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

가 된다. 횡토압과 상재하중의 분포도를 나타내면 그림 4.3.3-1과 같다.

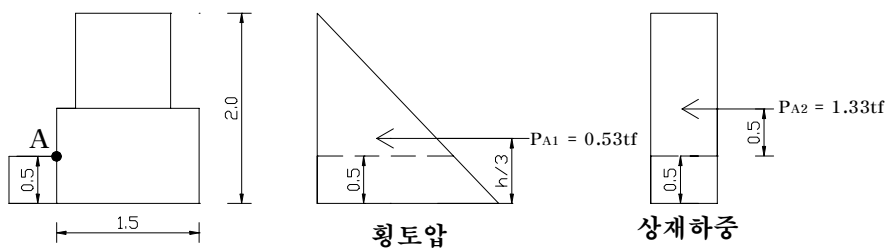


그림 4.3.3-1 토압 및 상재하중 분포도

2) 저항모멘트

저항모멘트는 그림 4.3.3-1에서 A점을 중심으로 한 돌망태 제방의 자중에 의한 모멘트가 된다. 돌망태의 비중을 2.0으로 하여 단위길이에 대한 저항모멘트를 구하면 다음과 같다.

① 1단(하단)

$$\text{- 자중 : } 1.5\text{m} \times 1.0\text{m} \times 2(\text{비중}) = 3\text{tf}$$

$$\text{- 거리 : } 0.75\text{m}$$

$$\therefore M_1 = 3 \times 0.75 = 2.25 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

② 2단(상단)

$$\text{- 자중 : } 1.0\text{m} \times 1.0\text{m} \times 2(\text{비중}) = 2\text{tf}$$

$$\text{- 거리 : } 0.7\text{m}$$

$$\therefore M_1 = 2 \times 0.7 = 1.4 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

따라서 총 저항모멘트는 $3.65\text{tf} \cdot \text{m}$ 가 된다.

3) 전도에 대한 안전성 검토

전도에 안전성을 검토하기 위하여 안전율을 구하면 다음과 같다.

$$F_s = \frac{3.65}{0.755} = 4.8 > 2.0$$

안전율이 2.0 보다 크므로 본 돌망태 제방은 전도에 대하여 안정하다.

나. 활동에 대한 안전성

1) 최대 마찰저항력

돌망태의 자중이 5tf 이고, 마찰력 δ 는 지반의 내부마찰각과 같은 값을 취하면 된다. 따라서 돌망태 밑면의 활동에 대한 최대 마찰저항력 R_h 는

$$R_h = W \cdot \tan \delta = 5 \times \tan 30 = 2.87\text{tf}$$

가 된다.

2) 활동에 대한 안전성

주동토압의 수평성분은 상기의 횡방향 토압 0.53tf과 상재하중 1.33tf의 합이므로 안전율은 다음과 같다.

$$F_s = \frac{R_h}{P_{Ah}} = \frac{2.87}{1.86} = 1.54 > 1.5$$

따라서 안전율이 1.5보다 크므로 본 돌망태 제방은 활동에 대해서도 안전하다.

4. 녹화토를 이용한 돌망태 개발

본 연구에서는 하천이나 호안 등에 구축되는 제방 또는 절개지의 사면을 보호하기 위해 사용되는 돌망태를 보다 환경친화적인 구조물로 만들기 위하여 개발한 녹화토를 이용한 돌망태 개발에 관한 기법을 특허 출원하였다.

돌망태는 하천, 호안, 해안 등의 제방이나 독을 설치하거나 절개지 사면의 견고성 및 안정성과 환경보존적인 기능을 높이거나, 도로벽면 보호, 도로유실방지, 교각바닥면의 세굴방지, 강변도로유실방지, 하천변 보존, 하천의 낙차공, 호안블록, 인공어초 등의 다양한 방면에 다용도로 이용될 수 있다.

그러나, 이러한 용도로 사용하는 돌망태는 아연도금선, PVC피복선 등으로 만든 금속망이 원형이나 사각형 및 다수의 육면체가 연속으로 결합된 형태(gabion)로 형성되어 있고, 내부에 다수의 채움돌을 채워 제조하므로써, 돌망태에 채워지는 채움돌 사이의 공극률이 높아(약 30%) 그 공극 사이로 석재와 함께 흙을 채우더라도 쉽게 빠져나가게 되어 초본류 및 목본류의 식생이 어려운 문제가 발생하며, 이런 현상은 하천수의 수압이 강하거나 유속이 빠른 지형에 설치하였을 경우 더욱 심하다.

이런 경우 생태계가 단절되어 생물의 생식공간이 파괴되고, 이에 따라서 자연생태계가 파괴되는 현상이 발생하므로 환경친화적인 공법의 개발이 시급하다.

본 기법은 토양 유실을 방지하기 위하여 그림 4.3.4-1과 같이 돌망태의 일정 부분에 부직포를 깔고, 천연유기질 발효비료 10 ~ 20중량%, 양질의 선별토양 70 ~ 80중량%와 녹화보조제 10중량%로 구성되는 녹화토 5 ~ 20중량%를 살포하여 일정시간 경화시켜 제조하는 기술이다. 돌망태 내부의 공극률을 필요에 따라 조절할 수 있게 되고 내구성과 토압 등 외력을 흡수할 수 있는 유연성을 증대토록 함은 물론, 돌망태 표면에 식생을 조성할 수 있는 환경친화적 수리구조물이기 때문에 자연생태계 보전 및 복원을 도모할 수 있다. 또한, 대규모 아파트 재건축 현장 등에서 발생하는 콘크리트 폐기물을 돌망태 채움돌 대신에 사용하는 경우 폐자재 재활용 효과도 높일 수 있다.

이상과 같이 본 발명은 상기한 종래의 문제점을 해결하고 개선하기 위한 것으로, 주된 목적으로는 그림 4.3.4-2와 같이 돌망태의 최상부, 벽면부 및 경사면에 유기질 발효비료, 양질의 선별토양 및 녹화보조제로 구성되는 녹화토를 일정 비율로 살포하여 돌망태를 제조함으로써, 돌망태 내부의 공극률을 필요에 따라 조절할 수 있게 되어 내구성과 토압 등 외력을 흡수할 수 있는 유연성도 증대토록 한 기술이다. 또한 돌망태 표면에 식생을 조성할 수 있도록 함으로서, 환경친화적 수리구조물로 자연생태계 보전 및 복원을 촉진할 수 있다.

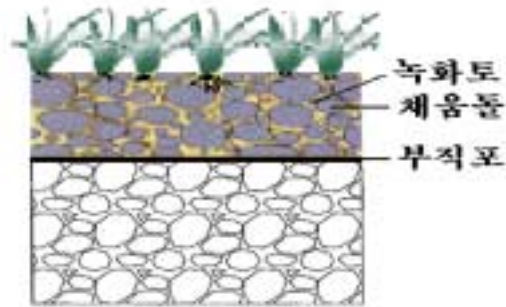


그림 4.3.4-1 녹화토를 이용한 환경친화적 돌망태

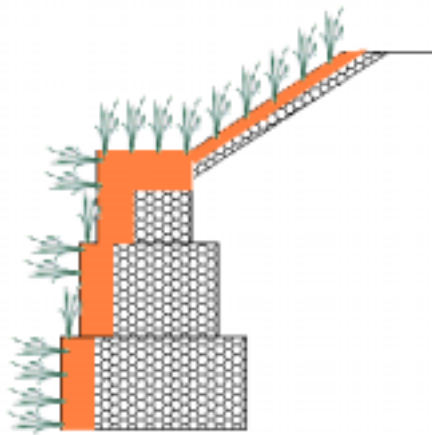


그림 4.3.4-2 녹화토 돌망태 쌓기 단면도

5. 결론

기존 수로의 제방이 유수에 의해 붕괴되어 제 기능을 제대로 발휘하지 못하는 배수로를 본 연구에서 시범적으로 돌망태 제방으로 개수하였다. 이의 설치에 따른 안전성을 검토한 결과, 전단과 활동에 대하여 안정한 것으로 계산되어 구조적으로 문제가 없는 것으로 나타났다. 제방을 축조한 후 홍수가 발생하지 않아 유수에 대한 안전성은 검증되지 않았으나, 유속이 4m 이

하로 발생될 것으로 예측되므로 제 3장에서 도출된 유속과 수심에 따른 돌망태의 적적규모에 대한 연구 결과, 기존 제방의 파괴의 원인이었던 날개벽에 유도되어 제방에 부딪히는 유수에 대해서도 충분히 안전할 것으로 판단된다.

또한, 20m 정도를 시공하는데 4일밖에 걸리지 않았고, 콘크리트 옹벽에 비해 공사비도 저렴하기 때문에 동절기에 시행되는 경지정리 공사와 여름철 홍수시 파손된 배수로 공사에 적절하게 활용될 수 있다.

특히 돌망태 제방은 대소 공극이 많기 때문에 어류들이 생활하거나 피난할 수 있는 장소로 이용할 수 있으므로 생태계 보전 측면에서도 좋은 축조재료이다. 또한 제방 상부의 공극 사이에는 식물이 뿌리를 내리고 자랄 수 있기 때문에 경관면에서 뿐만 아니라 생태계 보전면에서도 유리한 축조재료인 것으로 판단된다.

본 시범지구에 설치된 돌망태는 규격화된 제품이 다양하지 못하여 현장에 필요한 규격보다 비교적 큰 제품을 사용하였다. 향후, 돌망태 제품이 좀더 다양하게 세분화되어 생산된다면 경제적으로 저렴한 공사를 도모할 수 있을 것으로 전망된다.

제4절 돌망태 낙차공의 개발 및 현장 실험

1. 설치지구 선정

돌망태 낙차공 설치 지구를 선정하기 위해 기존의 철근콘크리트 낙차공 중 일부 또는 전부가 파괴되어 제 기능을 충분히 발휘하지 못하는 낙차공을 조사한 결과 그림 4.4.1-1과 같이 여러 곳이 발견되었다. 낙차공의 파괴 원인은 여러 가지가 있었는데, 기초지반의 침하, 양안 세굴에 의한 파괴, 상류 및 하류 접속수로의 세굴에 의한 파괴 등이 주요한 원인인 것으로 추정된다.

이중 이동 저수지 지구의 낙차공을 대상으로 선정하였다. 이 낙차공을 대상으로 선택한 이유는 연구사업이기 때문에 규모가 큰 낙차공을 돌망태 낙차공으로 개수하기에는 예산상 한계가 있고, 실험 및 관리의 편의상 농어촌 연구원으로부터의 이동거리를 감안하여 이동저수지 지구의 낙차공 2기를 대상으로 선정하였다.

낙차공 설치 대상지구는 경기도 용인시 남사면에 위치하고 있다. 이 지구는 그림 4.4.1-2와 같이 기존의 콘크리트 낙차공이 파괴되어 제기능을 발휘하지 못하는 곳으로서 낙차공의 개보수가 필요한 지구이다.

낙차공이 위치한 수로는 이동저수지로부터 용수를 공급하는 진위간선에 접속된 용배수 겸용수로의 최상류에 위치하였다.

개수대상 낙차공의 파괴원인은 상류의 1기는 그림 4.4.1-2와 같이 기초지반이 침하되어 낙차공 양안의 날개벽이 가운데 쪽으로 기울어 통수단면이 좁아지는 등 제기능을 제대로 발휘하지 못하고 있었다. 하류의 1기는 설계 유량이 과소하게 산정되어 낙차공의 통수단면적이 좁아 상류의 논의 침수되기 때문에 농민들이 통수단면적을 넓히기 위하여 월류부의 일부를 파괴한 것으로 조사되었다.



그림 4.4.1-1 파괴된 기존의 콘크리트 낙차공

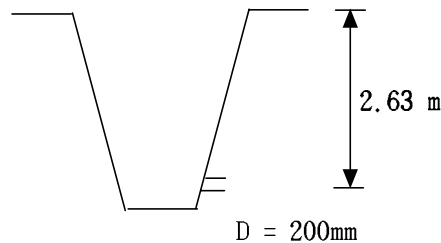


그림 4.4.1-2 대상지로 선정된 낙차공

2. 설계유량 산정

가. 진위간선 용수로의 최대유출량

대상수로는 그림과 같이 진위간선용수로에서 직경 200mm의 토관을 통해 용수가 공급되는 동시에 수로 양쪽의 논으로부터의 유출수가 유입되는 용배수 겸용수로이다. 본 수로의 설계용수, 제원에 관한 자료가 없어 직경 200mm의 토관을 통해 유출될 수 있는 최대수량을 오리피스공식에 의해 산출하였다. 대상 수로의 유량은 토관 앞에 설치한 수문의 개도에 의해 조절하도록 되어 있다.

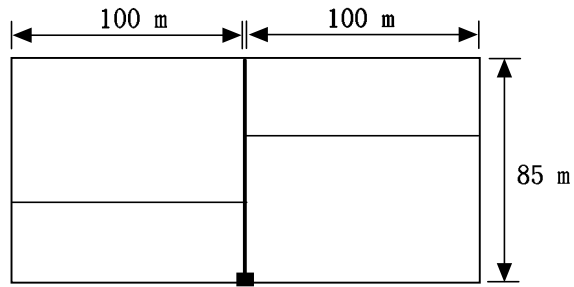


$$Q = CAV = C \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \sqrt{2gH} = \frac{\pi \cdot 0.2^2}{4} \cdot \sqrt{2 \times 9.8 \times 2.63} = 0.23 \text{ m}^3/\text{s}$$

단, 유량계수 C는 설계유량이 과소평가되어 통수단면이 부족하게 되어 상류의 논이 침수되는 것을 방지하기 위하여 1로 하여 계산하였다.

나. 홍수시 농경지 배수량

농경지로부터의 배수량은 홍수시 양쪽의 논으로부터 유출되는 수량으로 하였다. 이 지구의 홍수 및 유출에 관한 자료가 없어 수원기상대의 기왕최대 강수량을 대상홍수로 하였다.



낙차공

수원기상대 기왕 최대 강우량(2000년 7월 22일) : 333.2 mm/day

$$\text{홍수유입량} = 333.2 \text{ mm/day} \times 200\text{m} \times 85\text{m} = 0.066 \text{ m}^3/\text{s}$$

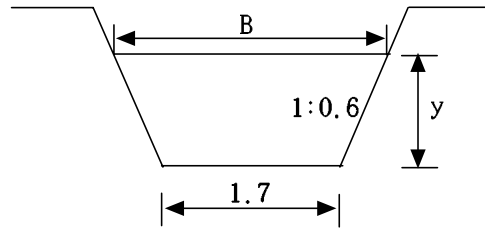
$$\therefore \text{설계유량}(Q) = 0.23 + 0.066 = 0.296 \approx 0.3 \text{ m}^3/\text{s}$$

이상과 같이 설계유량을 0.3 m³/s로 하여 다음의 계산과정을 거쳐 낙차공을 설계하였다.

3. 낙차공 설계

가. 대상수로의 제원

대상수로는 토공수로로서 제원은 다음과 같다. 수로가 토공수로이기 때문에 수로의 전단면이 일정한 단면형태를 유지하지는 않았지만, 평균적으로 바닥 폭은 1.7m, 수로의 높이는 0.5m, 제방의 기울기는 1:0.6 정도 되는 규모가 작은 수로이다. 설계홍수량인 0.3 m³/s를 이용하여 유수단면적, 수면 폭, 윤변 등 낙차공 설계에 필요한 항목을 계산하면 다음과 같다.



그림에서

B : 수면 폭 = $b + 2zy$

b : 수로바닥 폭(1.7m)

z : 제방의 기울기(1:0.6)

y : 수심(m)

$$Q = AV = A \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} = (b + zy)y \cdot \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \text{에}$$

대입하여 설계홍수량이 유하할 때의 수심 y를 구하면

$$y = 0.35\text{m}$$

이 된다.

여기서, A : 통수단면적(m^2)

n : 조도계수(0.03)

R : 경심(m)

I : 수로기울기(0.001)

따라서, 설계홍수시의 유수단면적, 경심, 유속 등을 구하면 다음과 같다.

$$A = (b + zy)y = (1.7 + 0.6 \times 0.35) \times 0.35 = 0.6685\text{m}^2$$

$$R = \frac{A}{P(\text{윤변})} = \frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}} = \frac{(1.7 + 0.6 \times 0.35) \times 0.35}{1.7 + 2 \times 0.35 \sqrt{1 + 0.6^2}} = 0.2657\text{m}$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{1}{0.03} \cdot \left(\frac{(1.7 + 0.6 \times 0.35) \times 0.35}{1.7 + 2 \times 0.35 \sqrt{1 + 0.6^2}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot 0.001^{\frac{1}{2}}$$

$$= 0.44 \text{ m/s}$$

가 된다.

수로에서의 비에너지를 구하면

$$\text{비에너지(He)} = h_1 + \alpha \frac{V_1^2}{2g} = 0.35 + 1.1 \cdot \frac{0.44^2}{2 \times 9.8} = 0.36 \text{ m}$$

가 된다.

여기서, Q : 유량(m^3/s)

h_1 : 상류수로의 수심(m)

V_1 : 상류수로의 유속(m/s)

g : 중력가속도(9.8 m/s^2)

나. 상류접근수로

유속증가에 의한 수로바닥 및 측벽의 세굴을 방지하기 위하여 확보해야 할 상류접근수로의 길이는 다음 식에 의하여 산출하였다.

$$L = 1.2 + 1.5Q^{\frac{1}{2}} = 1.2 + 1.5\sqrt{0.3} = 2.02 \approx 2 \text{ m}$$

다. 낙차부

1) 월류나비(b)

에너지보정계수(α) = 1.1로 하면

$$Q = 1.62 b \left(h_1 + \alpha \frac{V_1^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$0.3 = 1.62 b \left(0.35 + 1.1 \frac{0.44^2}{2 \times 9.8} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$\therefore b = 0.86\text{m} \approx 0.9\text{m}$$

본 낙차공은 돌망태로 축조되는데, 돌망태는 규격화된 제품으로 시판되기 때문에 시공의 편의상 월류폭을 1.0m로 설계하였다.

2) 물방석의 길이 및 끝턱 높이

접근수로와 낙구사이에서의 마찰손실을 무시하고, 접근수로와 낙구에서의 비에너지가 같은 것으로 하면,

직사각형 수로에서 한계수심 $h_c = \frac{2}{3} H_e$ 이므로

$$h_c = \frac{2}{3} H_e = \frac{2}{3} \times 0.36 = 0.24\text{m}$$

따라서 낙구에서의 비에너지도 0.36m라 하면

$$H_e = h_c + \alpha \frac{V_c^2}{2g} = 0.24 + 1.1 \frac{V_c^2}{2 \times 9.8} = 0.36$$

\therefore 월류부에서의 한계유속 $V_c = 2.6\text{m/s}$

가) 물방석의 길이

낙하수맥의 수평거리는 다음 식으로 구한다.

$$x = V_c \left[\frac{2(h + \frac{h_b}{2})}{g} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$h_b = 0.725h_c$$

식에서, x : 낙하수맥의 수평거리(m)

h_b : brink depth(m)

V_c : 한계유속(m/s)

h : 낙차(m)

h_c : 한계수심

$h_b = 0.725 \times 0.24 = 0.174\text{m}$ 이므로 낙하수맥의 수평거리를 계산하면 다음과 같다.

돌망태는 규격화되어 시판되기 때문에 임의의 규격으로 설치하는 것은 어렵기 때문에 정수지의 끝턱높이를 0.5m로 하는 것으로 하였다.

따라서

$$x = 2.6 \left[\frac{2(0.5 + \frac{0.174}{2})}{9.8} \right]^{\frac{1}{2}} 0.9 \Rightarrow 1.0\text{m}$$

마찬가지로 정수지의 길이도 임의의 길이로 설치할 수 없기 때문에 정수지의 길이를 2m하였다.

즉, $L = 2x = 2 \times 1.0 = 2.0\text{m}$ 가 된다.

이상의 계산결과에 기초하여 그림 4.4.3-1과 같은 돌망태 낙차공을 시공하였다.

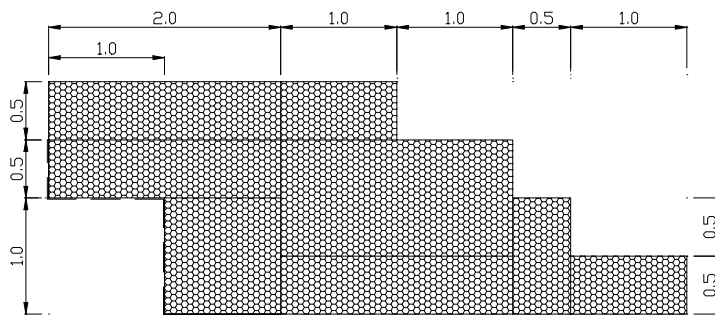


그림 4.4.3-1 돌망태 낙차공 설계도

4. 돌망태 낙차공 시공

기존 낙차공의 제거를 위한 공정 및 물량을 정리하면 다음과 같다.

가. 구조물 헐기

구조물 헐기는 그림 4.4.4-1과 같이 백호우(0.7 m^3)에 브레이커를 장착하여 실시하였는데, 각 단면의 치수는 그림 4.4.4-2와 같다.

- 기존 낙차공의 재질 : 철근콘크리트
- 두께 $t = 0.2\text{m}$



그림 4.4.4-1 구조물 헐기

해체 구조물 각 단면의 제원은 다음과 같다.

1) 단면

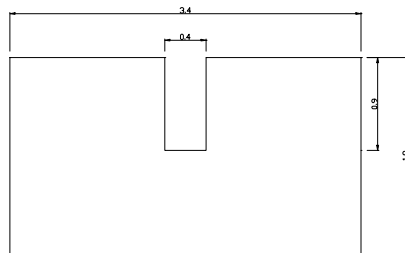


그림 4.4.4-2(a) 탄구단면

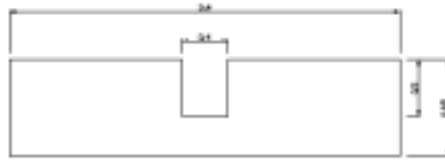


그림 4.4.4-2(b) 토구단면

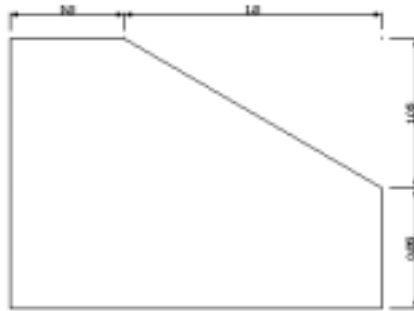


그림 4.4.4-2(c) 벽체단면(좌·우양안)

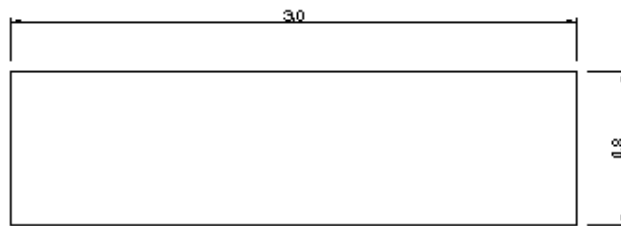


그림 4.4.4-2(d) 바닥

2) 작업량

각 단면별 작업량(부피)을 정리하면 다음 표 4.4.4-1과 같다.

표 4.4.4-1 구조물 헐기 작업량

구 분	작업량(㎡)	산 출 내 역
탄 구	1.22	$(3.4 \times 1.9 \times 0.2) - (0.4 \times 0.9 \times 0.2)$
토 구	0.538	$(3.4 \times 0.85 \times 0.2) - (0.4 \times 0.5 \times 0.2)$
벽체(2개)	1.598	$\{(1.9 \times 2.6 \times 0.2) - (1.8 \times 1.05 \times 0.2 \times 0.5)\} \times 2$
바 닥	0.48	$0.8 \times 3.0 \times 0.2$
계	3.836 ≒ 4	-

나. 폐기물 처리

폐기물은 전문처리 업체에 위탁처리 하였는데, 그 물량은 다음 표 4.4.4-2 와 같다.



그림 4.4.4-3 폐기물 처리

표 4.4.4-2 폐기물 처리량

구 분	폐기물 발생량 (1기당)	낙차공 개수	철근콘크리트 비중	폐기물 처리량
폐기물처리 (철근콘크리트)	4㎡	2기	2.4ton/㎡	19.2ton

다. 기계터파기

구조물 헐기 후 돌망태 낙차공을 축조하기 위하여 터파기를 실시하였다.
터파기 단면은 그림 4.4.4-4, 5와 같다.

1) 단면

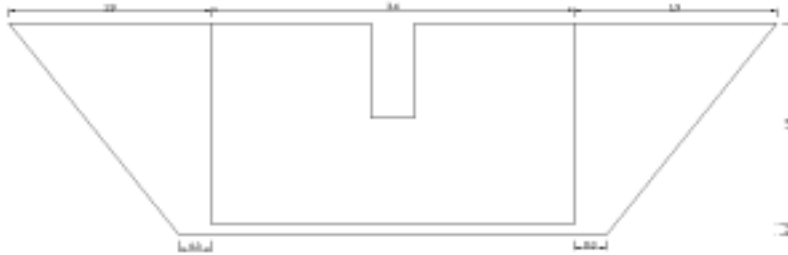


그림 4.4.4-4 총터파기 단면

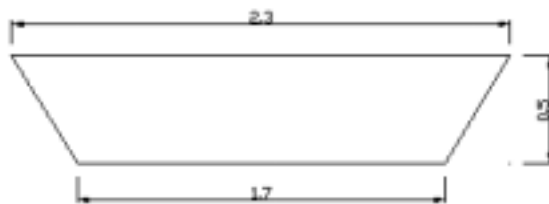


그림 4.4.4-5 기존수로 단면

2) 작업량

터파기 작업은 백호우(0.7m³)를 이용하여 실시하였는데, 터파기 작업량을 산출하면 다음과 같다.

- 터파기 부피

$$A_t = \left\{ (7.2 + 4) \times \frac{1}{2} \right\} \times 2 = 11.2\text{m}^2$$

- 터파기 길이 $\ell = 5.5\text{m}$ 이므로

$$V_t = 11.2 \times 5.5 = 61.6\text{m}^3$$

- 기존 수로의 부피

$$A_c = \left\{ (2.3 + 1.7) \times \frac{1}{2} \right\} \times 0.5 = 1\text{m}^2$$

- 터파기 부분의 수로 길이 $\ell = 5.5\text{m}$ 이므로

$$V_c = 1 \times 5.5 = 5.5\text{m}^3$$

\therefore 터파기 작업량은

$$V_d = V_t - V_c = 61.6 - 5.5 = 56.1\text{m}^3 \times 2(\text{기}) = 112.2\text{m}^3$$



그림 4.4.4-6 기계터파기

라. 돌망태 및 채움돌

1) 돌망태

본 낙차공에 사용한 돌망태는 앞절의 그림 4.3.2-5와 같다.

낙차공 시공에 필요한 돌망태와 채움돌의 양은 다음 표 4.4.4-3과 같다.

현장사정 때문에 2기 모두 낙차고를 설계낙차고 보다 낮게 시공하였는데, 시공이 완료된 돌망태 낙차공의 도면은 부록에 첨부하였다.

시공은 우선 돌망태를 조립(그림 4.4.4-7)한 다음 조립된 돌망태를 터파기한 위치에 설치(그림 4.4.4-8)하고, 돌을 채우(그림 4.4.4-9)는 방식으로 진행한다.

표 4.4.4-3 돌망태 및 채움돌 소요량

규격 (단위:m) (L×B×H)	기당 소요량			낙차공 개수(기)	총 소요량		
	돌망태 소요개수 (개)	돌망태 작업량 (㎡)	자갈 소요량 (㎡)		돌망태 소요개수 (개)	돌망태 작업량 (㎡)	자갈 소요량 (㎡)
2×1×1	3	6	6	2	6	12	12
2×1×0.5	6	12	6	2	12	24	12
2×2×0.5	2	8	4	2	4	16	8
1×1×1	1	1	1	2	2	2	2
1×1×0.5	3	3	1.5	2	6	6	3
합 계	15	30	18.5	2	30	60	37



그림 4.4.4-7 돌망태 조립



그림 4.4.4-8 돌망태 설치

2) 채움돌

채움돌은 직경 100~200mm의 깬돌을 사용하였다. 돌채움은 백호우로 채움돌을 일정량씩 돌망태에 부어주면 돌망태 특수인부가 돌을 견고하게 쌓아가는 방식으로 진행하는데, 그 시공모습은 그림 4.4.4-9와 같다.



그림 4.4.4-9 돌채움

라. 부직포 부설 및 되메움

돌망태에 돌을 채운 다음에는 세굴을 방지하기 위하여 주위에 부직포를 부설하고 되메움을 하는데, 그 시공모습은 그림 4.4.4-10과 같다. 부직포를 부설할 때 본 대상지구와 같이 주위가 논인 경우에는 논으로부터 물이 누수되는 것을 방지하기 위하여 방수부직포를 부설하든가 혹은 부직포와 방수시트를 같이 부설하여야 한다.

이상의 시공과정을 거쳐 완성된 돌망태는 그림 4.4.4-11과 같다.



그림 4.4.4-10 부직포 부설 및 되메움



그림 4.4.4-11 완성된 돌망태 낙차공

5. 현장실험

가. 측정항목 및 위치

낙차공의 에너지 감쇄 특성을 알아보기 위하여 현장실험을 실시하였다. 현장실험의 측정항목으로서는 유향유속, 수위를 측정하였고, 측정위치는 그림

4.4.5-1과 같이 상류접속수로(P1), 낙차공 접근수로(P2), 낙차부(P3), 월류수맥 배면(P4), 월류수맥 전면(P5), 물방석 끝단(P6), 하류접속수로(P7)로 하였다.

유속은 Alec Electromagnetic Current Meter(Model ACM-250)를 사용하였다. 이 전기자장식 유속계는 X, Y 2방향의 유속을 동시에 측정할 수 있기 때문에 정수지 내의 복잡한 유속분포를 Vector 또는 Tensor량으로서 측정할 수 있는 장점이 있다.

수위는 각 측점에 거치대를 설치하고 거치대에 포인트게이지를 설치하여 측정하였다. 수심이 깊은 물방석 내의 수심은 쇠자를 이용하여 측정하였다.

수량은 유량측정용 직사각형수로(폭 1m, 깊이 0.85m, 길이 2m)를 설치하고 유속과 수위를 측정하여 유량공식으로 계산하였다.

또한 낙하수맥의 낙하특성을 살펴보기 위하여 낙하수맥의 수평거리 및 수직거리를 측정하였다.

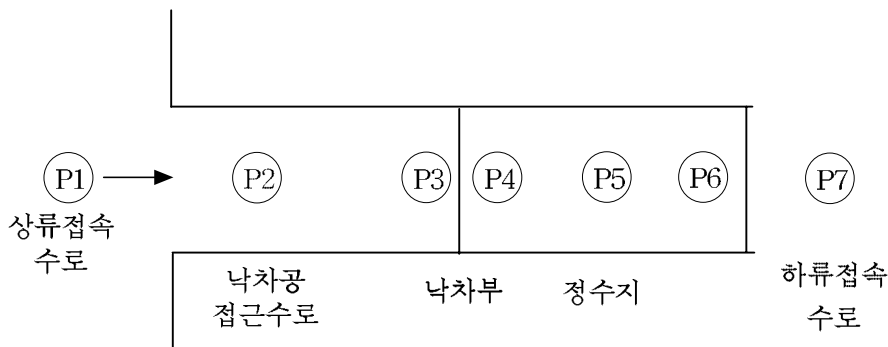


그림 4.4.5-1 유속 및 유량 측정위치

또한 들망태 낙차공의 에너지 감쇄효과를 파악하기 위하여 각 측점에 대한 에너지 수두를 구하여 비교하였다. 에너지수두는 하류접속수로의 바닥을 기

준으로 다음 식(4.4.5-1)에 적용하여 구하였다.

$$EL_i + H_i + \alpha \frac{V_i^2}{2g} \text{-----}(4.4.5-1)$$

여기서, EL_i : 하류바닥을 기준으로 한 측정점 i 의 바닥표고(cm)

H_i : 각 측정점의 수심(cm ; 그림 4.4.5-2 참조)

α : 에너지보정계수

V_i : 측정점 i 의 평균유속(cm/s)

g : 중력가속도($=980\text{cm/s}^2$)

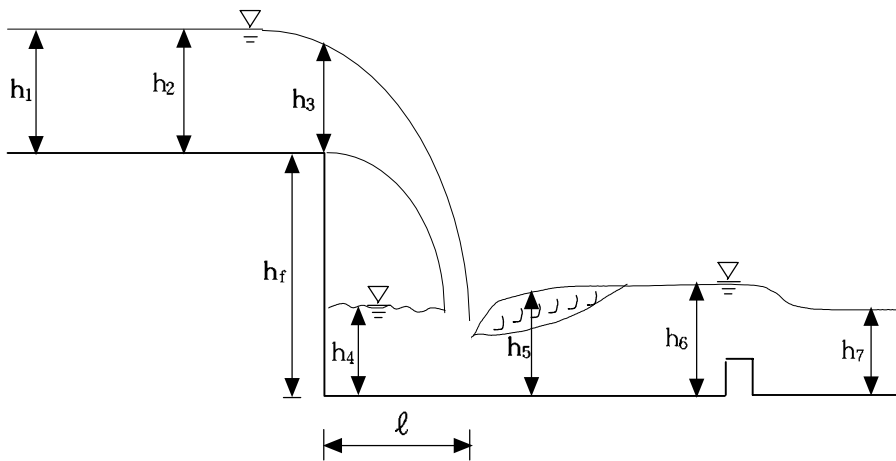


그림 4.4.5-2 각 측정점 및 기호

물방석에서의 수리특성을 조사하기 위하여 낙하수맥 배면(P4), 낙하수맥 전면(P5), 물방석 끝단(P6)의 좌안, 우안, 중앙부분에서 유향유속 및 수심을 측정하였다. 특히 유향유속의 변화가 심한 낙하수맥 전면(P5)과 물방석 끝단(P6)에서는 수면으로부터 5cm 간격으로 내려가면서 유향유속을 측정하였다.

나. 결과 및 고찰

돌망태 낙차공의 수리특성을 살펴보기 위하여 여러 가지 유량(Q)에 대하여 현장실험을 실시하였다. 돌망태 낙차공 설치 이후 설계유량에 이를 정도의 호우가 내린 적이 없었기 때문에 설계홍수에 대한 현장실험을 실시하지 못했다. 따라서 진위간선에서 대상수로로 유입하는 토관 앞에 설치한 수문의 개도로 유량을 조절하였는데, 본 현장실험에서는 $0.02 \sim 0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ 사이의 유량에 대하여 실험을 실시하였다.

1) 예비실험

전체적인 에너지 변화 및 수리특성을 파악하기 위하여 예비실험으로서 $0.033 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.048 \text{ m}^3/\text{s}$ 의 유량에 대하여 현장실험을 실시하였는데, 그 결과는 표 4.4.5-1, 그림 4.4.5-2와 같았다.

상류수로, 접속수로, 낙차부, 하류수로의 단면이 서로 다르기 때문에 유속이나 수위를 직접비교하는 것은 무의미 할 수 있으나, 전체적인 경향을 파악하는 데에는 도움이 될 것으로 판단된다.

가) 수위 및 유속 변화

유량(Q)이 $0.033 \text{ m}^3/\text{s}$ 인 경우 유속은 상류로부터 29.1, 36.9, 56.6, 10.6 cm/s로서 상류수로부터 낙차부까지는 유속이 점점 증가하다가 하류수로에서는 감소되는 경향을 보였다. 낙차부에서 낙하하여 유수가 물방석에 부딪히면서 유속이 감쇄되어 하류수로에서는 10.6cm/s로 감소되었다. 이에 비하여 수심은 18.1, 13.6, 6.5, 33.0cm로 변화되었다. 수심은 유속과 반대로 상류수로에서 낙구까지는 감소되는 경향을 보이다가 하류수로에서는 다시 증가되는 경향을 보였다.

유량이 $0.048 \text{ m}^3/\text{s}$ 인 경우도 유속과 수심의 분포는 유량이 $0.033 \text{ m}^3/\text{s}$ 인 경우와 비슷한 경향을 보였다. 유속은 상류로부터 30.9, 35.5, 65.9, 13.3cm/s

로서 상류수로부터 낙차부까지는 유속이 점점 증가하다가 하류수로에서는 감소되는 경향을 보였다. 낙차부에서 낙하하여 유수가 물방석에 부딪히면서 유속이 감쇄되어 하류수로에서 유속이 감소되었다. 이에 비하여 수심은 19.7, 14.7, 7.3, 37.0cm로 변화되었다. 수심은 유속과 반대로 상류수로에서 낙구까지는 감소되는 경향을 보이다가 하류수로에서는 다시 증가되는 경향을 보였다.

나) 에너지 변화

에너지는 상류수로, 접근수로, 낙차부, 하류수로로 가면서 감소되고 있는 것을 알 수 있다. 유량이 $0.033\text{m}^3/\text{s}$ 인 경우 상류수로에서 에너지가 119.5cm였는데, 접근수로에서 94.3cm로 낮아지고, 낙차부에서 88.1cm, 하류수로에서 33.0cm로 낮아졌다. 또한 $0.048\text{m}^3/\text{s}$ 의 유량에 대해서는 각각 121.2, 95.4, 89.5, 37.1cm를 나타내 마찬가지로 하류로 유하하면서 에너지가 소실되고 있는 것을 알 수 있다. 유량에 따른 각 측정에서의 에너지는 유량이 $0.048\text{m}^3/\text{s}$ 인 경우가 $0.033\text{m}^3/\text{s}$ 인 경우보다 다소 높게 나타났다. 상류수로에서 접근수로로 유하하면서 에너지가 감소된 것은 상류수로와 접근수로의 접속부에서 단면이 급속히 줄어들기 때문에 생기는 급속손실과 돌망태 채움돌의 조도계수가 크기 때문에 물과의 마찰에 의해서 생기는 마찰손실이 주원인인 것으로 판단된다. 접근수로와 낙차부사이에서의 에너지 손실은 주로 마찰손실에 기인하는 것으로 판단된다. 낙차부와 하류수로 사이에서의 에너지 손실은 물방석에서 월류수맥이 물방석에 돌입하면서 감쇄된 것으로 판단된다.

다) Froude수의 변화

Fr수의 변화를 살펴보면 모든 측정에서 1보다 작아 상류상태를 유지하고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 본 예비실험에서는 낙차부의 낙구에서 유속과 수위를 측정하지 않았기 때문에 정확

한 분석은 어려우므로 뒤에 기술하는 바와 같이 보다 정밀한 분석을 위한 본실험을 실시하였다.

표 4.4.5-1 전에너지 변화(예비실험)

유량(m^3/s)	측점	유속(cm/s)	수위(cm)	전에너지	Fr수
0.034	P1	29.1	18.1	119.5	0.22
	P2	36.9	13.6	94.3	0.32
	P3	56.6	6.5	88.1	0.71
	P7	10.6	33.0	33.0	0.06
0.048	P1	30.9	19.7	121.2	0.22
	P2	35.5	14.7	95.4	0.30
	P3	65.9	7.3	89.5	0.78
	P7	13.3	37.0	37.1	0.07

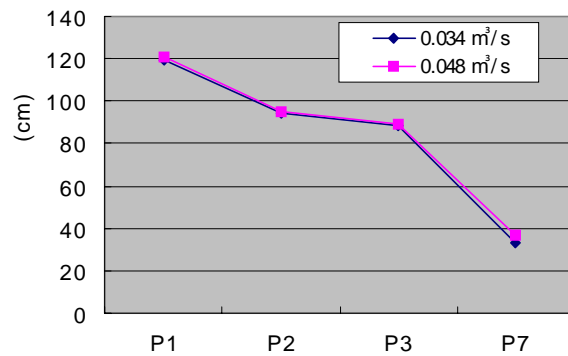


그림 4.4.5-3 전에너지의 변화

라) 낙하수맥

낙하수맥의 비거리는 그림 4.4.5-4와 같이 유량이 0.048m³/s인 경우 낙구로부터의 낙하고 5, 15, 25cm에 대하여 낙하수맥의 비거리는 각각 11.9, 18.8, 25.5cm로 증가하였다. 또한 유량이 0.034m³/s인 경우는 낙구로부터의 낙하고 5, 15, 25cm에 대하여 낙하수맥의 비거리는 각각 10.0, 19.3, 24.8cm를 나타냈다. 이와 같이 낙하수맥의 비거리는 유량이 0.048m³/s인 경우 최대 25.5cm이고, 유량이 0.034m³/s인 경우는 최대 24.8cm로서 유량이 많은 0.048m³/s인 경우가 낙하수맥의 비거리가 큰 것으로 나타났다.

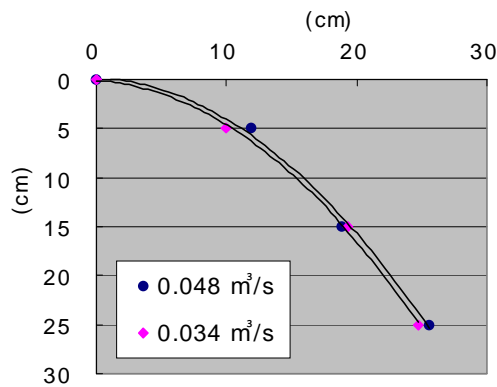


그림 4.4.5-4 낙하수맥의 비거리

마) 물방석의 수리특성

물방석의 수리특성을 파악하기 위하여 월류수맥 배면(P4), 물방석 중류부(P5), 물방석 하류부(P6)의 유향유속 및 수심을 측정하였다.

월류수맥 배면의 유속은 유량이 0.034m³/s인 경우 표 4.4.5-2와 같이 4.1~12.2cm/s의 유속분포를 나타냈고, 유량이 0.048m³/s인 경우는 표 4.4.5-2와 같이 2.2~12.5cm/s의 분포를 나타냈다. 이와 같이 유속 및 유향

이 일정한 경향을 나타내지는 않았지만 전체적으로 월류수맥 전면에 비해 비교적 안정된 경향을 나타냈다.

유량이 적고 낙구폭과 하류 물방석 측벽의 치수가 같은 경우 낙하수맥 배면에는 공기의 유통이 어렵게 되어 낙하수맥 내측의 압력이 대기압 보다 저하되어 수맥이 낙하수직벽 쪽으로 붙어버리거나 떨어지는 현상이 발생한다. 이 때문에 하류수로의 흐름이 변동류가 되어 예측하지 못한 재해가 발생할 수 있다. 이를 방지할 목적으로 하류수맥 배면에 공기를 공급하기 위한 공기구멍을 설치하는 경우가 있다. 그러나 돌망태 낙차공의 경우는 채움돌 사이의 공극을 통해 자연적으로 낙하수맥 배면에 공기가 충분히 공급되기 때문에 공기공급을 위한 장치를 설치할 필요가 없다는 장점이 있다.

표 4.4.5-2 월류수맥 배면의 유향유속 (예비실험)

수직위치	유향	유량(Q) : 0.034m ³ /s			유량(Q) : 0.048m ³ /s		
		유속 (cm/s)			유속 (cm/s)		
		우안	중앙	좌안	우안	중앙	좌안
수면	X	1	7	5	6	2	-2
	Y	11	10	6	11	4	10
중간	X	2	2	7	5	1	0
	Y	6	4	-6	10	2	7
바닥	X	1	10	4	7	1	1
	Y	4	3	6	-3	5	3

물방석 종류부와 하류부의 유향유속은 표 4.4.5-3, 4와 같았다.

유량이 0.034m³/s인 경우 그림 4.4.5-5와 같이 수면부근인 수심 5cm에서 우안, 중앙, 좌안의 유속이 각각 25.1, 33.5, 30.4cm/s로 수심별 유속 중에서 가장 빨랐고, 수심이 깊어질수록 유속이 감소되는 경향을 보였다. 평면적으로 볼 때 수면부근에서는 중앙부분의 유속이 33.5cm/s로서 좌·우안에

비해 빠른 경향을 나타냈으나, 깊은 수심에서는 일정한 경향을 보이지 않았다. 물방석 하류부에서도 그림 4.4.5-6과 같이 수심 5cm 부근에서 우안, 중앙, 좌안의 유속이 각각 32.1, 21.5, 21.5cm/s로서 수면부근의 유속이 가장 빠른 경향을 보였다.

표 4.4.5-3 물방석의 유향유속(Q = 0.034m³/s)

수심 (cm)	유향	물방석 중류			물방석 하류		
		우안	중앙	좌안	우안	중앙	좌안
5	X	2	-30	5	2	-8	-8
	Y	25	15	30	32	20	20
10	X	0	-10	10	2	-4	10
	Y	15	25	20	20	10	10
15	X	0	-5	10	0	-2	6
	Y	20	15	10	24	1	6
20	X	0	0	10	0	-2	-4
	Y	15	10	10	21	0	4
25	X	1	0	5	-4	0	-1
	Y	12	15	10	18	0	2
30	X	-2	5	0	-4	2	2
	Y	10	15	15	14	0	6
35	X	0	0	1	-1	-1	2
	Y	10	0	6	12	0	12
40	X	-5	0	1	-2	2	2
	Y	20	15	9	10	3	10
45	X	2	2	0	-3	2	5
	Y	0	8	9	10	1	6
50	X	0	0	2	-6	-1	6
	Y	0	12	1	4	1	7

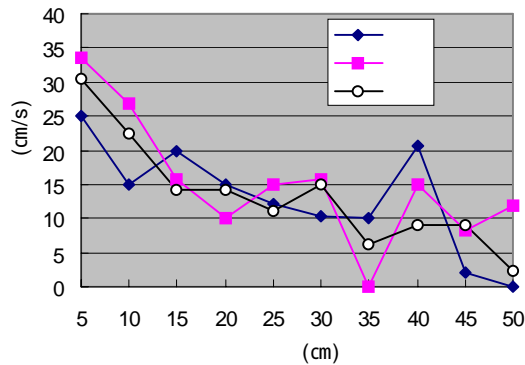


그림 4.4.5-5 물방석 중류부의 유속변화($Q = 0.034\text{m}^3/\text{s}$)

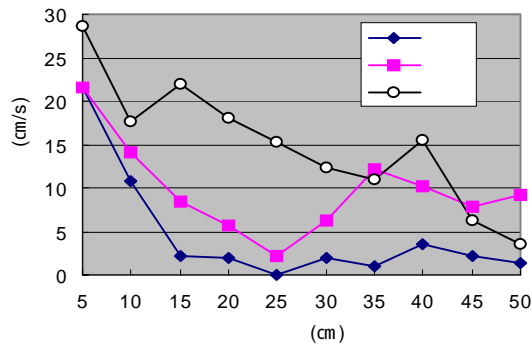


그림 4.4.5-6 물방석 하류부의 유속변화($Q = 0.034\text{m}^3/\text{s}$)

유량이 $0.048\text{m}^3/\text{s}$ 인 경우 그림 4.4.5-7과 같이 일정한 경향을 보이지는 않았으나, 전체적으로 볼 때 수면부근인 수심 5cm에서 우안, 중앙, 좌안의 유속이 각각 25.5, 25.0, 25.1cm/s로 빠른 유속을 보였고, 수심이 깊어질수록 유속이 감소되는 경향을 보였다. 평면적으로는 대부분 중앙부분의 유속이 좌·우안에 비해 빠른 경향을 보였다. 물방석 하류부에서도 그림 4.4.5-8과 같이 수심 5cm 부근에서 우안, 중앙, 좌안의 유속이 각각 33.0, 29.0,

22.0cm/s로서 수면부근의 유속이 가장 빠르고 수심이 깊어질 수록 감소하는 경향을 보였다.

표 4.4.5-4 물방석의 유향유속(Q = 0.048m³/s)

수심 (cm)	유향	물방석 종류			물방석 하류		
		좌안	중앙	우안	좌안	중앙	우안
5	X	5	20	-2	1	0	-1
	Y	25	15	25	33	29	22
10	X	0	5	-10	-1	-2	-2
	Y	15	20	20	30	10	12
15	X	3	5	-3	1	-3	-4
	Y	11	20	15	20	14	4
20	X	5	-2	-2	1	-3	-1
	Y	10	27	10	22	2	10
25	X	5	5	0	-2	-2	-1
	Y	15	22	0	10	2	6
30	X	3	5	5	4	2	1
	Y	10	30	5	6	2	9
35	X	5	5	5	-2	1	1
	Y	5	25	0	3	1	5
40	X	5	8	0	3	3	5
	Y	14	20	0	-2	3	9
45	X	5	2	0	3	1	7
	Y	20	20	0	-1	1	11
50	X	4	5	0	3	3	10
	Y	10	7	-1	1	-1	10

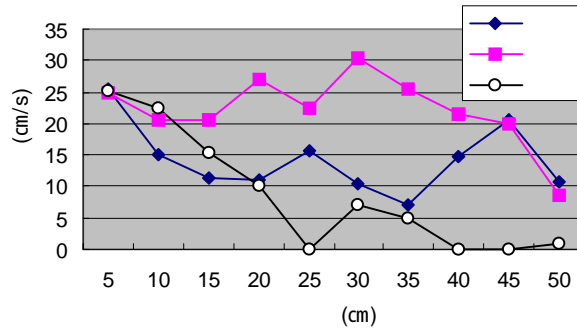


그림 4.4.5-7 물방석 하류부의 유속변화($Q = 0.048\text{m}^3/\text{s}$)

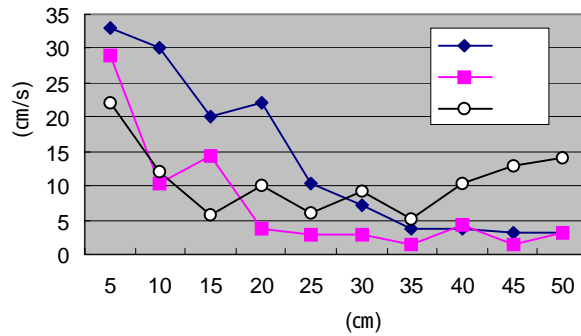


그림 4.4.5-8 물방석 하류부의 유속변화($Q = 0.048\text{m}^3/\text{s}$)

2) 본 실험

예비실험 결과를 토대로 돌망태 낙차공의 에너지 변화 및 수리특성을 파악하기 위하여 $0.020\text{m}^3/\text{s}$, $0.038\text{m}^3/\text{s}$, $0.050\text{m}^3/\text{s}$ 의 유량에 대하여 현장실험을 실시하였다.

가) 수위 및 유속 변화

유량(Q)이 $0.020\text{m}^3/\text{s}$ 인 경우 유속은 상류로부터 그림 4.4.5-9와 같이

17.7, 22.8, 67.4, 7.2cm/s로서 상류수로부터 낙차부까지는 유속이 점점 증가하여 낙구에서 최대가 된 후 하류수로에서는 감소되는 경향을 보였다. 낙차부에서 낙하하여 유수가 물방석에 부딪히면서 유속이 감쇄되어 하류수로에서는 7.2cm/s로 감소되었다. 이에 비하여 수위는 그림 4.4.5-10과 같이 19.5, 12.4, 4.0, 29.4cm로 변화되었다. 이와 같이 수심은 유속과 반대로 상류수로에서 낙구까지는 감소되는 경향을 보이다가 하류수로에서는 다시 증가되는 경향을 보였다.

유량이 0.038 m³/s인 경우도 유속은 상류로부터 25.6, 32.0, 130.6, 10.7 cm/s로서 상류수로부터 낙차부까지는 유속이 점점 증가하다가 하류수로에서는 감소되는 경향을 보였다. 수심은 22.4, 15.2, 4.7, 36.5cm로 변화되어 유속과 반대로 상류수로에서 낙구까지는 감소되는 경향을 보이다가 하류수로에서는 다시 증가되는 경향을 보였다.

유량이 0.050 m³/s인 경우도 유속은 상류로부터 31.0, 43.3, 136.6, 12.4 cm/s로서 상류수로부터 낙차부까지는 유속이 점점 증가하다가 하류수로에서는 감소되는 경향을 보였다. 수심은 23.7, 16.5, 5.3, 41.9cm로 변화되어 유속과 반대로 상류수로에서 낙구까지는 감소되는 경향을 보이다가 하류수로에서는 다시 증가되는 경향을 보였다.

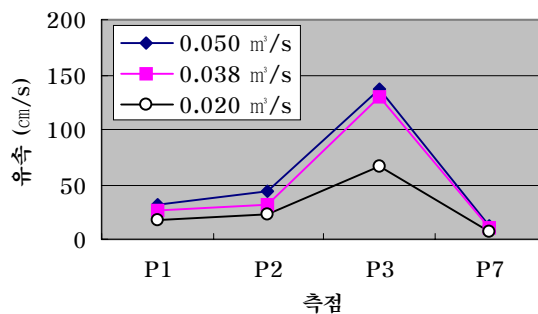


그림 4.4.5-9 유속의 변화

표 4.4.5-5 에너지 변화(본실험)

유 량 (m^3/s)	측점	유 속 (cm/s)	수 위 (cm)	전에너지 (cm)	Fr수
0.020	P1	17.7	19.5	120.7	0.13
	P2	22.8	12.4	92.7	0.21
	P3	67.4	4.0	86.4	1.07
	P7	7.2	29.4	29.4	0.04
0.038	P1	25.6	22.4	123.8	0.17
	P2	32.0	15.2	95.7	0.26
	P3	130.6	4.7	93.4	1.93
	P7	10.7	36.5	36.6	0.06
0.050	P1	31.0	23.7	125.2	0.20
	P2	43.3	16.5	97.4	0.34
	P3	136.6	5.3	94.9	1.90
	P7	12.4	41.9	41.9	0.06

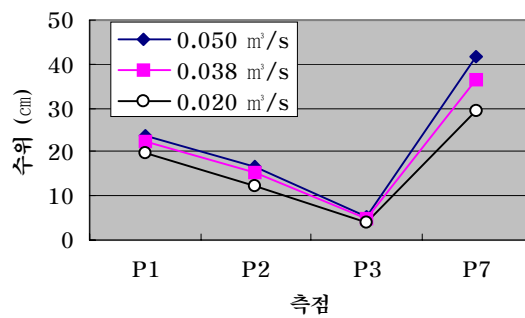


그림 4.4.5-10 수위의 변화

나) 에너지 변화

(1) 비에너지

비에너지는 표 4.4.5-6과 같이 접근수로에서는 유량 0.020, 0.038, 0.050 m³/s에 대하여 각각 12.7, 15.7, 17.4cm였고, 낙구에서는 각각 6.4, 13.4, 14.9cm였다. 낙차공을 설계할 때에는 상류유속이 필요이상으로 증가되어 상류수로가 세굴되는 것을 방지하기 위하여 상류수로의 비에너지와 낙구의 비에너지가 같게 낙구를 설계한다. 본 실험에서는 상류수로와 낙구의 비에너지가 달랐다. 이는 본 낙차공의 낙구는 설계유량을 대상으로 설계하였으나, 실험유량은 이 설계유량보다 작기 때문에 두 지점의 비에너지가 다르게 나타난 것으로 판단된다.

표 4.4.5-6 비에너지 변화

유 량 (m ³ /s)	0.020		0.038		0.050	
측 점	P2	P3	P2	P3	P2	P3
비에너지 (cm)	12.7	6.4	15.7	13.4	17.4	14.9

(2) 전에너지

전에너지는 그림 4.4.5-11과 같이 상류수로, 접근수로, 낙차부, 하류수로로 가면서 감소되고 있는 것을 알 수 있다.

유량이 0.020m³/s인 경우 상류수로에서 전에너지가 120.7cm였는데, 접근수로에서 92.7cm로 낮아지고, 낙차부에서 86.4cm로, 하류수로에서 29.4cm로 낮아졌다.

유량이 0.038m³/s인 경우에도 각각 123.8, 95.7, 93.4, 36.6cm를 나타내 마찬가지로 하류로 유하하면서 전에너지가 소실되고 있는 것을 알 수 있다.

유량이 0.050m³/s인 경우에도 각각 125.2, 97.4, 94.9, 41.9cm를 나타내 위의 경우와 마찬가지로 하류로 유하하면서 전에너지가 소실되고 있는 것을 알 수 있다.

유량에 따른 각 측정에서의 전에너지는 유량이 많을 수록 다소 높게 나타났다. 상류수로에서 접근수로로 유하하면서 전에너지가 감소된 것은 상류수로와 접근수로의 접속부에서 단면이 급속히 줄어들기 때문에 생기는 급축손실과 돌망태 채움돌의 조도계수가 크기 때문에 물과의 마찰에 의해서 생기는 마찰손실이 주 원인인 것으로 판단된다. 접근수로와 낙차부 사이에서의 에너지 손실은 주로 마찰손실에 기인하는 것으로 판단된다. 낙차부와 하류수로 사이에서의 전에너지 손실은 물방석에서 월류수맥이 물방석에 돌입하면서 감쇄된 것으로 판단된다.

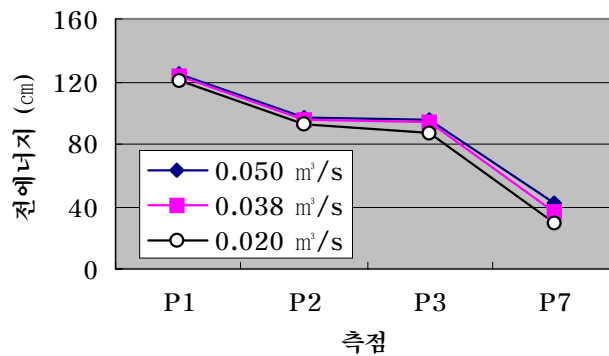


그림 4.4.5-11 전에너지의 변화

다) Froude수 변화

Fr수는 3가지 유량 모두 상류수로, 접근수로, 하류수로에서 1보다 작아 상류상태를 나타냈다. 그러나 낙구에서는 그림 4.4.5-12와 같이 유량 0.020, 0.038, 0.050 m³/s에 대하여 각각 1.07, 1.93, 1.90을 나타내 사류상태를 나타냈다. 낙차공을 설계할 때 낙차공 상류유속이 필요이상으로 증가되는 것을 방지하기 위하여 상류등류수로의 비에너지와 낙구의 비에너지가 같도록 하는 것이 일반적이다. 이 때 낙구위에서 한계수심이 생기며 상류에서 사류

로 변하는 지배단면이 생기게 된다. 그러나 본 실험에서는 3가지 유량 모두 낙구 상류부에서 지배단면이 생겼다. 이는 실험유량이 설계유량보다 작기 때문인 것으로 판단된다.

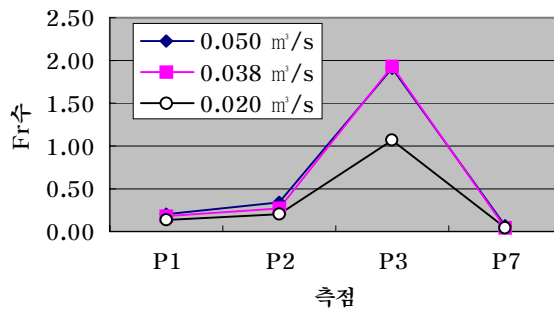


그림 4.4.5-12 Fr수의 변화

라) 낙하수맥

낙하수맥의 비거리는 그림 4.4.5-13과 같이 유량이 0.050m³/s인 경우는 낙구로부터의 낙하고 10, 20, 30cm에 대하여 낙하수맥의 비거리는 각각 13.9, 18.4, 23.4cm를 나타냈다. 유량이 0.038m³/s인 경우는 낙구로부터의 낙하고 10, 20, 30, 40cm에 대하여 낙하수맥의 비거리는 각각 12.4, 17.6, 22.2, 24.5cm를 나타냈다. 유량이 0.020m³/s인 경우는 낙구로부터의 낙하고 10, 20, 30, 40cm에 대하여 낙하수맥의 비거리는 각각 10.8, 15.7, 18.4, 23.6cm로 증가하였다. 이와 같이 같은 낙하고에 대하여 유량이 많을수록 비거리는 증가하는 경향을 보였다. 따라서 0.050m³/s로서 유량이 가장 많은 경우가 같은 낙하고에 대한 비거리가 가장 크게 나타났다.

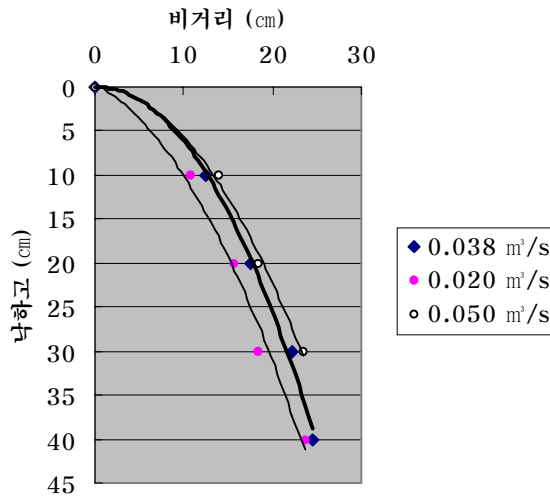


그림 4.4.5-13 낙하수맥의 비거리

마) 물방석의 수리특성

물방석의 수리특성을 파악하기 위하여 월류수맥 배면(P4), 물방석 중류부(P5), 물방석 하류부(P6)의 유량유속 및 수심을 측정하였다.

월류수맥 배면의 유속은 일정한 경향을 보이지 않았지만 물방석 중류부나 하류부 보다는 유속의 변화가 심하지 않은 경향을 보였다. 유량이 0.020m³/s인 경우 유속은 4.5~12.2cm/s를 나타내 월류수맥 배면이 다른 부분에서 보다 낮은 유속을 나타냈다. 이는 낙하수맥으로 인하여 낙하수맥 배면에는 흐름이 제대로 형성되지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 유량이 0.038m³/s인 경우는 2.2~14.1cm/s, 유량이 0.050m³/s인 경우는 2.8~12.0cm/s를 나타내 유량이 0.020m³/s인 경우와 마찬가지로 다른 부분에 비해 낮은 유속분포를 나타냈다. 유량이 적고 낙구폭과 하류 물방석 측벽의 치수가 같은 경우 낙하수맥 배면에는 공기의 유통이 어렵게 되어 낙하수맥 내측의 압력이 대기압 보다 저하되어 수맥이 낙하수직벽 쪽으로 붙어버리거나 떨어지는 현

상이 발생한다. 이 때문에 하류수로의 흐름이 변동류가 되어 예측하지 못한 재해가 발생할 수 있다. 이를 방지할 목적으로 하류수맥 배면에 공기를 공급하기 위한 공기구멍을 설치하는 경우가 있다. 그러나 들팡태 낙차공의 경우는 채움돌 사이의 공극을 통해 자연적으로 낙하수맥 배면에 공기가 충분히 공급되기 때문에 공기공급을 위한 별도의 장치를 설치할 필요가 없다는 장점이 있다.

표 4.4.5-7 월류수맥 배면의 유향유속 (단위 : cm/s)

수직 위치	유향	유량(Q):0.020m ³ /s			유량(Q):0.038m ³ /s			유량(Q):0.050m ³ /s		
		우안	중앙	좌안	우안	중앙	좌안	우안	중앙	좌안
수면	X	2	8	10	10	10	10	5	10	12
	Y	5	3	-7	10	10	10	-5	1	0
중간	X	2	-4	7	1	4	5	6	5	8
	Y	4	6	-9	2	1	0	2	1	-6
바닥	X	2	5	10	3	3	-8	-2	4	5
	Y	-6	1	-3	3	3	6	2	4	-10

물방석 중류부와 하류부의 유향유속은 표 4.4.5-8~10과 같았다.

유량이 0.020m³/s인 경우 그림 4.4.5-14와 같이 수심별로 볼 때 수면부근인 수심 5cm에서 우안, 중앙, 좌안 모두 유속이 각각 35.2, 31.6, 22.4cm/s로서 가장 빨랐다. 표면부터 수심 20cm까지는 비교적 빠르게 유속이 감소되고, 수심 20cm 이상의 깊이에서는 큰 변화가 없었다. 물방석 하류부에서도 그림 4.4.5-15와 같이 수심 5cm 부근에서 우안, 중앙, 좌안의 유속이 각각 22.4, 12.4, 10.2cm/s로서 수면부근의 유속이 가장 빠른 경향을 보였다. 수심이 깊어질수록 유속이 감소되는 경향을 보였으나, 수심 25cm 이후에는 그 감소율이 작게 나타났다.

표 4.4.5-8 물방석의 유향유속(Q = 0.020m³/s)

수심 (cm)	유향	물방석 종류			물방석 하류		
		우안	중앙	좌안	우안	중앙	좌안
5	X	20	-10	10	4	-3	-2
	Y	29	30	20	22	12	10
10	X	10	-10	10	5	-2	-2
	Y	20	20	20	18	2	12
15	X	10	-3	10	5	-1	1
	Y	13	11	10	19	-4	12
20	X	10	-5	0	4	0	-1
	Y	4	-1	13	13	-6	10
25	X	10	-9	1	2	-1	2
	Y	4	4	10	9	-6	9
30	X	5	-5	0	4	2	5
	Y	0	-10	10	4	-2	8
35	X	2	-1	1	5	4	5
	Y	-5	-10	10	5	-4	6
40	X	1	0	1	0	5	4
	Y	-10	-10	5	5	-3	5
45	X	0	1	1	0	0	5
	Y	-10	-6	1	5	-4	4
50	X	0	5	0	-2	2	5
	Y	-9	-8	0	2	-6	3
55	X	0	5	0	-2	2	2
	Y	-5	-6	-10	2	-3	0

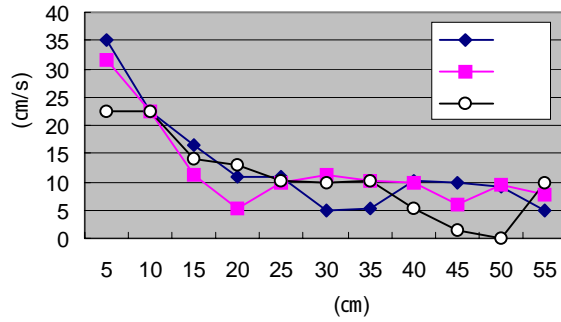


그림 4.4.5-14 물방석 중류부의 유속변화($Q = 0.020\text{m}^3/\text{s}$)

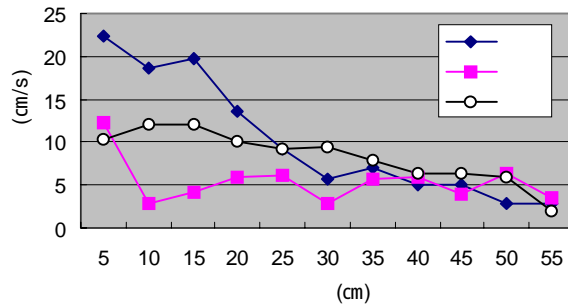
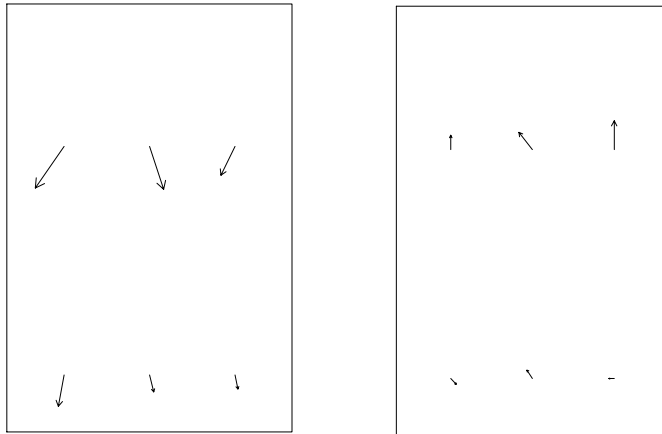


그림 4.4.5-15 물방석 하류부의 유속변화($Q = 0.020\text{m}^3/\text{s}$)

수심별 유향유속은 그림 4.4.5-16과 같이 표면에서는 하류로 향하여 빠른 유속으로 유하하고, 물방석 턱 부근에서는 유속이 감쇄되는 경향을 보였다. 수심이 깊어질수록 와류가 발생하여 바다부근에서는 유향이 일정한 경향을 보이지 않았다. 이는 수면부근에서는 물에 의한 저항이 작은 반면 수심이 깊어질수록 물의 저항이 커지기 때문으로 판단된다.



(a) 수면 부근 (b) 바닥 부근
 그림 4.4.5-16 물방석의 유향유속($Q=0.02\text{m}^3/\text{s}$)

유량이 $0.038\text{m}^3/\text{s}$ 인 경우 그림 4.4.5-17과 같이 일정한 경향을 보이지는 않았으나, 전체적으로 볼 때 수면부근인 수심 5cm에서 우안, 좌안의 유속은 각각 30.0, 20.4, 20.2cm/s로 가장 빠른 유속을 나타냈고, 수심이 깊어질수록 서서히 유속이 감소되는 경향을 보였다. 중앙부의 경우는 수심 5cm 지점의 유속이 20.4cm/s로서 수심 25, 30cm 지점보다 다소 유속이 느리기는 하였으나, 그 외 다른 지점보다는 빠른 유속을 보여 표면부근에서의 유속이 크고, 수심이 깊어질수록 유속이 감소되는 경향을 보였다. 물방석 하류부에서도 그림 4.4.5-18과 같이 수심 5cm 부근에서 우안, 중앙, 좌안의 유속이 각각 30.1, 25.0, 20.1cm/s로서 수면부근의 유속이 가장 빠르고 수심이 깊어질수록 감소하는 경향을 보였다.

수심별 유향유속은 그림 4.4.5-19와 같이 표면에서는 하류로 향하여 빠른 유속으로 유하하고, 물방석 턱 부근에서는 유속이 감쇄되는 경향을 보였다. 수심이 깊어질수록 와류가 발생하여 바닥부근에서는 유향이 일정한 경향을 보이지 않았다.

표 4.4.5-9 물방석의 유향유속(Q = 0.038m³/s)

수심 (cm)	유향	물방석 종류			물방석 하류		
		우안	중앙	좌안	우안	중앙	좌안
5	X	0	-4	3	3	-1	-2
	Y	30	20	20	30	25	20
10	X	10	-2	2	2	2	-1
	Y	20	15	10	22	10	16
15	X	15	0	3	5	1	0
	Y	14	15	15	15	6	14
20	X	5	0	5	2	-2	2
	Y	10	10	5	12	-2	12
25	X	5	9	10	2	0	1
	Y	16	20	10	10	-2	13
30	X	2	10	5	2	0	0
	Y	15	20	5	-2	0	7
35	X	0	10	5	3	1	2
	Y	18	13	10	-3	-1	5
40	X	1	5	5	0	2	5
	Y	15	6	9	1	0	7
45	X	1	5	5	2	6	5
	Y	10	2	10	-4	0	4
50	X	-1	1	5	3	7	7
	Y	3	-1	5	-6	-1	5
55	X	5	5	2	0	6	10
	Y	1	0	9	-6	2	1
60	X	2	1	0	6	-	-
	Y	-5	-1	-5	-1	-	-

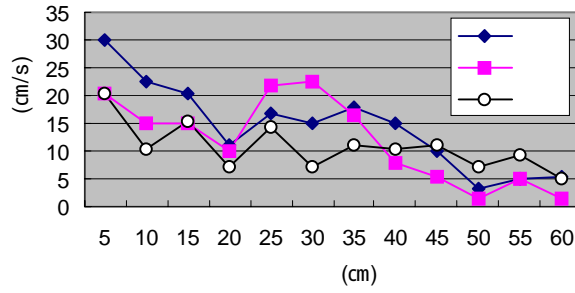


그림 4.4.5-17 물방석 하류부의 유속변화($Q = 0.038 \text{ m}^3/\text{s}$)

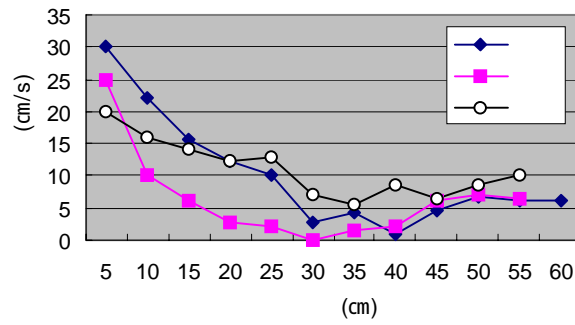


그림 4.4.5-18 물방석 하류부의 유속변화($Q = 0.038 \text{ m}^3/\text{s}$)

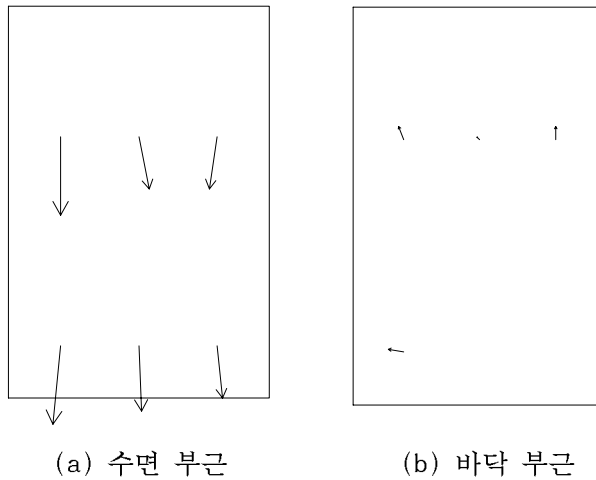


그림 4.4.5-19 물방석의 유향유속($Q=0.038 \text{ m}^3/\text{s}$)

유량이 $0.050\text{m}^3/\text{s}$ 인 경우 그림 4.4.5-20과 같이 전체적으로 볼 때 수면부근인 수심 5cm에서 우안, 중앙, 좌안의 유속이 각각 35.2, 31.6, 22.4cm/s로서 수심별로 볼 때 가장 빠른 유속을 보였고, 수심이 깊어질수록 유속이 감소되는 경향을 보였다. 수심 20cm까지는 비교적 큰 비율로 유속이 감소되고, 수심 20cm 이후에는 거의 비슷한 경향을 보였다. 물방석 하류부에서도 그림 4.4.5-21과 같이 수심 5cm 부근에서 우안, 중앙, 좌안의 유속이 각각 22.4, 12.4, 10.2cm/s로서 수면부근의 유속이 가장 빠르고 수심이 깊어질수록 감소하는 경향을 보였다.

수심별 유향유속은 그림 4.4.5-22와 같이 표면에서는 하류로 향하여 빠른 유속으로 유하하는 경향을 보였으나, 표면에서도 심한 난류가 발생하여 다른 유량에 비해서 유향의 변화가 심하였다. 바닥부근에서도 와류가 발생하여 유향이 일정한 경향을 보이지 않았다.

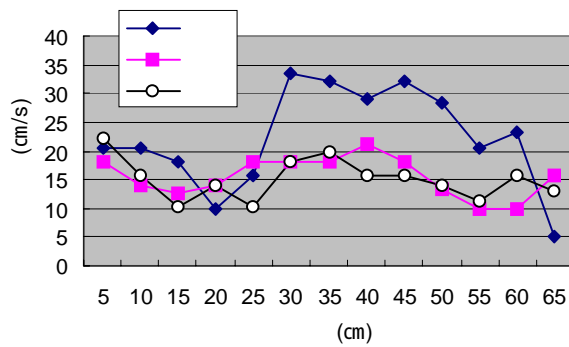


그림 4.4.5-20 물방석 하류부의 유속변화($Q = 0.050\text{m}^3/\text{s}$)

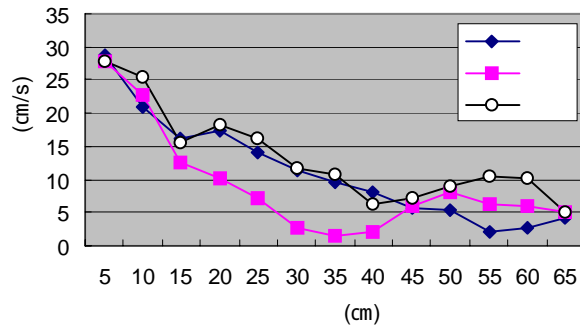
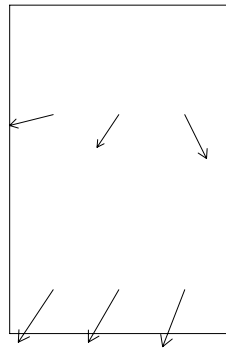


그림 4.4.5-21 물방석 하류부의 유속변화($Q = 0.050 \text{ m}^3/\text{s}$)



(a) 수면 부근



(b) 바닥 부근

그림 4.4.5-22 물방석의 유향유속($Q=0.05 \text{ m}^3/\text{s}$)

표 4.4.5-10 물방석의 유향유속(Q = 0.050m³/s)

수심 (cm)	유향	물방석 종류			물방석 하류		
		우안	중앙	좌안	우안	중앙	좌안
5	X	20	10	-10	16	14	10
	Y	5	15	20	24	24	26
10	X	20	10	-5	12	6	11
	Y	5	10	15	17	22	23
15	X	15	8	-2	8	4	10
	Y	10	10	10	14	12	12
20	X	10	10	5	10	2	9
	Y	0	10	13	14	10	16
25	X	10	10	5	10	2	6
	Y	12	15	9	10	7	15
30	X	15	10	15	8	2	6
	Y	30	15	10	8	2	10
35	X	20	10	17	5	1	7
	Y	25	15	10	8	-1	8
40	X	15	15	11	4	2	4
	Y	25	15	11	7	1	5
45	X	20	10	15	4	6	6
	Y	25	15	5	4	1	4
50	X	20	10	10	5	8	8
	Y	20	9	10	-2	-1	4
55	X	10	10	10	2	6	10
	Y	18	1	5	1	-2	3
60	X	12	10	15	2	6	10
	Y	20	0	5	-2	0	2
65	X	5	15	12	3	5	1
	Y	1	-5	5	-3	0	-5

6. 결론

시공 결과 유수의 에너지가 감쇄되어 낙차공의 기능을 충분히 발휘하였고, 안전성도 유지되었다. 그리고 콘크리트로 설치되는 낙차공은 낙하수맥 배면의 공간이 대기압보다 낮아져 수류가 불안정해지는 원인이 되기도 하는데, 돌망태 낙차공은 채움돌 사이의 공극으로 공기가 공급되기 때문에 낙하수맥 배면의 기압이 낮아지는 단점을 개선하는 효과를 나타내었다.

본 낙차공은 기존의 콘크리트 낙차공 설계기준에 맞추어 설계·시공하였는데, 망태가 규격화되어 시판되기 때문에 시공이 어려운 부분도 있었고, 낙차공의 낙차고가 1m나 되어서 어류의 이동에 도움을 주지 못하였다. 향후, 돌망태 낙차공의 보급이 확대되면, 제품의 규격을 좀더 세분화할 수 있기 때문에 시공이 보다 간단해지고, 돌망태 낙차공의 계단을 0.3m ~ 0.5 m로 줄여서 어류의 소상 이동도 용이해질 수 있게된다. 또한 돌망태 제품이 좀더 다양하게 세분화되어 생산된다면 경제적으로도 저렴한 공사를 도모할 수 있을 것으로 전망된다.

콘크리트 구조물에 비해 공사비가 싸고, 공기면에서 낙차공 1기를 건설하는데 2일 정도 밖에 걸리지 않았기 때문에 동절기에 시행되는 경지정리 공사와 여름철 홍수시 파손된 구조물 공사에 적절하게 활용될 수 있다. 또한 기존의 콘크리트 낙차공에 비하여 주위의 자연환경과 잘 조화를 이루고 있었다. 특히 돌망태 낙차공은 대소 공극이 많기 때문에 어류들이 생활하거나 피난할 수 있는 장소로 이용할 수 있으므로 생태계 보전 측면에서도 좋은 축조재료이다. 돌망태 상단의 공극 사이에는 식물이 뿌리를 내리고 자랄 수 있기 때문에 경관뿐만 아니라 생태계 보전에도 기여할 수 있다.

앞으로 수리특성에 대한 연구를 지속하고 기존의 낙차공과 비교 검토하여 돌망태 낙차공에 맞는 설계기준을 확립해 나가야 할 것이다.

제 5장 돌망태 재료의 내구성 실험

제 1절 서론

현재 국내에서 사용되는 돌망태 철선 재료는 아연도금철선과 염화비닐(PVC)피복철선, 흑철선 등이고 알루미늄(Al)도금철선이 새로이 소개되었다. 아연도금철선제와 PVC피복철선제 돌망태는 원형, 타원형, 사각형으로 제작되어 급류하천이나 응급공사 또는 임시공사용 호안에 많이 사용되고 있으나 내구성이 작다는 지적을 받고 있다. 흑철선제 복주머니형 돌망태는 방조제 축조공사에서 사석 대용이나 바닥보호공으로 사용되고 있으나 사용 철선의 내구성이 떨어져 바닷물에서 단기간에 부식되어 돌망태가 파괴됨으로서 소기의 목적을 이루지 못하는 경우가 허다하다.

또한 간척사업지구의 방조제 피복석은 파랑에너지에 저항하도록 대중량의 석재가 필요하나 석재의 고갈과 석산 개발에 대한 환경적인 반대로 양질의 피복석을 구하기 어려운 여건에서 피복석을 대체할 수 있는 재료로서 돌망태가 고려될 수 있으나 돌망태용 철선재료의 내구성을 확보하는 것이 급선무이다.

이에 따라 본 연구에서는 기존의 돌망태 철선 재료들 - 흑철선, 아연도금3종철선, PVC코팅철선 - 과 함께 새로 소개되고 있는 PVC용착아연도금철선, Al도금철선, 아연도금5종철선을 이용한 돌망태가 방조제 축조공사에서 사용가능성을 분석하기 위하여 재료별 내구성을 비교하였다. 실험은 극심한 부식환경인 해양환경과 담수보다 더 극한 담수호 환경에서 현장 적용 실험을 실시하였고 자연환경축진시험법으로 염수분무시험법을 이용하여 실내에서 내구성을 실험하였다.

해양환경에는 흑철선제, 아연도금3종철선제, PVC코팅철선제, PVC용착아연도금철선제 복주머니 형태 돌망태에 돌을 채워 사면에 위치를 달리하여 설

치하였고 담수호에는 흑철선제, 아연도금3종철선제, PVC코팅철선제 돌망태
만을 사면에 위치를 달리하여 설치하였다. 현장에 설치된 돌망태에서 정기
적으로 시료를 채취하여 인장강도를 시험하여 설치후 경과시간에 따른 인장
강도의 변화를 관찰하였다.

실내 내구성 실험은 흑철선, 아연도금3종철선, 아연도금5종철선, PVC용착
아연도금철선, AI도금철선 등을 사용하여 염수분무 후 무게감과 인장강도
변화를 측정하여 내구성을 평가하였다.

제 2절 금속의 부식 거동

돌망태 철선의 내구성을 떨어뜨리는 부식 거동은 환경과 재질로서 결정된다. 부식이란 금속이 액체용액에 의해 퇴보되는 현상이라고 정의될 수 있다. 즉, 주위 환경과의 전기화학적 또는 화학적 반응에 의해 금속에 가해지는 파괴적인 공격이라고 할 수 있다. 이러한 전기화학적 과정에서 요구되어지는 사항은 ①양극과 음극이 존재하여 전지를 형성해야 한다, ②양극과 음극이 전기적으로 접촉해야 한다, ③액체가 전해액으로 작용해야 한다 등이다. 그리하여 양극에서는 산화반응이 일어나며 금속이온이 분해하여 용액 속으로 들어간다. 한편 음극에서는 환원반응이 일어나는데 주로 용해된 산소의 환원과 수소기체의 발생이다.

담수의 부식 환경인자로는 pH, 용존산소, 용해성분, 온도, 유속 등이 있다. 철강의 부식속도와 순물의 pH와의 관계에서 pH 4~9 범위에서는 철 표면이 수산화물 피막으로 덮여 부식은 물의 pH와 관계없이 피막을 통과하는 산소에 의한 복극으로 인해 결정되나 pH 4이하에서는 피막이 녹아 없어져 수소발생형의 심한 부식이 된다. 피막에 유해한 염소(Cl^-)와 중탄산(HCO_3^-)을 함유한 물에서는 pH 8 부근에서 부식이 증대하여 녹덩이가 발생하는 경향을 나타낸다.

담수에 의한 부식은 음극 과정에서 지배되어 산성이 강한 물을 제외하고 부식속도는 용존산소량에 비례하는 산소소비형이다. 철강 표면에서 용존산소농도가 불균일하면 통기차 전지 때문에 저산소농도의 표면이 양극이 되어 국부적으로 부식한다. 녹덩어리의 아래 부분이나 틈새부분 등에 이 종류의 국부부식이 일어나기 쉽다. 담수 중에서는 높은 산소농도에 의해 부동태를 형성하여 부식이 격감하는 수가 있으나 산성인 물이나 염분이 많은 물에서는 부동태화되기 어렵다.

수중에 염분 등의 용해성분이 증가하면 물의 전도도가 증대하고 그 결과

국부전류가 증가함과 동시에 부식생성물이 금속면에서 떨어진 곳에 침전하므로 부식속도가 증대한다. 그러나 부식은 많은 염류에서 약 0.5N에서 최대가 되고 그보다 고농도에서 부식이 점감되는 것은 용존산소가 줄기 때문이다.

해수는 염화물 등 염류를 다량으로 용해하고 전도도가 높기 때문에 오래전부터 부식이 격심한 대표적인 환경으로 되어 있다. 해수의 염분농도는 지역적으로 다소 변동은 있으나 대양에서는 염분 3.2~3.6%, 염소량 18~20의 범위에 있다. 해면의 정상적인 해수는 공기를 포화하고 있고 산소농도는 수온에 의해 대체로 5~10ppm의 범위에서 변하고 pH는 보통 8.1~8.3의 범위이다. 세계 각지에서 해수에 장기간 연속 침지시킨 금속 시편의 부식 데이터에 따르면 철강의 경우 연강, 주철을 통하여 연간 평균 침식도는 0.06~0.17mm의 범위에 있고 평균 0.12mm/yr이다. 연강의 경우 담수 중의 평균 침식도는 초기에는 해수 중보다 크지만 그 경시변화가 크므로 대략 5년 이상이 되면 반대로 해수 중의 침식도가 커진다. 해수 중의 침식도는 1~2년에서 일정값 0.07mm/yr에 이르는 것에 비해 담수 중에서는 점감하여 1년간 0.19mm/yr에서 10년 후에는 0.018mm/yr까지 저하하는 것이다. 그러나 염수(Cl⁻ 400ppm)에서는 경년변화가 적으므로 해수보다 큰 침식도를 지속한다.

해면은 늘 파랑과 조류의 운동이 있고 해수 중에는 산소를 소비하는 동물, 미생물이 존재하고 있으므로 해수 중의 산소 분포는 균일하지 않다. 비말을 둘러 쓰고 산소의 공급도 충분한 비말대는 특히 부식이 심한 부분이나 잠기는 부분에서는 간조대 바로 아래의 부식이 가장 크다. 이것은 수면 바로 아래가 통기차전지의 음극이 되고 그 아래쪽의 강면이 양극이 되기 때문이다. 장기 침지시킨 강판에서 수중 부분의 부식은 강종에 따라 거의 차가 없고 평균 0.2mm/yr정도, 해저토 중에서는 0.1mm/yr정도이나 비말대의 부식은 보통강이 평균 0.5mm/yr, 최대 1.2mm/yr이상이다.

제 3절 돌망태 철선의 내구성에 관한 현장 실험

1. 담수호 환경 실험

석문호 내측 방조제 사면의 기존 아연도금3종철선제 타원형 돌망태 위에 돌을 채우지 않은 흑철선제, 아연도금3종철선제, PVC코팅철선제 돌망태를 담수호 물에 잠기게(하), 호안 시작면(중)에, 호안 상단(상)에 각각 설치하였다. 하는 상시담수조건을, 중은 담수와 건조가 교차되는 조건을, 상은 대기노출조건을 대표한다. 해양환경과 같이 2개월 간격으로 시료를 잘라서 실내에서 인장강도 시험을 실시하였다.



그림 5.3.1-1 석문방조제 상단에 설치된 돌망태 상태

2. 해수 환경 실험

화옹간척사업지구 방조제 외측 사면에 돌을 채운 복주머니 형태의 흑철선, 아연도금3종철선, PVC코팅철선, PVC융착철선 돌망태를 다음 그림과 같이 설치하였다. H.W.O.S.T. 위를 해풍대, H.W.O.S.T.와 M.S.L. 사이를 비탈대, M.S.L.과 L.W.O.S.T. 사이를 간만대, L.W.O.S.T 밑을 상시담수 조건으로 보았다. 2개월 간격으로 각 위치에서 시료를 잘라서 실내로 옮겨 인장강도를 측정하였다.



그림 5.3.2-1 화용방조제에 설치된 돌망태 상태

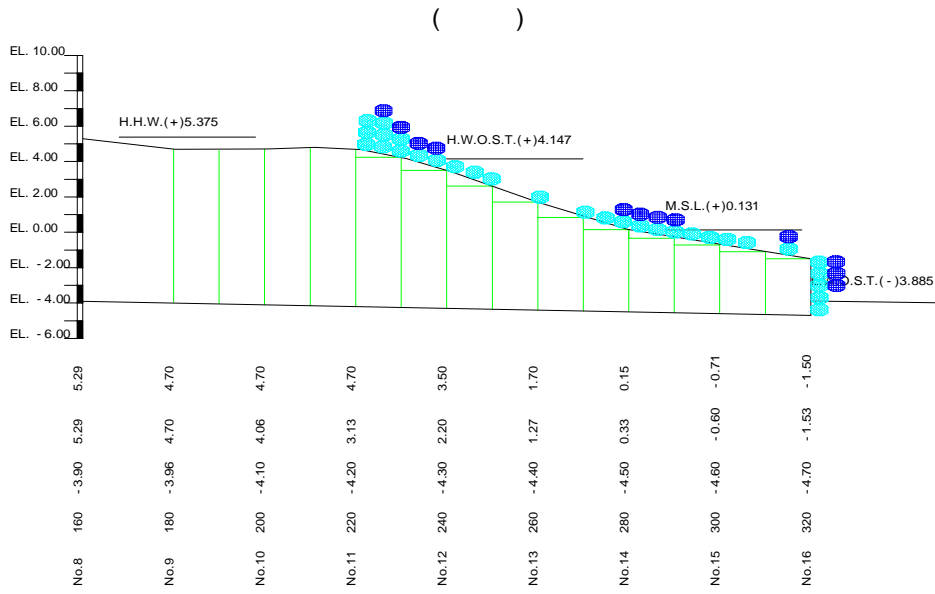
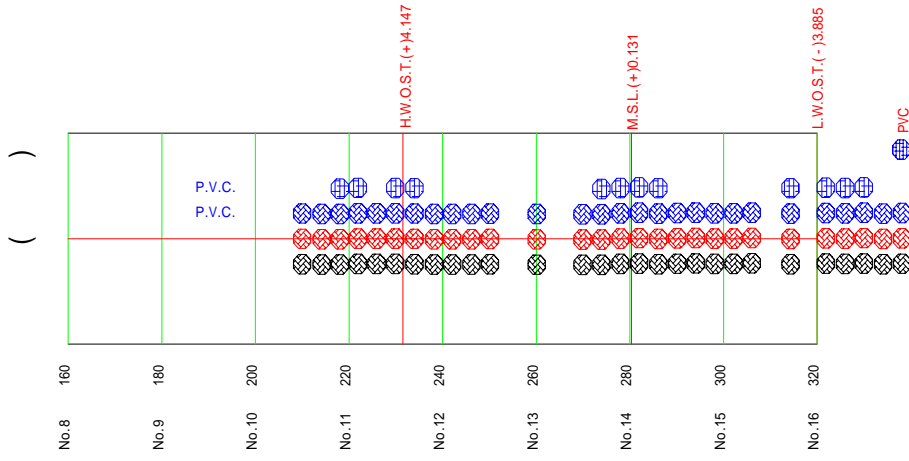


그림 5.3.2-2 화옹지구에 설치한 현장시험포 설계도

3. 현장 설치 돌망태 철선의 변화

석문 방조제의 담수호 환경에 설치한 돌망태 철선 중 흑철선은 대기노출조건(상), 대기노출과 간헐적으로 담수호 물에 젖는 조건(중)에서 인장강도 저하가 관찰되지 않았으나, 담수호 수중에 침지된 조건(하)에서 24개월 경과한 후 인장강도가 25% 저하하는 것으로 나타났다. 아연도금철선과 PVC코팅철선은 전 시험 기간에 모든 위치에서 인장강도 저하가 관찰되지 않았다.

표 5.3.3-1 석문방조제에 설치한 돌망태 철선 인장강도 시험 결과

경과 월수	흑 철 선			아 연 도 금			PVC 코팅		
	상	중	하	상	중	하	상	중	하
N/mm ²									
0	429	429	429	468	468	468	500	500	500
2	445	442	447	468	472	475	511	520	520
4	471	432	419	489	492	494	544	541	528
6	433	402	392	472	478	490	500	503	507
8	431	425	425	496	492	492	510	510	507
10	437	440	335	477	473	484	514	501	518
12	462	432	433	492	480	483	522	512	498
14	448	442	448	477	480	481	510	507	510
16	445	486	403	487	493	492	511	518	523
22	453	445	419	489	488	489	521	514	510
24	454	443	301	488	488	481	498	498	510
27	436	441	316	480	485	485	510	499	501
29	453	450	348	485	487	483	512	499	486

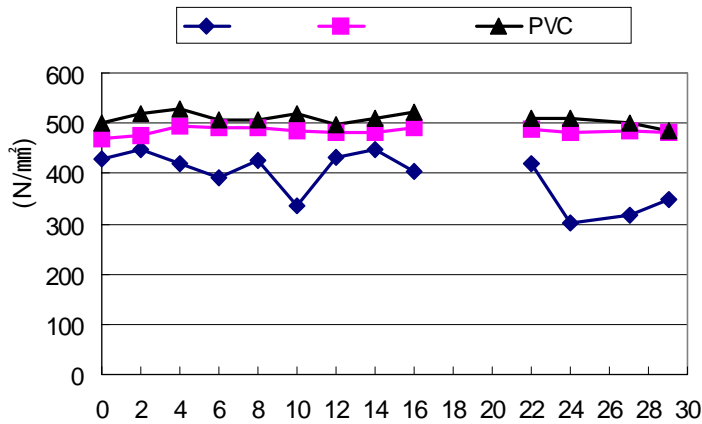


그림 5.3.3-1 석문지구 하에서 채취한 철선의 인장강도 변화

화옹 방조제의 해양 환경에 설치한 돌망태 철선 중 흑철선은 해안대기노출 조건(해풍대)에서는 인장강도 저하가 관찰되지 않았고, 항상 비말(飛沫)을 쓰고 산소의 공급도 충분한 비말대에서 인장강도 저하가 가장 컸으며(65%), 하루 두 차례 조수간만의 차에 의해 침지와 대기노출이 반복되는 조건(간만대)과 연속침지조건(상시담수)에서도 인장강도 저하가 컸다.

아연도금철선은 해풍대에서 인장강도 저하가 관찰되지 않았고 비말대에서 13%, 간만대에서 16% 인장강도 저하가 관찰되었고, 상시담수에서 65% 인장강도 저하가 관찰되었다.

PVC코팅철선은 모든 위치에서 인장강도 변동이 심하며 짧은 기간에 극심한 인장강도 저하가 관찰되었다. 이것은 돌망태에 돌을 채우면서 피복이 벗겨진 부분에 국부부식으로 단면 감소가 급격히 일어났기 때문으로 보인다. PVC용착아연도금철선은 모든 위치에서 전 시험 기간 동안 인장강도 저하가 관찰되지 않았는데 돌망태에 돌을 채워 넣는 과정에서 PVC피복이 벗겨지지 않음으로서 소지금속이 부식환경에 노출되지 않았기 때문으로 보인다.

표 5.3.3-2 화용방조제에 설치한 돌망태 철선 인장강도 시험 결과

경과 월수	흑 철 선				아 연 도 급				PVC코팅			
	해풍대	비말대	간만대	상시 담수	해풍대	비말대	간만대	상시 담수	해풍대	비말대	간만대	상시 담수
N/mm ²												
0	429	429	429	429	468	468	468	468	500	500	500	500
2	440	533	554	453	-	473	477	473	511	559	524	-
4	372	414	455	401	489	476	489	520	440	476	539	548
6	425	418	-	-	476	464	-	-	503	503	-	-
8	401	401	469	-	514	381	332	-	526	398	299	-
10	415	447	417	527	514	448	471	466	482	428	484	473
12	442	380	451	389	502	443	456	469	508	544	391	456
14	421	351	374	321	496	386	431	486	470	472	603	541
16	443	420	469	453	512	410	406	453	520	498	482	501
22	429	447	417	527	854	448	471	466	482	428	484	473
24	402	328	439	325	484	344	353	335	503	422	469	467
27	410	151	260	265	488	408	393	162	251	457	494	499
29	399	289	370	238	511	352	380	329	408	381	428	428



그림 5.3.3-2 화용지구에서 채취한 시료 상태

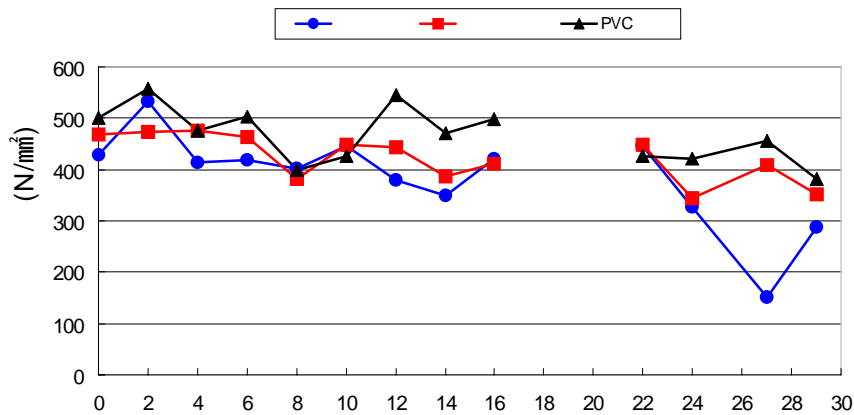


그림 5.3.3-3 화옹지구 비말대에서 채취한 철선의 인장강도 변화

같은 철선인 경우 인장하중은 단면적에 비례한다. 각 철선재료의 인장하중 변화를 비교하면 단면적 변화를 함께 알 수 있게 된다. 해풍대에 설치된 흑 철선과 아연도금철선의 인장하중은 거의 감소하지 않았으며 단면적 또한 감소하지 않았다고 볼 수 있다. PVC코팅철선의 인장하중은 50%이상 감소하였고 이는 부분적으로 단면적 감소가 극심함을 나타낸다고 볼 수 있다.

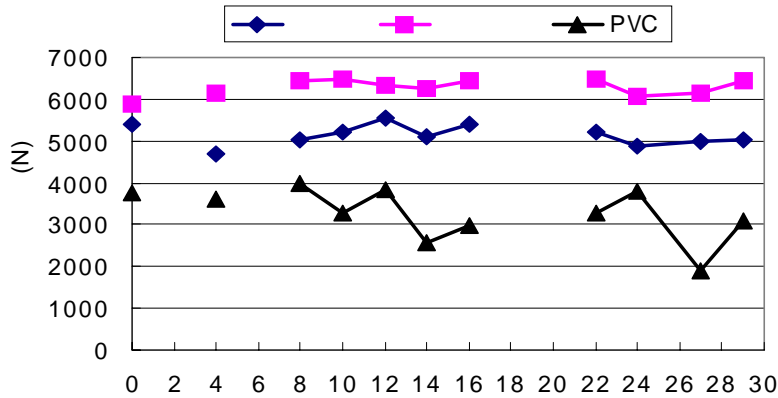


그림 5.3.3-4 화옹지구 해풍대에서 채취한 철선의 인장하중 변화

비말대에서는 흑철선의 인장하중은 최대 65%, 아연도금철선의 인장하중은 최대 45%, PVC코팅철선은 최대 28% 감소하였다. 그러나 감소 경향은 흑철선이 뚜렷하였고 이 추세라면 설치 후 31개월에 인장하중이 50%이하로 감소하고 단면적도 50%이하로 감소할 것으로 예상된다.

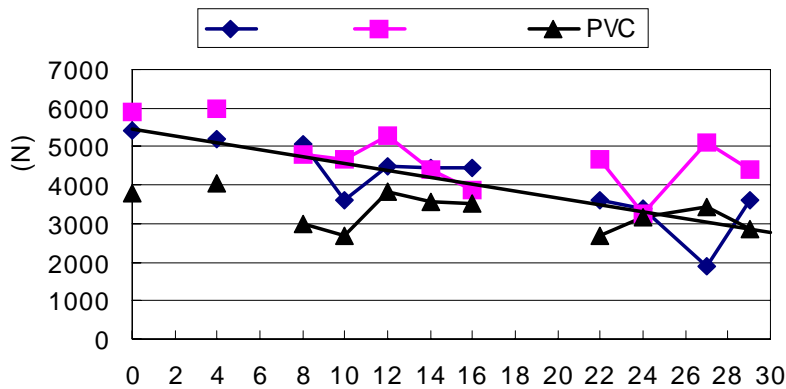


그림 5.3.3-5 화옹지구 비말대에서 채취한 철선의 인장하중 변화
(추세선은 흑철선의 것으로 $y=-86.225x+5394$, $R^2=0.6865$)

간판대에서는 흑철선, 아연도금철선, PVC코팅철선 등의 인장하중이 최대 40% 감소하였으나 감소 추세가 뚜렷하지 않았다.

상시담수에서는 흑철선과 아연도금철선의 인장하중이 최대 68%, 65% 감소하였다. 아연도금철선의 인장하중이 뚜렷한 감소 추세를 보였고 설치 후 37개월이면 인장하중은 50%이하로 감소하고 이는 단면적 감소 때문일 것으로 예상된다.

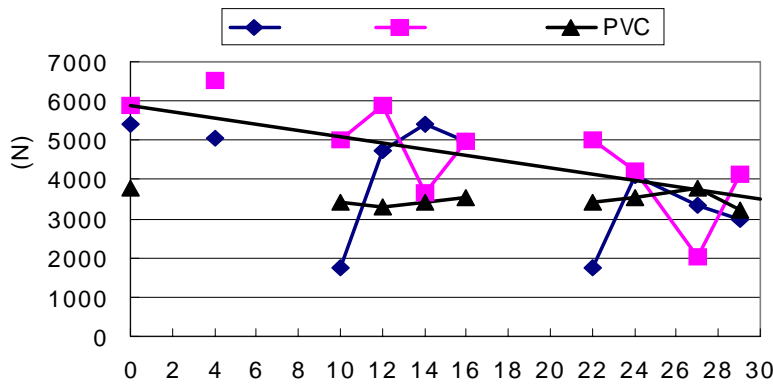


그림 5.3.3-6 화옹지구 상시담수에서 채취한 철선의 인장하중 변화
(추세선은 아연도금철선의 것으로 $y=-79.408x+5884$, $R^2=0.5226$)

제 4절 돌망태 철선의 실내 내구성 촉진시험

1. 서론

돌망태 철선의 내구성을 평가하기 위한 실내 시험으로 자연환경 촉진시험으로 염수분무시험법을 사용하여 5종류의 철선 재료를 시험하였다. 일정시간 염수분무환경에 노출시킨 후 무게감과 인장강도 변화를 측정하였다.

자연 환경 현장에 설치한 돌망태에서 채취한 철선 재료도 실내에서 단면 감소와 인장강도 변화를 인장강도시험기를 이용하여 시험하였다.

2. 염수분무시험기를 활용한 인장강도 및 부식 저항 실험

가. 염수분무시험방법

KS D 9502규격을 따랐으며 자세한 내용은 다음과 같았다.

- ① 적용범위 : 금속 재료 또는 도금, 무기피막, 유기피막을 실시한 금속재료의 내식성을 염수분무시험에 의하여 판정하는 방법
- ② 장 치 : 염수분무시험에 필요한 장치는 분무장치, 시험용 염용액 탱크, 시험편 유지기, 분무액 채취용기, 온도조절장치 등을 갖춘 분무실, 염수보급탱크, 압착공기의 공급기, 배기장치 등으로 구성되고 분무장치는 노즐방식이고 분무실은 $900 \times 900 \times 600 \text{mm}^3 = 0.486 \text{m}^3$ 부피를 가진다.
- ③ 시험편 : 시험편은 철선을 펴서 길이 20cm로 잘라 표면의 기름기를 아세톤으로 씻어 준비했다. 시험편의 절단면은 파라핀으로 피복한 후 건조하였다. 분무실 내에 시료가 겹치지 않게 배열하였다.
- ④ 시험용 염용액 : KS M 8115[염화나트륨(시약)]의 1급을 전도율 $1 \mu\text{S}/\text{cm}$ 이하의 탈이온수에 녹이고 염농도 $5 \pm 0.5\%$ 로 조정하였다. 조정결과는 비중계를 사용하여 비중을 측정하고 35°C 에서 1.0259~1.0329의 범위에 있음을 확인하였다.

- ⑤ 공급 공기 : 염용액을 분무하기 위하여 분무 노즐로 보내는 압축공기는 기름 및 먼지가 없고, 그 압력은 $0.098 \pm 0.010 \text{MPa}$ ($0.7 \sim 1.8 \text{kg/cm}^2$)로 유지하였다.
- ⑥ 분무실은 $35 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지하였다.
- ⑦ 시험의 개시 : 분무실의 조건이 확인된 후 일시적으로 분무를 멈추고 시험편을 분무실에 놓고 시험을 개시하였다.
- ⑧ 시험 후 시험편은 주의깊게 꺼내 시험편 표면에 묻은 염화나트륨을 제거하기 위하여 시험편을 상온에서 수세하고 부식 생성물을 제거하기 위해 브러시질을 하였다.
- ⑨ 시험 전후 시험편의 무게변화를 기계적 방법으로 조사하였다.
- ⑩ 무게를 조사한 시험편은 인장강도를 측정하였다.



그림 5.4.2-1 염수분무시험 전경

나. 염수분무시험결과

1차 실험은 분무공기압 $0.3\text{kgf}/\text{cm}^2$ 에서 473시간 실시하였고, 2차는 분무공기압 $0.7\text{kgf}/\text{cm}^2$ 에서 140시간 실시하였다. 흑철선은 낮은 분무공기압, 긴 분무시간과 높은 분무공기압, 짧은 분무시간의 실험에서 무게감을 부식도로 나타냈을 때 차이가 적었다. 흑철선의 부식도는 5종류 철선 중 가장 커서 $1.262\sim 1.339\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ 를 보였다.

Al도금철선과 PVC용착아연도금철선은 1차실험에서는 양 절단면을 피복하지 않아 미미한 무게 감소를 보였으나, 2차 실험에서는 무게감이 측정되지 않았다.

아연도금5종철선과 아연도금3종철선의 부식도는 1차 실험보다 2차 실험에서 1.8배, 2.4배 증가하였다. 아연도금3종철선의 부식도보다 아연도금5종철선의 부식도가 1.4~1.8배 더 컸다. 아연도금철선은 해안지대나 온도가 높은 환경에서 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 나 $\text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot \text{ZnCO}_3$ 성분의 백청이 발생한다고 하는데 이 백청이 아연도금3종과 5종철선에서 발생하였다. 아연도금3종철선에서는 붉은녹도 관찰되어 아연도금이 완전히 부식되고 소지금속인 철까지 부식되었음을 보여주었다. 아연도금3종철선의 아연도금부착량은 $155\text{g}/\text{m}^2$ 이상이고 아연도금5종철선은 $290\text{g}/\text{m}^2$ 이상으로 규정되어 있다. 이 값들을 각각의 부식도로 나누면 아연도금3종철선은 1차실험에서 481시간(20일), 2차실험에서 202시간(8.5일)이면, 아연도금5종철선은 1차실험에서 490시간(20일), 2차실험에서 276시간(11일)이면 부착된 아연도금이 완전히 부식되는 것으로 추정할 수 있다. 아연도금3종철선의 해양 대기 중 노출 조건에서 아연도금의 수명은 7~8년이라는 보고에 따르면 1차, 2차에 걸친 염수분무시험은 해양 대기 중 7~8년 노출과 같은 강도의 부식 환경이라고 볼 수 있다.

부식도는 동종 금속의 비교에 편리하나 동일한 부식도를 나타내는 금속이라도 경금속의 침식도는 중금속의 그것보다 크다. 따라서 이종 금속 비교에

는 침식도 쪽이 편리하다. 침식도에는 mm/yr를 사용하여 나타내는데 침식도에 의한 내식성 평가는 표 5.4.2-3과 같이 여러 평가안이 있다. 이들로부터 0.05~0.1mm/yr이하가 내식성 양호로 볼 수 있고, 1.0mm/yr이하를 사용가능한 것으로 볼 수 있다. 이 기준에 의하면 AI도금철선과 PVC용착아연도금철선은 내식성 양호로 아연도금5종과 3종철선은 사용가능한 것으로 보인다.

표 5.4.2-1 염수분무시험결과(무게감)

	무게감		비율		부식도		침식도	
	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차
	(g)		(% 시험전 기준)		g/m ² · hr		mm/yr	
흑철선	1.397	0.5011	5.42	1.92	1.339	1.262	1.492	1.406
아연도금5종	0.617	0.4219	2.41	1.63	0.591	1.063	0.725	1.304
AI도금	0.003	-0.0008	0.02	-0.00	0.003	-0.002	-	-
PVC용착	0.008	-0.0004	0.06	-0.00	0.009	-0.001	-	-
PVC용착(흙)	0.045	-0.0001	0.32	-0.00	0.048	0.000	-	-
아연도금3종	0.336	0.3035	1.31	1.18	0.322	0.764	0.395	0.937

흑철선, AI도금철선, PVC용착아연도금철선에서는 인장강도 감소가 나타나지 않았으나 아연도금5종과 3종철선에서는 미소한 감소가 나타났다. 무게감소는 정밀한 저울로 측정할 수 있었으나 철선재료의 단면 감소와 이에 따르는 인장강도 감소는 측정할 수 없었다.

표 5.4.2-2 염수분무시험결과(인장강도)

	파괴 하중		지름		인장강도		인장강도 증감	
	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차
	N		mm		N/mm ²			
흑철선	10566	10088	4.5	4.5	664	634	-1.91	-2.32
아연도금5종	7055	7162	4.5	4.5	444	450	0.84	0.32
A1도금	6682	6781	4.0	4.0	532	540	-1.23	-0.40
PVC용착	3958	4067	3.2	3.2	492	506	-0.10	-0.74
PVC용착(흙)	3956	4053	3.2	3.2	492	504	-0.08	-0.57
아연도금3종	7457	7443	4.5	4.5	469	468	0.52	0.86



그림 5.4.2-2 염수분무시험 직후 철선의 상태
(각각의 왼쪽에 있는 시료는 대조군임)

표 5.4.2-3 침식도에 의한 내식성의 평가

침식도(mm/yr)	내식성의 평가
<0.127 0.127~1.27 >1.27	내식재료 사용가능 사용불가
<0.11 <1.12 <3.37 >3.37	내식성 상당한 내식성 내식성 작으나 사용가능 사용불가
<0.05 <0.5 0.5~1.27 >1.27	내식성 사용가능 특수한 경우만 사용가능 사용불가
0.001 0.001~0.005 0.005~0.01 0.01~0.05 0.05~0.1 0.1~0.5 0.5~1.0 1~5 5~10 >10	완전한 내식성 양호한 내식성 충분한 내식성 상당한 내식성 내식성 작음 내식성 없음
<0.02 0.02~0.1 0.1~0.5 0.5~1 1~5 >5	아주 우수함 우수함 좋음 보통 불량 사용불가

3. 도금철선과 합성수지 피복 철선의 성능 비교

아연도금철선, AI도금철선, PVC용착아연도금철선의 염수분무시험결과에서 AI도금철선과 PVC용착아연도금철선은 무게감이나 인장강도 면에서 성능의 저하가 관찰되지 않았다. 그러나 PVC용착아연도금철선의 경우 PVC피복이 일부 제거되었을 경우 피복이 제거된 부분에 백청과 약간의 붉은늑이 발생하는 것이 관찰되었다. 이에 따라 미미한 무게감이 측정되었다.

담수호 환경 현장에 설치한 아연도금철선과 PVC피복철선의 인장강도는 어느 위치에 있는 것이나 현저한 변화가 없었다. PVC피복철선의 PVC는 변색됨이 관찰되었다.

해양 환경 현장에 설치한 아연도금철선 중 해풍대에 있는 것은 인장강도 저하가 나타나지 않았으나 비말대, 간만대, 상시담수 위치에 있는 것들은 12개월 경과 후부터 점감하는 것으로 나타났다. PVC코팅철선의 인장강도는 모든 위치에서 매우 큰 편차를 보이는데 비말대에서는 점감하는 경향을 보였다. 이 큰 편차는 PVC피복이 벗겨진 부분이 심한 국부부식이 일어났기 때문으로 보인다.

한편 PVC용착아연도금철선은 20개월 이상이 경과하여도 모든 위치에서 인장강도 저하가 관찰되지 않았다. 한편, PVC피복의 변색은 관찰되었다.

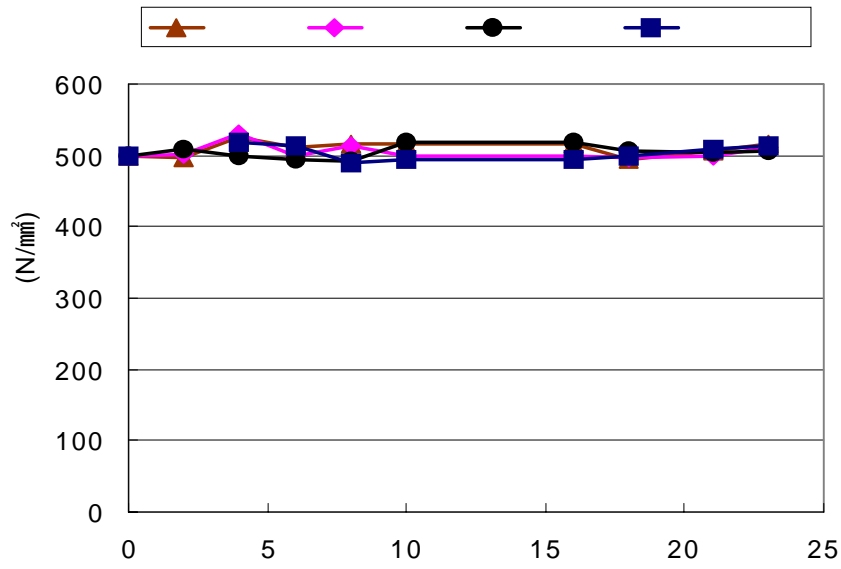


그림 5.4.3-1 해안환경에 설치한 PVC용착아연도금철선의 인장강도 변화

제 5절 결과 및 고찰

여러 가지 돌망태 철선 재료를 해양 환경 중에 폭로한 시험과 자연환경의 촉진시험법인 염수분무시험 결과 PVC용착아연도금철선과 알루미늄(A1)도금철선이 내식성이 양호한 것으로 나타났다. PVC용착아연도금철선의 PVC피복이 돌망태에 돌을 채워 넣는 과정에서 쉽게 훼손되지 않기 때문에 소지금속의 부식을 억제하는 것으로 보이나 PVC는 열과 빛에너지에 매우 약하여, 가열과 빛의 조사에 의하여 점차적으로 착색, 흑변한다. 24개월이 경과한 시점에서 해풍대에 위치한 PVC용착아연도금철선에서 약간의 변색 및 투명도 저하를 관찰할 수 있었으나 균열은 보이지 않았다.

아연도금철선은 담수호에 완전 침지되거나 간헐적으로 침지되거나 대기에 노출되는 모든 조건에서 시험 기간 동안에 인장강도 저하나 표면의 열화가 관찰되지 않았다. 해양 환경에서는 해풍대에서 백청이 발생하여 표면이 거칠어졌으나 인장강도의 저하는 관찰되지 않았다. 그러나 다른 위치에서는 표면의 아연도금은 완전히 부식되고 소지금속도 상당히 부식되어 단면 감소가 발생되었음이 관찰되었다.

PVC코팅철선은 피복이 쉽게 훼손되고, 이 경우 심한 국부부식이 일어나 단면 감소가 단시간에 일어나 사용에 제약이 있을 것으로 나타났다.

흑철선은 대기노출 조건에서도 단시간에 붉은녹이 발생하였고 해양 환경에서는 단면감소에 따른 인장강도 저하가 극심하였다.

제 6 장 종합결론 및 연구결과의 활용에 관한 건의

국토가 협소하고 천연자원이 부족한 우리나라의 형편에서, 하천과 해안 수리구조물 설치 및 보수 관리에 필요한 대규모의 천연석재는 이미 고갈되어 가고 있으며, 콘크리트 구조물은 생물의 서식과 부착기능이 열악하다. 이에 비하여 돌망태는 깎돌이나 조약돌 등 소형 재료로서 유수에 안정성이 높으며 경제적인 뿐만 아니라 하천이나 해안에 서식하는 조류나 어류 및 미생물의 쾌적한 서식 환경을 제공한다. 재료공학의 발달에 따라서 망태재료는 피복 철선과 화학 재료의 망태 재료가 개발되어 활용되고 있다. 그러나, 돌망태의 유수 중 안전한 적정 규모 설정과 환경 보존적 기능 및 내구성 등에 관한 연구는 미흡한 편으로서 수리, 환경 및 재료공학 분야의 세부적이며 체계적인 연구가 요망된다. 이에 대하여 본 연구는 우선 수리 재료 공학적인 관점에서 돌망태의 유수 중 이동 안정성을 규명하여 항구적이고 간편한 수리구조물로서 확대하여 보급코자 한다. 또한, 경제·산업적 관점에서 소형 석재 또는 재활용이 가능한 재료 등을 활용한 망태형 수리구조물을 개발하여 대형 석재와 콘크리트 등의 인공 재료에 대한 공사비 절감 및 산업 재료의 효율적 활용을 도모하는 것이 바람직 할 것이다. 그리고, 사회·문화적 관점에서 천연 석재를 사용함으로써 생태 환경을 개선한 환경 친화적인 공간을 확보하는 방안을 강구해야 할 것이다.

수리 구조 및 환경적인 돌망태의 기능에 관한 본 연구 결과 및 이의 활용에 대한 건의 사항은 다음과 같다.

1. 해안수리구조물의 돌망태 활용

- 방조제 물막이에 사용되어온 돌망태의 안정성을 검토한 결과, 돌망태는

석재에 비하여 전단강도가 3배나 크며, 유속에 대한 저항력도 1.4배 이상이다. 그러나, 석재에 비하여 공사비가 고액 소요되므로 흐름이 빠른 구역을 대상으로 집중 배치토록 요망된다. 본 연구는 유속과 수위 별로 적정 규모의 돌망태를 투하하도록 도식화하였으며, 본 연구에서 개발된 투하재료의 이동 궤적에 관한 수치모델은 방조제 물막이 구간에서 돌망태의 투하시공의 정확성을 높이며 유실 방지에도 기여토록 연구되었다. 이는 새만금, 화홍지구 등 향후 방조제 끝물막이 공사에 활용토록 요망된다.

○ 돌망태 어초의 안정성에 관한 수리모형실험 결과, 유속이 7 m/s, 파고가 7m 정도에도 안전하다. 돌망태는 콘크리트 재료에 비하여 빠른 기간 내에 집어, 산란처 기능이 발휘되며, 바다 지형에 따라서 구조물 형태가 신속하게 변형되고 안정되어 장기간동안 제 기능을 발휘한다. 또한 돌망태 내부의 돌 틈새는 치어들의 피신처를 제공한다. 내부에 설치한 파이프를 통한 해수 유동에 의하여 흐름 정체 방지 및 수질 악화를 예방한다. 본 돌망태 어초의 연구 결과는 특허 출원되었으며, 앞으로 우리나라 해안 특히, 간척지구 연안에 설치하여 어류 생태 보전과 수산자원 개발에 기여할 것으로 기대된다.

○ 방파제와 수제공 등에 돌망태를 활용한 해안 수리구조물의 개발을 위하여 연구된 해안의 조석, 파랑 변화에 대한 수치모델 연구 결과는 그동안 경험적으로 수행해온 수리설계의 관용적인 경험 공식을 개선하는데 기여토록 연구되었다. 또한, 대규모 간척지에서 계획되는 돌망태 수리시설의 설계와 환경보존 계획은 수치모형에 의하여 종합적인 방안을 구상하고, 세부적인 시설의 계획은 설계에 앞서서 수리모형시험에 의하여 분석하여 최적의 설계 방향을 추진토록 요망된다.

2. 하천수리구조물의 돌망태 활용

○ 배수로의 제방을 돌망태로 개수하고, 안전성을 검토한 결과, 전단과 활동에 대하여 안정한 것으로 계산되어 구조적으로 문제가 없는 것으로 나타났다. 또한 유속과 수심에 따른 돌망태의 적적규모에 대한 연구 결과 유수에 대해서도 충분히 안전할 것으로 판단된다. 공종이 기존의 콘크리트 구조물에 비해 간단하기 때문에 공기가 짧아진다. 공사비도 기존의 콘크리트 구조물에 비해 저렴하므로 적극적으로 활용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

○ 돌망태로 낙차공을 시공한 결과 유수의 에너지가 감소되어 낙차공의 기능을 충분히 발휘하였고, 안전성도 유지되었다. 그리고 콘크리트로 설치되는 낙차공은 낙하수맥 배면의 공간이 대기압보다 낮아져 수류가 불안정해지는 원인이 되기도 하는데, 돌망태 낙차공은 채움돌 사이의 공극으로 공기가 공급되기 때문에 낙하수맥 배면의 기압이 낮아지는 단점을 개선하는 효과를 나타내었다. 돌망태의 규격이 다양하지 못하여 시공이 까다로운 점도 있었으므로 보다 다양한 규격의 돌망태가 생산된다면 보다 활용성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

하천과 용배수로를 대상으로 개발된 돌망태 낙차공과 돌망태 제방은 시공이 간편하며 신속하게 설치할 수 있으므로 동절기에 주로 시공하는 경지정리 사업과 수해 발생 후의 응급보수를 위한 시설로서 널리 활용될 수 있다. 특히, 낙차공 높이를 낮출 경우, 물고기의 소상에 도움을 주며, 정수지 구간은 어류의 서식 공간을 제공하므로 친수환경에도 기여할 수 있다. 또한 돌망태 구조물은 채움돌 사이의 공극에 토양을 채우고 씨앗을 뿌려서 경관과 생태계 보전을 도모하기 위하여 본 연구에서 개발한 환경친화적 돌망태는 특허를 출원하였다.

3. 돌망태 재료의 내구성

담수 환경에 설치될 돌망태는 아연도금철선이 충분히 내구성이 있는 것으로 보이고 미관이 고려되지 않는 곳이라면 흑철선 사용이 가능한 것으로 보인다. PVC코팅철선은 제작 과정이나 설치 중에 PVC피복이 훼손되지 않도록 주의한다면 담수환경에서 다년간 유지될 수 있으나 햇빛에 노출되는 조건이라면 PVC피복의 변성이 일어나고 균열이 발생하여 부분적으로 심각한 부식을 일으킬 수 있다.

해수 환경에 설치될 돌망태로는 알루미늄도금철선이 실내실험으로 내식성이 우수한 것으로 나타났으나 실제 현장에서 실험한 결과가 없으므로 판단을 내리기가 어렵다. PVC용착아연도금철선은 실내실험과 현장 적응 실험에서 내식성이 우수한 것으로 나타났다. PVC피복의 햇빛에 의한 열화로 균열이 발생하기 전까지는 안정하겠지만 일단 균열이 발생하면 급격한 공식이 일어나서 단시간에 균열부위에 단면 감소가 일어날 것이므로 햇빛에 노출되는 조건에 설치하는 돌망태에서는 PVC피복의 열화 정도를 주기적으로 관찰할 필요가 있다. 또한 설치할 때 PVC피복의 훼손이 발생하지 않도록 시공상의 주의가 필요하다. 아연도금철선과 흑철선은 해양 대기 노출 조건에서는 3년 이상 내구성을 유지하나 비말대 이하 해수에 직접 접하는 환경조건에서는 3년 이내의 내구성을 보이므로 임시적인 구조물로만 사용하여야 할 것이다. PVC코팅철선은 시공시 PVC피복의 박리로 인한 훼손이 쉽게 일어나므로 사용에 어려움이 있다.

이와 같이 본 연구 결과는 간척 사업을 통하여 선진 사회로 진입하는데 필요한 토지와 수자원을 개발하고, 연안의 환경을 쾌적하게 보존하는데 기여하도록 추진되었다.

참 고 문 헌

1. 권순국 외 4인, 1995, 신고 수리구조공학, 향문사
2. 김정규 외 4인, 1997, 재료역학, 청문각
3. 김종만, 바다목장의 현재와 전망, 인공어초 국제세미나, 군산대학교
4. 김채수, 1991, 돌망태 구조물의 설계, 농공기술, 농업진흥공사
5. 농림수산부, 농업진흥공사, 1988, 농지개량사업계획설계기준-수로공편
6. 대한토질공학회, 1986, 건설부제정 구조물기초설계기준 해설
7. 류청로, 장선덕, 임기봉, 1986, 인공어초의 규모와 배치에 관한 연구, pp. 1-24
8. 박상현, 1986, 방조제수리모형시험 연구, No.86-05-04, 농업진흥공사
9. 박상현, 1996, 방조제 물막이 구간의 투하석재와 돌망태 안정성 수리시험, 새만금지구 수리실험 및 파랑관측보고서, 농어촌진흥공사
10. 박상현, 1997 방조제 물막이 구간의 투하석재와 돌망태 안정성 수리시험, No.97-11-03, 농어촌진흥공사
11. 박상현, 박영욱, 1995, 방조제 개방구간에서 투하석재의 안정성에 관한 연구, 농공기술 No.49, 농어촌진흥공사
12. 박상현, 1998, 방조제 물막이 구간의 투하석재와 돌망태 안정성 수리시험, No.98-11-10, 농어촌진흥공사
13. 부식방식협회. 1980. 금속방식기술편람. 기전연구소
14. 심종성, 1997, 鐵筋콘크리트 構造設計, 歐美書館
15. 이용수, 2001, 한국의 기르는 어업 육성정책, 인공어초 국제세미나, 군산대학교
16. 이학열. 1997. 금속부식공학. 연경문화사

17. 이정우, 배헌민, 김창길, 1995, 인공어초 모형의 유체역학적 특성연구, 수진연구보고 49, pp. 1-6
28. 이정우, 2000, 인공어초시설사업의 향후 정책방향, 한국양식, pp.35-76
19. 장선덕외 6인, 1999, 연안해양학, Σ시스마프레스
20. 張丞弼, 1990, 鋼構造工學, 희성출판사, pp. 257-258
21. 정철호, 권형석, 백영식, 1994, 돌망태석축의 변형거동 및 전단특성 분석, 한국지반공학회지, 제10권 4호, pp.181-190
22. 홍성완, 1999, 인공어초의 설계에 대한 이론적 고찰, 제주대 해양연구 논문집 23, pp. 63-71
23. Beer, Johnston著, 金楨圭외 4인 譯, 1999, 材料力學, 淸文閣
24. Breusers, H.N.C., 1965, Conformity and Time Scale in Two Dimensional Local Scour, Delft Hydraulics Laboratory Publication No.40
25. B. P. das et al, 1981, "Shear Stress Distribution at Channel Construction", J. of Hydraulic Eng., ASCE, Vol.107, No.HY12, Dec., 1981, pp.1695-1711
26. B.P. Das, 1972, "Stability of Rockfill in End-Dump River Closures, J. of Hydraulic Eng., ASCE, Vol.98, HY11, Nov.
27. Daryl B. Simons and Fuat Senturk, 1975, Sediment Transport Technology , Sedimentation Engineering, Manual No. 54, ASCE.
28. Delft University Press, 1984, The Closure of Tidal Basins
29. Franken, 1991, Evaluation and Recommendations of the Flume Test, FRA-91-R-93, NEDECO
30. J.W. van der Meer. 1993. Conceptual of rubble mound breakwaters. delft hydraulics

31. J.W. van der Meer and J.P.F.M. Janssen. 1994. Wave run-up and wave overtopping at dikes and revetments. *delft hydraulics*
32. J. P. de Waal and J. W. van der Meer, 1992, Wave run-up and overtopping at coastal structures. ASCE, Proc. 23rd ICCE, Venice, Italy
33. J. A. Battjes, 1974, Computation of set-up, longshore currents, run-up and overtopping due to wind-generated waves, *Communications on Hydraulics*, Delft University of Technology, Report no 74-2, The Netherlands
34. J. A. Melby and G. F. Turk. 1995. Core-loc concrete armor units. Vol CERC 95-1, US Army Engineer WES
35. L. Peyras, P.Royet, G.Degoutte, , *Flow and Energy Dissipation Over Stepped Gabion Weirs*
36. Maccaferri ASIA, Ltd, 1998, *Standard Drawings*
37. Maynard, S. T., 1989, "Riprap Design. " *J. of Hydraulic Eng.*, ASCE, 155(7), pp. 937-949
38. Maynard, S. T., 1995, *Journal of Hydraulic Engineering* July 1995 Vol.121, No. 7
39. Novak, Cabelka, 1981, *Models in Hydraulic Engineering*, Pitman
40. Rand, w. (1955), *Flow Geometry at Straight drop Spillways*. "Proc. ASCE, 81, pp. 1-13
41. R.D. Carver and B.J. Wright. 1992. Use of site-specific model data for general breakwater design. Technical Report CERC 92-2, US Army Engineer WES, Vicksburg, MS

42. Shore Protection Manual. 1984. CERC, US Army Engineer WES, Vicksburg, MS
43. Sorensen, R. M., 1985, "Stepped Spillway Hydraulic Model Investigation." J. of Hydraulic Eng., ASCE, 111(12)
44. Stephen T. Maynard, 1995, Journal of Hydraulic Engineering July 1995 Vol. 121, No. 7
45. Stephenson, 1976, "Rockfill in Hydraulic Engineering," in Geotechnical Engineering collect - vol. 727 Elsevier Scientific Publishing Co.
46. Stephenson, D., 1979, Rockfill in Hydraulic Engineering, Elsevier Scientific Publishing Company
47. TAW, 1974, Wave run-up and overtopping, Technical Advisory committee on Water Defences in The Netherlands, Government publishing office, The Hague, The Netherlands
48. Yoshimi Goda. 1990. 항만구조물의 내파설계.
49. 魚礁綜合研究會, 1976, 人工魚礁の理論と實際(I), 基礎編, 石崎書店
50. 菊岡武男, 1963, 水理模型實驗(第3講) 落差工, 農業土木研究 30(4), pp. 36-39
51. Kiyoshi Horikawa著, 金南亨譯, 1997, 新編 海岸工學, 清文閣
52. 日本腐食防止協會, 1996, 日本腐食防止データブック, 新技術
54. 松下玄, 1985, 階段式 落差工の減勢特性, 農土誌, 53(2), pp. 49-53
53. 石野捷治, 1969, 水クッション型落差工の水理設計について, 農土誌37(1), pp. 23-29
54. 石野捷治, 1970, 不完全落下落差工の水理設計について, 農土誌 38(6), pp. 30-36

부 록

1. 돌망태 어초의 특허 출원 내역

가. 폐비닐수지를 이용한 인공어초

【요약서】

【요약】

본 발명은 인공어초에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 폐비닐수지를 사출성형하여 어초의 외형을 형성하는 직육면체형상의 케이스를 형성하고, 그 내부에는 일정규격을 갖는 석재를 일정높이로 채워 설치하므로서, 해저에 설치 투하시 침강속도 및 접지압이 적어 시공중 파손위험이 적으며, 자중도 작아 매몰의 위험도 적을 뿐더러, 설치후에는 해류의 흐름에 의한 유동 또한 없을 뿐만 아니라, 어초의 외형을 폐비닐수지를 이용하여 사출제작하므로서, 자원을 재활용할 수 있게 되어 환경오염을 최소화할 수 있는 폐비닐수지를 이용한 인공어초에 관한 것이다.

상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 폐비닐 수지를 이용한 인공어초는 어초(10)의 외형을 형성하며, 폐비닐수지로 사출성형되는 직육면체형상의 케이스(11)와; 어류와 해류 흐름의 소통이 원활하도록 상기 케이스(11)의 각 면에 형성되는 다수의 통공(12)과; 상기 어초(10)를 해저에 투입 설치시 쉽게 침강되도록 하며, 설치후에는 해류에 의해 이동되는 것을 방지할 수 있도록 상기 케이스(11)의 내부에 일정높이로 채워지는 일정규격의 석재(13)로 이루어진다.

【대표도】

도 2

이용하여 사출제작하므로써, 자원을 재활용할 수 있게 되어 환경오염을 최소화할 수 있는 폐비닐수지를 이용한 인공어초에 관한 것이다.

일반적으로 인공어초(人工魚礁)라 함은 해안 회유성 어류 및 저서 어류와, 연근해에 서식하는 패류 등의 은신처 뿐만 아니라, 산란장소를 제공함으로써, 수자원을 보호하고 또한 동, 식물성 플라크톤 및 해초류의 증식을 통하여 치어의 생육을 촉진하기 위하여 해저에 투입 설치되는 것이다.

이와같은 어초는 해저에 다량 투입되기에 저가이어야 하며, 해양투기시 또는 설치후에는 해류에 의하여 이동하거나 유실되지 않을 정도의 중량을 가져야 할 뿐만 아니라, 해양생물의 산란, 서식 및 집어에 적당하고 또한 해수에 강한 소재로 이루어져야 하는 등의 조건을 충족하여야 한다.

이러한 용도로 사용되는 종래의 인공어초는 직육면체의 콘크리트 구조물로 제작되므로써, 그 단위중량이 커 설치투하시 침강속도가 빠르게 되어 바닥과의 접지압이 크게 되고 따라서 시공 중 파손의 위험이 있으며, 심한 경우에는 매몰의 위험 또한 발생하였다.

또한, 콘크리트 어초는 설치 후 유황성 물질이 소산된 후에야 제 기능을 발휘하게 되며, 오랜 기간이 지나고 나면 균열 등으로 어초의 기능을 상실하게 되었으며, 해조류와 미생물의 부착능력이 떨어져 서식어류의 먹이를 제공할 수 없는 문제점이 발생하였다.

또, 콘크리트 어초는 해수중에서 강알칼리성 물질이 석출될 뿐만 아니라, 특히, 염분에 약하기 때문에 빨리 부식되어 내구성이 떨어지고, 또 독성물질이 함유되어 있어 독성물질이 석출되면 해양생물에 위해요소로 작용하기 때문에 해양생물과의 친화력이 부족하며, 따라서 해양생물의 산란, 서식 및 집어에 악영향을 끼치게 되는 문제점이 발생하였다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

따라서 본 발명은 상기한 종래의 문제점을 해결하기 위한 것으로,

본 발명의 주된 목적으로는 폐비닐수지를 사출성형하여 어초의 외형을 형성하는 직육면체형상의 케이스를 형성하고, 그 내부에 일정규격을 갖는 석재를 일정높이로 채워 설치하므로서, 해저에 설치 투하시 침강속도 및 접지압이 적어 시공중 파손위험이 적으며, 자중도 작아 매몰의 위험도 적을 뿐만 아니라, 설치후에는 해류의 흐름에 의한 유동되지 않도록 한 폐비닐을 이용한 인공어초를 제공하는 데 있다.

또 본 발명의 다른 목적으로는 케이스를 놓어촌에서 폐기되는 폐비닐수지를 이용하고, 케이스 내부에 채워지는 석재 또한 폐석을 이용하므로서, 자원을 재활용할 수 있도록 한 폐비닐을 이용한 인공어초를 제공하는 데 있다.

또 본 발명의 또 다른 목적으로는 직육면체로 되는 케이스의 각 면에 다수의 통공을 형성하여 어류와 해류흐름의 소통을 원활하게 하므로서, 해류 흐름의 정체를 방지할 수 있게 되어 수질악화를 예방할 수 있는 등의 환경오염을 최소화할 수 있도록 한 폐비닐을 이용한 인공어초를 제공하는 데 있다.

또, 본 발명의 또 다른 목적으로는 케이스 하부의 각 모서리에 케이스를 지지하기 위한 지지부를 형성하므로서, 해저에 설치되는 어초의 매몰을 방지토록 하고, 지지부로 인해 발생하는 케이스와 바닥면사이의 공간부를 통해 해류의 흐름을 원활하게 할 수 있도록 한 폐비닐을 이용한 인공어초를 제공하는 데 있다.

【발명의 구성】

상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은

어초의 외형을 형성하며, 폐비닐수지로 사출성형되는 직육면체형상의 케이스와; 어류와 해류 흐름의 소통이 원활하도록 상기 케이스의 각 면에 형성되는 다수의 통공과; 상기 어초를 해저에 투입설치시 쉽게 침강되도

록 하며, 설치후에는 해류에 의해 이동되는 것을 방지할 수 있도록 상기 케이스의 내부에 일정높이로 채워지는 일정규격의 석재로 이루어진다.

즉, 폐비닐수지로 되는 케이스 내부에 석재를 일정높이로 채워 어초를 형성하므로써, 해저에 설치 투하시 침강속도 및 접지압이 적어 시공중 파손위험을 최소화 할 수 있게 되며, 자중도 작아 매몰의 위험도 적을 뿐만 아니라, 설치후에는 해류의 흐름에 의한 유동되지 않게 된다.

또, 직육면체형상으로 되는 케이스의 각 면에 다수의 통공을 형성하므로써, 어류와 해류흐름의 소통을 원활하게 할 수 있게 되며, 어초 하부의 각 모서리에는 어초를 지지할 수 있는 지지부를 형성하므로써, 어초의 매몰을 방지할 수 있음은 물론, 해류 흐름의 정체를 방지할 수 있게 되어 수질악화를 예방할 수 있는 등의 환경오염을 최소화할 수 있게 된다.

이러한, 본 발명을 첨부된 도면에 의거하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

도 1은 본 발명에 따른 폐비닐수지를 이용한 인공어초의 분해사시도이고,

도 2는 본 발명에 따른 폐비닐수지를 이용한 인공어초의 결합사시도이다.

본 발명에 따른 인공어초는 도 1내지 도 2에 도시한 바와 같이, 먼저, 농어촌에서 폐기되는 폐비닐수지를 사출성형하여 어초(10)의 외형을 형성하는 케이스(11)를 형성한다.

이때, 케이스(11)의 각 면에는 해류의 흐름을 원활하게 하며, 어류의 소통이 원활하게 될 수 있도록 다수의 통공(12)을 형성하되, 그 통공(12)의 크기는 어류의 소통이 원활하고 해류의 흐름을 방해하지 않을 정도의 크기면 되는 것으로, 바람직하게는 각각의 통공(12)마다 0.15m의 폭과 0.7m의 높이를 갖도록 형성함이 바람직하다.

또, 케이스(11)의 각 표면에는 해조류와 미생물 등이 쉽게 부착될 수 있도록 표면처리를 한 표면처리부(11')를 형성함으로써, 해조류와 같은 부착성 생물의 서식처를 제공할 수 있게 된다.

이어, 상기 케이스(11) 내부에는 일정규격의 석재(13)를 일정높이로 채워 어초(10)를 해저에 투입설치시 쉽게 침강되도록 하며, 설치후에는 해류에 의해 이동되는 것을 방지할 수 있도록 한다.

이때, 상기 케이스(11)에 채워지는 석재(13)는 채석장에서 사용되고 폐기되는 폐석을 사용토록 하므로써, 콘크리트 구조물에 비해 해조류와 미생물의 부착력이 크게 되어 서식 어류의 먹이를 원활하게 제공할 수 있는 것이며, 그 크기는 해류의 흐름속도와 석재(13)의 규격을 참고하여야 하는 것으로, 서식어류의 크기를 감안하여 조정할 수 있으며, 바람직하게는 석재(13)의 직경을 0.2 ~ 0.3m로 형성하게 되면 유속이 5m/s 이하의 흐름에서 거동이 미미하게 되어 어초(10)의 안전에 영향을 주지 않게 된다.

또한, 어초(10) 내부의 공극을 증대하기 위하여 케이스(11)에 채워지는 석재(13)의 채움 높이는 케이스(11) 바닥으로부터 일정높이로 하되, 바람직하게는 바닥면으로부터 0.5m까지 채우면 될 것이고, 그 상부는 빈 공간으로 두어 수생식물이 착생할 수 있도록 하므로써, 어류들에게 휴식 및 산란공간을 제공할 수 있게 되고 이를 통해 큰 집어효과를 얻을 수 있게 된다.

이와같은 구성의 본 발명에 따른 인공어초에 의하면, 어초(10)의 단위 중량이 2.0t/㎡ 정도이고, 수중 단위 중량은 1.0t/㎡로서 콘크리트를 이용한 어초의 수중 단위 중량의 약 70%에 불과하게 된다. 따라서, 인공어초(10)를 해저에 설치투하시 침강속도가 적으므로 접지압이 적어서 시공 중 파손의 위험이 적으며, 자중도 작으므로 매몰의 위험도 적은 것이다.

또, 어초(10)의 외형을 유지하기 위한 케이스(11)는 농어촌에서 폐

기되는 폐비닐수지를 이용하여 사출형성하므로써, 자원을 재활용할 수 있을 뿐만 아니라, 농어촌의 환경오염을 방지할 수 있게 된다.

따라서, 비교적 빠른 기간내에 집어, 산란처 기능이 발휘되며, 어초(10)의 케이스(11) 내부에 채워진 석재(13)의 틈새로 치어들이 신속하게 이동하거나 대피할 수 있는 피신처를 제공할 수 있는 것이며, 이를 통해 치어의 보호 육성에 큰 효과를 얻을 수 있게 된다.

한편, 상기와 같은 어초(10)를 해저에 설치하는 데 있어 수심이 낮고 흐름이 빠르거나, 조석의 변화가 크며, 파랑이 심하면 어초(10)가 전도되거나 유동될 수 있는 것으로, 어초(10)를 설치하는 데 있어 조수 흐름과 조위의 변화, 파랑의 높이, 서식하는 어류의 기호는 어초(10)의 높이를 결정하는 중요한 요소인 것이다.

이중에서 어류의 기호는 어초(10)의 높이를 결정하는 데 있어 중요한 요소의 하나로서, 넙치 가재미, 문어 등 저층에서 서식하는 어류 또는 돔, 농어, 쓸뱅이 등 암초성 어류들의 먹이는 바닥에 쌓인 영양염류들이 소상하도록 난류를 발생하는 데 중요한 역할을 하게 되는 데, 보통, 어초(10)의 높이가 수심의 20% 정도가 될 때까지 난류가 증가하며, 바다의 바닥 저층에 서식하는 넙치, 볼락, 쥐노래미, 쓸뱅이 등 바닥접촉성 어류는 어초(10) 설치 후 약 5년이 경과 후 서식 수가 최고에 이르며, 참돔, 돌돔, 밴자리, 농어 등 어초(10)주변과 상층부에 서식하는 접촉 정지형 또는 부상 정지형 어류는 3년이 경과한 후에 서식환경이 안정되게 되는 것이다.

이를위해 도 3에 도시한 바와같이, 케이스(11)하단의 각 모서리에 케이스(11)를 지지하기 위하여 일정높이를 갖는 지지부(14)를 설치하므로써, 어초(10)를 어류의 기호에 맞게 설치할 수 있게 된다.

또, 이를 통해 어초(10)의 설치투하시 어초(10)가 설치되는 해저지형의 높낮이 및 암초 등의 유무에 관계없이 용이하게 설치할 수 있음은 물

론, 어초(10)의 매몰을 방지할 수 있게 된다.

또한, 어초(10)의 설치로 인해 해수의 유동이 느려서 수질오염이 우려되는 경우에 상기 지지부(14)로 인해 어초(10)가 바닥으로부터 일정간격 이격되게 되므로써, 그 이격된 공간을 통해 어초(10) 설치구역으로 입출되는 해수의 흐름을 원활히 하고, 어족의 서식공간을 확보할 수 있게 되어 해수 유동에 의하여 해수 흐름의 정체 방지 및 수질악화를 예방할 수 있게 된다.

또한, 상기와같은 인공어초(10)를 설치후에 지반이 세굴되게 되면, 도 4a 및 도 4b에 도시한 바와같이, 케이스(11)하부에 설치되는 지지부(14)를 이용하여 기 설치된 어초(10)의 상부에 계속해서 어초(10)를 덧쌓거나, 케이스(11)의 상,하부에 지지부(14)를 설치한 다음, 그 지지부(14)끼리 고정하여 덧쌓을 수 있는 것으로, 이와같이 어초(10)를 덧쌓으게 되면, 보수 및 보강공사가 용이함은 물론, 지지부(14)사이의 공간을 통해 해류의 흐름 정체를 방지할 수 있을 뿐만 아니라, 구조물이 해류에 의해 다소 이동되더라도 제 기능을 발휘할 수 있게 된다.

또, 상기와 같이 지반의 세굴화현상에 따라 어초(10)를 덧쌓아 침식성 해안과 방조제 및 방파제 주변에 다량의 어초군을 조성할 경우에는 해류가 인공어초(10)구간을 지나는 동안 파랑과 흐름 에너지가 소멸되게 되어 지반 하부의 세굴안정을 도모할 수 있게 되며, 인공어초(10) 배면에 퇴적을 조장할 수 있게 된다.

【발명의 효과】

이상에서와 같이, 본 발명은 폐비닐수지로 되는 케이스 내부에 석재를 일정높이로 채워 어초를 형성하므로써, 해저에 설치 투하시 침강속도 및 접지압이 적어 시공중 파손위험을 최소화 할 수 있게 되며, 자중도 작아 매몰의 위험도 적을 뿐만 아니라, 설치후에는 해류의 흐름에 의한 유동되지

않게 된다.

또, 직육면체형상으로 되는 케이스의 각 면에 다수의 통공을 형성 하므로써, 어류와 해류흐름의 소통을 원활하게 할 수 있게 되며, 어초 하부의 각 모서리에는 어초를 지지할 수 있는 지지부를 형성하므로써, 어류의 기호에 맞게 어초를 설치할 수 있음은 물론, 어초의 매몰을 방지할 수 있게 되며, 해류 흐름의 정체를 방지할 수 있게 되어 수질악화를 예방할 수 있는 등의 환경오염을 최소화할 수 있게 된다.

【특허청구범위】

【청구항 1】

어초(10)의 외형을 형성하며, 폐비닐수지로 사출성형되는 직육면체형상의 케이스(11)와; 어류와 해류 흐름의 소통이 원활하도록 상기 케이스(11)의 각 면에 형성되는 다수의 통공(12)과; 상기 어초(10)를 해저에 투입 설치시 쉽게 침강되도록 하며, 설치후에는 해류에 의해 이동되는 것을 방지할 수 있도록 상기 케이스(11)의 내부에 일정높이로 채워지는 일정규격의 석재(13)로 이루어진 것을 특징으로 하는 폐비닐을 이용한 인공어초.

【청구항 2】

제 1항에 있어서, 상기 케이스(11)의 표면에는 해조류 등이 부착하여 서식할 수 있도록 표면처리부(11')가 형성된 것을 특징으로 하는 폐비닐을 이용한 인공어초.

【청구항 3】

제 1항에 있어서, 상기 석재(13)는 직경이 0.2 ~ 0.3m의 폐석인 것을 특징으로 하는 인공어초.

【청구항 4】

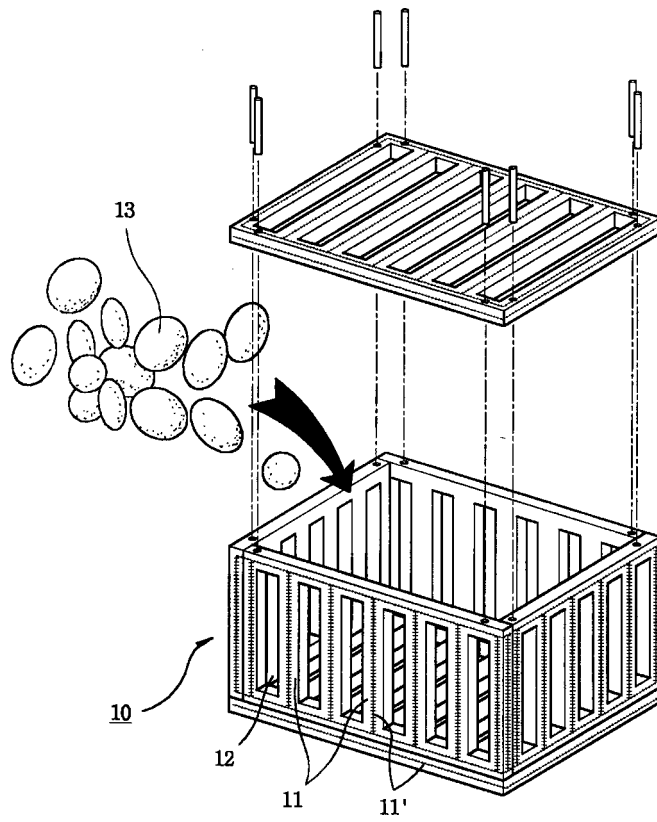
제 1항에 있어서, 상기 케이스(11)에 채워지는 석재(13)의 채움높이는 바닥면으로부터 약 0.5m인 것을 특징으로 하는 인공어초.

【청구항 5】

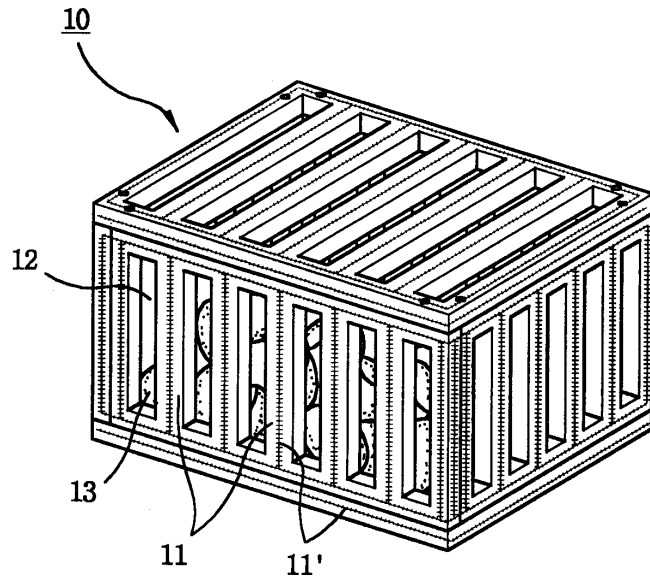
제 1항에 있어서, 상기 케이스(11) 하부의 각 모서리에는 일정높이를 갖는 지지부(14)가 형성된 것을 특징으로 하는 페비닐을 이용한 인공어초

【도면】

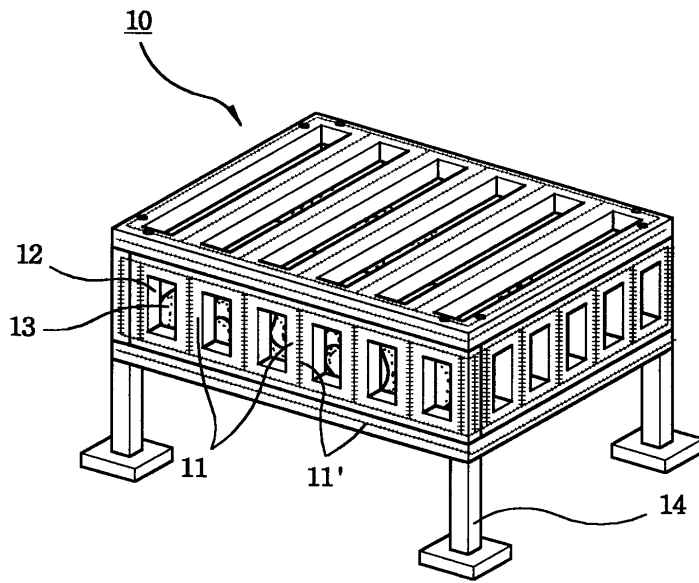
【도 1】



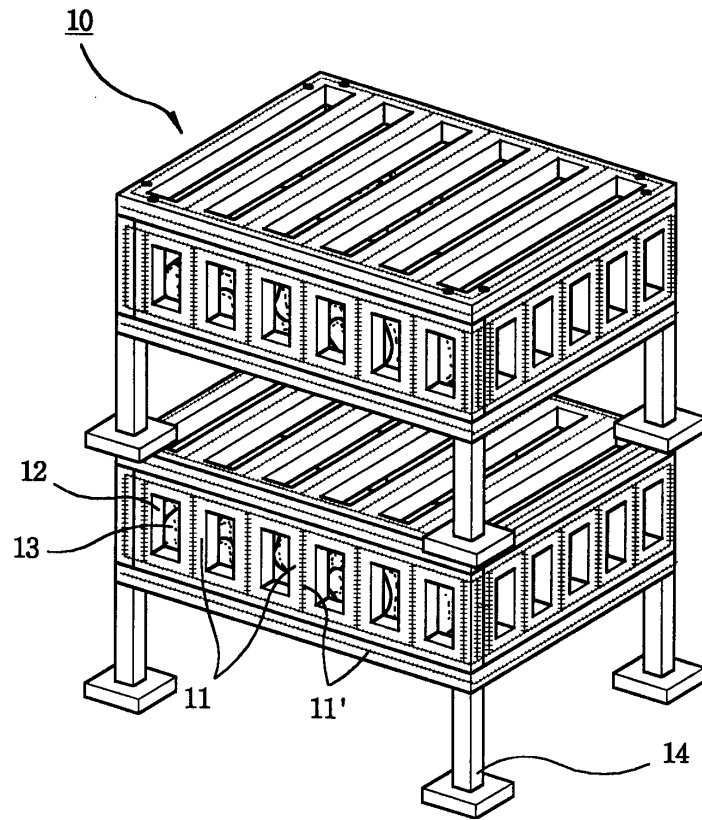
【도 2】



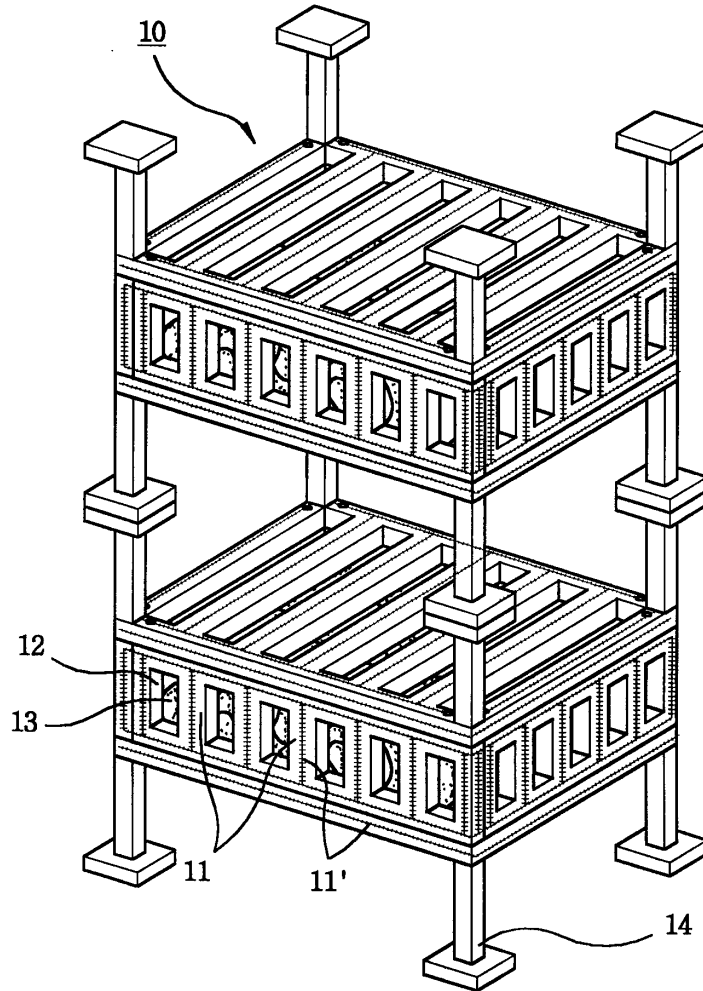
【도 3】



【도 4a】



【도 4b】



나. 돌망태를 이용한 인공어초

【요약서】

【요약】

본 발명은 돌망태를 이용한 인공어초에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 직육면체로 되는 어초의 외형을 금속망을 이용하여 제작하여 그 내부에 일정규격을 갖는 석재를 일정높이로 채우고, 그 상부에 가로, 세로, 수직의 3방향으로 관통된 유공관을 설치하므로서, 해조류가 부착할 수 있는 어초의 표면적을 넓히고, 유공관은 성어의 은신처로 활용하고, 돌 사이의 공극은 치어의 은신처와 산란장소로 활용할 수 있을 뿐만 아니라, 해저에 설치 투하시 침강속도 및 접지압이 적어 시공중 파손위험이 적으며, 설치후에는 해류의 흐름에 의한 유동 또한 없을 뿐만 아니라, 금속망 내부에 설치되는 석재 및 유공관을 폐기물을 이용하여 제작하므로서, 자원을 재활용할 수 있음은 물론, 상기 유공관을 통해 해류 흐름의 정체를 방지할 수 있게 되어 수질악화를 예방할 수 있는 등의 환경오염을 최소화할 수 있는 돌망태를 이용한 인공어초에 관한 것이다.

상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 인공어초는 금속재로 되어 어초(10)의 골격을 유지하기 위한 금속망(11)과; 해저에 투입설치시 쉽게 침강되도록 하며, 설치후에는 해류에 의해 이동되는 것을 방지할 수 있도록 상기 금속망(11)의 내부에 일정높이로 채워지는 일정규격의 석재(12)와; 상기 금속망(11)내부에 채워지는 석재(12)의 상부에 설치되며, 가로, 세로, 수직의 3방향으로 관통형성되는 유공관(13);으로 이루어진다.

【대표도】 도 3

【명세서】

【발명의 명칭】

돌망태를 이용한 인공 어초{}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 본 발명에 따른 돌망태를 이용한 인공 어초를 보인 분해사
시도.

도 2는 본 발명에 따른 돌망태를 이용한 인공 어초를 보인 결합사
시도.

도 3은 본 발명에 따른 돌망태를 이용한 인공 어초의 종단면도.

도면의 주요부분에 대한 부호의 설명

- | | |
|------------|----------|
| 10 ; 인공 어초 | 11 ; 금속망 |
| 11 ; 석재 | 13 ; 유공관 |

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

본 발명은 인공어초에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 직육면체로
되는 어초의 외형을 금속망을 이용하여 제작하여 그 내부에 일정규격을 갖
는 석재를 일정높이로 채우고, 그 상부에 가로, 세로, 수직의 3방향으로 관
통된 유공관을 설치하므로서, 해조류가 부착할 수 있는 어초의 표면적을 넓
히고, 유공관은 성어의 은신처로 활용하고, 돌 사이의 공극은 치어의 은신
처와 산란장소로 활용할 수 있을 뿐만 아니라, 해저에 설치 투하시 침강속
도 및 접지압이 적어 시공 중 파손위험이 적으며, 설치후에는 해류의 흐름
에 의한 유동 또한 없고, 금속망 내부에 설치되는 석재 및 유공관을 폐기물
을 이용하여 제작하므로서, 자원을 재활용할 수 있음은 물론, 상기 유공관
을 통해 해류 흐름의 정체를 방지할 수 있는 돌망태를 이용한 인공어초에
관한 것이다.

일반적으로 인공어초(人工魚礁)라 함은 해안 회유성 어류 및 저서
어류와, 연근해에 서식하는 패류 등의 은신처 뿐만 아니라, 산란장소를 제

공함으로써, 수자원을 보호하고 또한 동, 식물성 플라크톤 및 해초류의 증식을 통하여 치어의 생육을 촉진하기 위하여 해저에 투입 설치되는 것이다.

이와같은 어초는 해저에 다량 투입되기에 저가이어야 하며, 해양투기시 또는 설치후에는 해류에 의하여 이동하거나 유실되지 않을 정도의 중량을 가져야 할 뿐만 아니라, 해양생물의 산란, 서식 및 집어에 적당하고 또한 해수에 강한 소재로 이루어져야 하는 등의 조건을 충족하여야 한다.

이러한 용도로 사용되는 종래의 인공어초는 직육면체의 콘크리트 구조물로 제작되므로써, 그 단위중량이 커 설치투하시 침강속도가 빠르게 되어 바닥과의 접지압이 크게 되고 따라서 시공 중 파손의 위험이 있으며, 심한 경우에는 매몰의 위험 또한 발생하였다.

또, 콘크리트 어초는 설치 후 유황성 물질이 소산된 후에야 제 기능을 발휘하게 되며, 오랜 기간이 지나고 나면 균열 등으로 어초의 기능을 상실하게 되었으며, 해조류와 미생물의 부착능력이 떨어져 서식어류의 먹이를 제공할 수 없는 문제점이 발생하였다.

또한, 콘크리트 어초는 해수중에서 강알카리성 물질이 용출될 뿐만 아니라, 특히, 염분에 약하기 때문에 빨리 부식되어 내구성이 떨어지고, 또 독성물질이 함유되어 있어 독성물질이 석출되면 해양생물에 위해요소로 작용하기 때문에 해양생물과의 친화력이 부족하며, 따라서 해양생물의 산란, 서식 및 집어에 악영향을 끼치게 되는 문제점이 발생하였다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

따라서 본 발명은 상기한 종래의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 주된 목적으로는 직육면체로 되는 어초의 외형을 금속망을 이용하여 제작하여 그 내부에 일정규격을 갖는 석재를 일정높이로 채우고, 그 상부에 가로, 세로, 수직의 3방향으로 관통된 유공관을 설치하므로써, 해저에 설치 투하시 침강속도 및 접지압이 적어 시공중 파손위험을 최소화 할

수 있음은 물론, 자중도 작아 매물의 위험도 적을 뿐만 아니라, 설치후에는 해류의 흐름에 의한 유동되지 않도록 한 돌망태를 이용한 인공어초를 제공하는 데 있다.

또 본 발명의 다른 목적으로는 금속망 내부에 채워지는 석재를 폐석을 이용하고, 설치되는 유공관 또한 폐기물을 이용하여 제작하므로써, 자원을 재활용할 수 있도록 한 돌망태를 이용한 인공어초를 제공하는 데 있다.

또 본 발명의 또 다른 목적으로는 금속망 내부에 설치되는 유공관을 통해 해류 흐름의 정체를 방지할 수 있도록 한 돌망태를 이용한 인공어초를 제공하는 데 있다.

【발명의 구성】

상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은

금속재로 되어 어초의 외형을 유지하기 위한 금속망과; 해저에 투입설치시 쉽게 침강되도록 하며, 설치후에는 해류에 의해 이동되는 것을 방지할 수 있도록 상기 금속망의 내부에 일정높이로 채워지는 일정규격의 석재와; 상기 석재의 상부에 설치되며, 가로, 세로, 수직의 3방향으로 관통형성되는 유공관;으로 이루어진다.

즉, 금속망 내부에 석재를 일정높이로 채우고, 그 상부에 해류 흐름을 원활하게 하기 위한 유공관을 설치하므로써, 해저에 설치 투하시 침강속도 및 접지압이 적어 시공중 파손위험을 최소화 할 수 있게 되며, 자중도 작아 매물의 위험도 적을 뿐만 아니라, 설치후에는 해류의 흐름에 의한 유동되지 않게 된다.

또, 금속망 내부의 석재 및 유공관을 폐기물을 이용하여 제작하므로써, 자원을 재활용할 수 있음은 물론, 유공관을 통해 해류 흐름의 정체를 방지할 수 있게 되어 수질악화를 예방할 수 있는 등의 환경오염을 최소화할

수 있게 된다.

이러한, 본 발명을 첨부된 도면에 의거하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

도 1은 본 발명에 따른 돌망태를 이용한 인공 어초를 보인 분해사 시도이고,

도 2는 본 발명에 따른 돌망태를 이용한 인공 어초를 보인 결합사 시도이며,

도 3은 본 발명에 따른 돌망태를 이용한 인공 어초의 종단면도이다.

본 발명에 따른 돌망태를 이용한 인공어초는 도 1내지 도 3에 도시한 바와 같이, 먼저, 어초의 골격을 유지할 수 있도록 테두리를 형성하는 금속망(11)을 형성한다.

이때, 금속망(11)은 해수에 의한 부식을 방지할 수 있도록 내부식성 및 내염성을 갖는 PVC용융철선을 사용함이 바람직하며, 이를 통해 부식에 따른 환경오염을 방지할 수 있는 것이며, 이와같은 PVC용융철선은 빛의 반사에 의한 집어 기능이 있음은 물론, 철선은 문어 등의 부착성 어류의 서식처를 제공할 수 있게 된다.

이어, 상기 금속망(11) 내부에는 일정규격의 석재(12)를 일정높이로 채워 어초(10)를 해저에 투입설치시 쉽게 침강되도록 하며, 설치후에는 해류에 의해 이동되는 것을 방지할 수 있도록 한다.

이때, 상기 금속망(11)에 채워지는 석재(12)는 채석장에서 사용되고 폐기되는 폐석을 사용토록 하므로써, 콘크리트 구조물에 비해 해조류와 미생물의 부착력이 크게 되어 서식 어류의 먹이를 원활하게 제공할 수 있는 것이며, 그 크기는 해류의 흐름속도와 석재(12)의 규격을 참고하여야 하는 것으로, 서식어류의 크기를 감안하여 조정할 수 있으며, 바람직하게는 석재

의 직경을 0.2 ~ 0.3m로 형성하게 되면 유속이 5m/s 이하의 흐름에서 거동이 미미하여 어초의 안전에 영향을 주지 않게 된다.

또한, 어초(10) 내부의 공극을 증대하기 위하여 금속망에 채워지는 석재(12)의 채움 높이는 후에 설치되는 유공관(13)의 바닥면 이하로 하되, 바람직하게는 바닥면으로부터 0.3m까지 채우면 될 것이고, 유공관(13)을 설치하고 난 빈 공간(약 65% 정도)은 어류들의 휴식공간으로 활용할 수 있도록 한다.

이어, 상기 석재(12)의 상부는 해수의 흐름을 원활히 하고, 어족의 서식공간을 확보할 수 있도록 유공관(13)을 설치하여 이루어진다.

이때, 해수의 흐름을 원활히 하고, 어족의 서식공간을 확보하기 위하여 석재(12) 상부에 설치되는 상기 유공관(13)은 가로, 세로, 수직의 3방향으로 관통형성되도록 하며, 그 재질로는 해수에 대한 내염성과 내구성이 있는 PVC 유공관과, 농어촌에서 폐기되는 폐비닐수지를 이용하여 제작할 수 있는 것이며, 폐비닐수지를 사용하는 경우 자원의 재활용 기능을 높일 수 있게 된다.

또한, 상기 목적으로 설치되는 유공관(13)의 설치높이는 바닥에 토사가 쌓이더라도 매몰되지 않을 정도의 높이면 될 것으로, 바람직하게는 유공관(13)의 바닥이 하상에서 0.5m이상이 되도록 함이 바람직하다.

이와같은 구성의 본 발명에 따른 돌망태를 이용한 인공어초에 의하면, 어초(10)의 단위 중량이 2.0t/m³ 정도이고, 수중 단위 중량은 1.0t/m³로서 콘크리트를 이용한 어초의 수중 단위 중량의 약 70%에 불과하게 된다. 따라서, 인공 어초(10)를 해저에 설치투하시 침강속도가 적으므로 접지압이 적어서 시공 중 파손의 위험이 적으며, 자중도 작으므로 매몰의 위험도 적은 것이다.

또, 어초(10)의 외형을 유지하기 위하여 금속망(11) 즉, PVC용융철

선을 이용하여 형성하므로써, PVC용융철선을 이용하는 데 따른 빛의 반사에 의해 집어효과를 얻을 수 있음은 물론, 상기 PVC용융철선은 문어 등의 부착성 어류의 서식처를 제공할 수 있게 된다.

또한, 인공어초(10)내부에 설치되는 유공관(13)을 통해 해수의 유동이 느려서 수질오염이 우려되는 경우에 어초(10) 설치구역으로 입출되는 해수의 흐름을 원활히 하고, 어족의 서식공간을 확보할 수 있게 되어 해수 유동에 의하여 해수 흐름의 정체 방지 및 수질악화를 예방할 수 있게 되며, 그 유공관(13)에는 수생식물이 착생할 수 있게 되어 어류들에게 휴식 및 산란공간을 제공하게 되므로써 이 역시 큰 집어효과를 얻을 수 있게 된다.

이때, 상기 용도로 사용되는 유공관(13)에는 약 직경 1cm 정도의 구멍을 설치할 수 있으며, 그 구멍들을 통해 산란된 치어들이 금속망(11)내부에 설치되는 석재(12) 틈새로 신속하게 이동하거나 대피할 수 있는 통로를 제공할 수 있는 것이며, 이를 통해 치어의 보호 육성에 큰 효과를 얻을 수 있게 된다.

또, 상기 유공관(13)은 해수에 대한 내염성과 내구성이 있는 PVC 유공관과, 페비닐 재료를 사용하여 제작할 수 있으며, 페비닐 재료를 사용하는 경우 자원을 재활용할 수 있는 것이다.

따라서, 비교적 빠른 기간내에 집어, 산란처 기능이 발휘되며, 바다 지형에 따라서 구조물 형태가 신속하게 변형되고 안정되어 장기간 동안 제 기능을 발휘할 수 있게 되며, 어초(10) 내부에 채워진 석재(12)의 틈새를 통해 치어들의 피신처를 제공할 수 있게 된다.

한편, 상기와같은 인공어초(10)를 설치후에 지반이 세굴되게 되면, 기 설치된 어초(10)의 상부에 계속해서 어초(10)를 덧쌓을 수 있으며, 이렇게 어초(10)를 덧쌓을 때에는 어초(10)끼리의 엇물림효과(interlocking effect)가 크게 되므로, 그 기능을 지속적으로 발휘할 수 있게 되며, 보수

및 보강공사가 용이함은 물론, 어초(10)가 직육면체로 구성되므로서, 구조물이 해류에 의해 다소 이동되더라도 제 기능을 발휘할 수 있게 된다.

또, 상기와 같이 지반의 세굴화현상에 따라 어초(10)를 덧쌓아 침식성 해안과 방조제 및 방파제 주변에 다량의 어초군을 조성할 경우에는 해류가 인공어초(10)구간을 지나는 동안 파랑과 흐름 에너지가 소멸되게 되어 지반 하부의 세굴안정을 도모할 수 있게 되며, 인공어초(10) 배면에 퇴적을 조장할 수 있게 된다.

【발명의 효과】

이상에서와 같이, 본 발명은 금속망 내부에 일정규격의 석재를 일정높이로 채우고, 그 상부에 해류 흐름을 원활하게 하기 위한 유공관을 설치하므로서, 해저에 설치 투하시 침강속도 및 접지압이 적어 시공중 파손위험을 최소화 할 수 있게 되며, 자중도 작아 매물의 위험도 적을 뿐만 아니라, 설치후에는 해류의 흐름에 의한 유동을 방지할 수 있게 된다.

또, 금속망 내부의 석재 및 유공관을 폐기물을 이용하여 제작하므로서, 자원을 재활용할 수 있음은 물론, 유공관을 통해 해류 흐름의 정체를 방지할 수 있게 되어 수질악화를 예방할 수 있는 등의 환경오염을 최소화할 수 있게 된다.

【특허청구범위】

【청구항 1】

금속재로 되어 어초의 골격을 유지하기 위한 금속망(11)과; 해저에 투입설치시 쉽게 침강되도록 하며, 설치후에는 해류에 의해 이동되는 것을 방지할 수 있도록 상기 금속망(11)의 내부에 일정높이로 채워지는 일정규격의 석재(12)와; 상기 금속망(11)내부에 채워지는 석재(12)의 상부에 설치되는 유공관(13);으로 이루어진 것을 특징으로 하는 돌망태를 이용한 인공어초.

【청구항 2】

제 1항에 있어서, 상기 금속망(11)은 내부식성 및 내염성을 갖는 PVC용융철선으로 이루어진 것을 특징으로 하는 돌망태를 이용한 인공어초.

【청구항 3】

제 1항에 있어서, 상기 석재(12)의 직경이 0.2 ~ 0.3m의 폐석인 것을 특징으로 하는 돌망태를 이용한 인공어초.

【청구항 4】

상기 제 1항 또는 제 3항에 있어서, 상기 어초(10)에 채워지는 석재(12)의 채움 높이는 바닥면으로부터 0.3m까지인 것을 특징으로 하는 돌망태를 이용한 인공어초.

【청구항 5】

제 1항에 있어서, 상기 유공관(13)은 가로, 세로, 수직의 3방향으로 관통형성되며, 그 직경은 0.2 ~ 0.3m인 것을 특징으로 하는 돌망태를 이용한 인공어초.

【청구항 6】

제 1항 또는 제 5항에 있어서, 상기 유공관(13)은 폐비닐수지를 이용한 것을 특징으로 하는 돌망태를 이용한 인공어초.

【청구항 7】

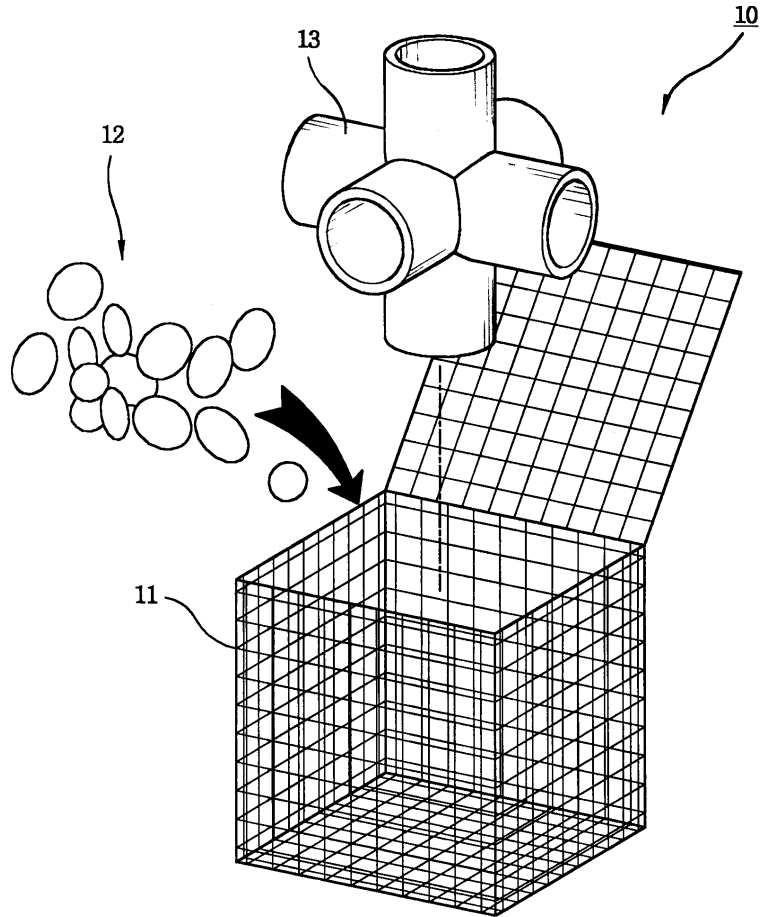
제 1항 또는 제 5항에 있어서, 상기 유공관(13)은 PVC를 이용한 것을 특징으로 하는 돌망태를 이용한 인공어초.

【청구항 8】

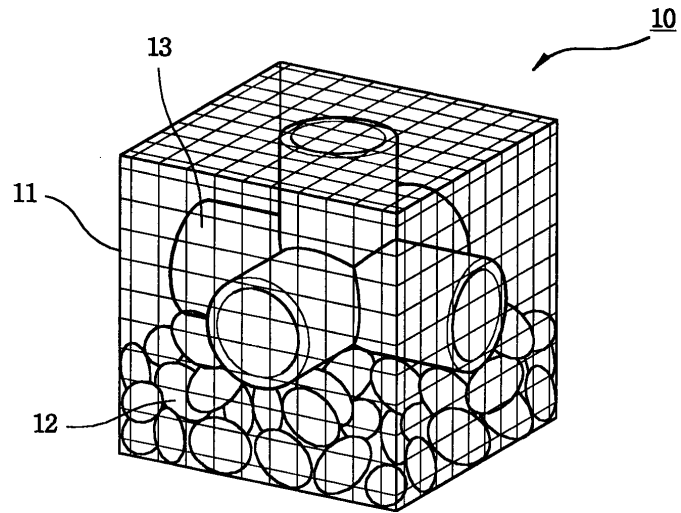
제 1항 또는 제 5항에 있어서, 상기 유공관(13)의 설치높이는 바다에 토사가 쌓이더라도 매몰되지 않도록 유공관(13)의 바닥이 하상에서 0.5m 이상으로 형성한 것을 특징으로 하는 돌망태를 이용한 인공어초.

【도면】

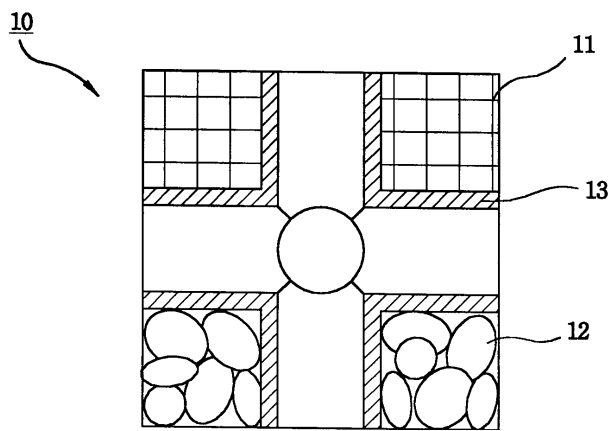
【도 1】



【도 2】



【도 3】



2. 녹화토를 이용한 돌망태와 그 제조공법 특허출원 내역

【요약서】

【요약】

본 발명은 하천이나 호안등에 구축되는 제방 또는 절개지의 사면을 보호하기 위해 사용되는 돌망태와 그 제조공법에 관한 것으로, 이를 위한 본 발명은 천연유기질 발효비료 10 ~ 20중량%, 양질의 선별토양 70 ~ 80 중량%와 녹화보조제 10중량%로 구성되는 녹화토 5 ~ 20중량%를 돌망태의 최상부 및 경사면에서 살포하여 일정시간 경화시켜 제조하므로서, 돌망태 내부의 공극률을 필요에 따라 조절할 수 있게 되어 내구성과 토압 등 외력을 흡수할 수 있는 유연성을 증대토록 함은 물론, 돌망태 표면에 식생을 조성토록 하므로서, 환경친화적 수리구조물로 자연생태계 보전 및 복원을 추진할 수 있게 된다. 또한, 대규모 아파트 재건축 현장 등에서 발생하는 콘크리트 폐기물을 돌망태 채움돌 대신에 사용하는 경우 폐자재 재활용 효과도 높일 수 있다.

【대표도】

도 1

【색인어】

돌망태, 녹화토, 제방, 절개지, 수리구조물

【명세서】

【발명의 명칭】

녹화토를 이용한 돌망태와 그 제조공법(Seed bed Gabion and its manufacturing method)

【도면의 간단한 설명】

도 1은 본 발명에 따른 녹화토를 이용한 돌망태를 보인 단면도.

도면의 주요부분에 대한 부호의 설명

10 : 돌망태	11 : 채움돌
12 : 녹화토	13 : 부직포

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

본 발명은 하천이나 호안등에 구축되는 제방 또는 절개지의 사면을 보호하기 위해 사용되는 돌망태와 그 제조공법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 천연유기질 발효비료 10 ~ 20중량%, 양질의 선별토양 70 ~ 80중량%와 녹화보조제 10중량%로 구성되는 녹화토 5 ~ 20중량%를 돌망태의 최상부 및 경사면에서 살포하여 일정시간 경화시켜 제조하므로써, 돌망태 내부의 공극률을 필요에 따라 조절할 수 있게 되어 내구성과 토압 등 외력을 흡수할 수 있는 유연성을 증대토록 함은 물론, 돌망태표면에 식생을 조성 하므로써, 환경친화적 수리구조물로 자연생태계 보전 및 복원을 추진할 수 있도록 녹화토를 이용한 돌망태와 그 제조공법에 관한 것이다. 또한, 대규모 아파트 재건축 현장 등에서 발생하는 콘크리트 폐기물을 돌망태 채움돌 대신에 사용하는 경우 폐자재 재활용 효과도 높일 수 있도록 포함될 수 있다.

일반적으로 돌망태라 함은 아연 도금선, PVC피복선 등을 개별 형태의 꼬아 육각 또는 사각망목의 형상으로 형성하고, 이들 망목을 서로 엮어서 만든 금속망의 내부에 일정규격의 석재를 일정높이로 채워서 만든 것으로, 이러한 돌망태는 하천, 호안, 해안등의 제방이나 독을 설치하거나 절개지 사면의 견고성 및 안정성과 환경보존적인 기능을 높이거나, 불안정한 지반에서 외부의 영향, 즉 강한 비바람이나 파도 등의 영향으로 지반이 약해져 발생하는 지반의 침하를 견딜 수 있도록 사용됨은 물론 도로벽면 보호, 도로유실방지, 교각바닥면의 세굴방지, 강변도로유실방지, 하천변 보존, 하천의 낙차공, 호안블럭, 인공어초 등의 다양한 방면에 다용도로 이용되고 있는 실정이다.

그러나, 이러한 용도로 사용하는 돌망태는 아연도금선, PVC피복선 등으로 되는 금속망이 원형이나 사각형 및 다수의 육면체가 연속으로 결합된 형태(gabion)로 형성되어 있고, 내부에 다수의 채움돌을 채워 제조하므로써, 돌망태에 채워지는 채움돌 사이의 공극률이 높아(약 30%) 그 공극 사이로 석재와 함께 흙을 채우더라도 쉽게 빠져나가게 되어 초본류 및 목본류의 식생이 매우 어려운 문제가 발생하며, 이런 현상은 하천수의 수압이 강하거나 유속이 빠른 지형에 설치하였을 경우 더욱 심하다.

이런 경우 생태계가 단절되어 생물의 생식공간이 파괴되게 되므로서, 자연생태계가 파괴되는 현상이 발생하였다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

따라서, 본 발명은 상기한 종래의 문제점을 해결하고 개선하기 위한 것으로, 본 발명의 주된 목적으로는 돌망태의 최상부 및 경사면에 유기질 발효비료, 양질의 선별토양 및 녹화보조제로 구성되는 녹화토를 일정 비율로 살포하여 돌망태를 제조하므로써, 돌망태 내부의 공극률을 필요에 따

라 조절할 수 있게 되어 내구성과 토압 등 외력을 흡수할 수 있는 유연성을 증대토록 한 녹화토를 이용한 돌망태와 그 제조공법을 제공하는 것이다.

본 발명의 다른 목적으로는 돌망태 표면에 식생을 조성할 수 있도록 하므로서, 환경친화적 수리구조물로 자연생태계 보전 및 복원을 추진할 수 있도록 한 녹화토를 이용한 돌망태와 그 제조공법을 제공하는 데 있다.

【발명의 구성】

상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은

천연유기질 발효비료 10 ~ 20중량%, 양질의 선별토양 70 ~ 80중량%와 녹화보조제 10중량%로 구성되는 녹화토를 돌망태의 최상부 및 경사면에서 순서대로 살포하되 돌망태 중량에 대하여 5 ~ 20중량%의 녹화토를 살포한 다음, 일정 시간 경화시켜서 제조한다.

즉, 돌망태의 최상부 및 경사면에 유기질 발효비료, 양질의 선별토양과 녹화보조제로 구성되는 녹화토를 일정 비율로 살포한 다음, 경화시켜 제조하므로서, 돌망태 내부의 공극률을 필요에 따라 조절할 수 있게 된다.

따라서, 내구성과 토압 등 외력을 흡수할 수 있는 유연성을 증대시킬 수 있게 됨은 물론, 돌망태표면에 식생을 추진할 수 있게 되어 환경친화적 수리구조물로 자연생태계 보전 및 복원을 추진할 수 있게 된다.

이러한, 본 발명을 첨부된 도면에 의거하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

도 1은 본 발명에 따른 녹화토를 이용한 돌망태를 보인 단면도이다.

본 발명에 따른 녹화토를 이용한 돌망태와 그 제조공법은 먼저 도 1에 도시한 바와 같이, 시공 대상 위치의 경사면 및 호안에 돌망태를 축조한 다음, 그 돌망태 최상단의 평면 및 경사면에 돌망태(10)를 시공한다.

이 때 최상단 평면 및 경사면의 돌망태 공극에만 녹화토양을 살포하는 것이 본 발명의 특징이라 하겠다. 하상 및 지반과 접한 돌망태의 하단부에 녹화토양을 살포할 경우 공극이 감소하여 돌망태 구조물의 최대 장점이라고 할 수 있는 공극을 통한 배수 효과와 수압 감소 효과를 격감시킬 수 있다. 또한 공극이 줄어들면 그 만큼 공극을 통과하는 물의 수압과 유속이 빨라져 주위의 녹화토양이나 영양분을 씻어내는 결과를 초래하기 때문에 구조적인 면에서나 기능적인 면에서나 최상단 및 경사면의 돌망태에만 녹화토양을 살포하는 것이 좋다. 유속이 빠르면 돌망태 배면의 퇴적물이 침식되어 붕괴될 수 있기 때문에 공극을 필요이상으로 감소시키는 것은 바람직하지 않다. 또한 식물이 잘 성장하기 위해서는 통기가 잘되어야 하는데 돌망태 채움돌 사이의 공극은 공기의 이동통로 역할을 하기 때문에 식물의 성장에도 좋은 역할을 할 수 있다. 이상의 이유 때문에 본 발명에서는 돌망태 구조물의 최상단부 및 경사면에만 녹화토양을 살포하는 것으로 하였다.

이와같이, 최상단에 시공하는 돌망태는 도면에서와 같이 일정한 깊이(20 ~ 10cm)에 부직포(13)를 포설한 다음, 그 시공된 부직포(13)의 상부 내부에 다수의 채움돌(11)이 채워진 돌망태(10)를 시공하고, 그 돌망태(10)에 채워진 채움돌(11)사이의 공극에 녹화토(12)를 살포한다. 이때 살포되는 녹화토(12)는 천연유기질 발효비료 즉, 완숙퇴비 10 ~ 20중량%, 양질의 선별토양 70 ~ 80중량%와 녹화보조제 10중량%로 구성되는 녹화토(12)를 살포하되, 돌망태(10) 중량에 대하여 5 ~ 20중량%의 녹화토(12)를 돌망태(10)의 최상부 및 경사면에서 순서대로 살포한 후, 일정시간 경화시켜서 제조한다.

양질의 선별 토양은 식물이 식생할 수 있도록 뿌리가 활착되도록 하는 것으로서, 각종 식물들이 식생하기 용이한 것으로 부엽토, 진흙, 모래 등이 혼합된 것이 바람직하다. 식생될 식물의 종류는 서식 환경에 따라 적

합한 것을 선별하며, 돌망태(10)내부의 공극이 많으면 토양수분의 공급이 어려워므로 한발에 강한 식물이 바람직하며, 수분 공급이 용이한 하천변이나 호안에서는 좀더 다양하게 식재할 수 있다.

녹화토 중에서 선별 토양의 사용량이 70중량% 미만일 경우에는 각종 식물의 식생이 용이하지 못하고, 80중량%를 초과할 경우에는 돌망태의 표면으로부터 녹화토가 살포되어지는 양이 많아져 배수성이 저하되는 문제점이 있다.

천연유기질 발효비료는 녹화토에 식물의 활착과 성장을 용이하게 하는 것으로, 농업 분야에서 사용되는 발효 비료가 모두 사용 가능하며, 식생될 식물의 종류에 따라 식물의 생육에 적합한 것을 선별하여 사용할 수 있다.

천연유기질 발효비료의 사용량이 10중량% 미만일 경우에는 식생될 식물의 활착과 용이하지 못한 단점이 있고, 20중량%를 초과할 경우에는 추후에 녹화토의 양이 감소하여 식물의 활착이 용이하지 못한 문제점이 있다.

녹화보조제는 식생될 식물이 성장하는 데 도움이 되는 성분들이면 모두 사용이 가능하며, 10중량%를 사용하는 것이 바람직하다.

상기와 같이 구성되는 녹화토(12)는 돌망태(10) 중량에 대하여 5 ~ 20중량%를 사용하는 것이 바람직하며, 사용량이 5중량% 미만일 경우에는 돌망태(10)의 공극율이 너무 높고 녹화토(12)의 사용량이 적어 식생될 식물의 활착이 용이하지 못하여 녹화가 거의 불가능한 단점이 있고, 20중량%를 초과할 경우에는 돌망태(10)의 공극율이 낮아져 식생될 식물의 뿌리가 썩거나 배수 효과가 저하되어 돌망태(10) 본연의 효과를 발현하지 못하는 문제점이 있다.

녹화토(12)는 시공된 돌망태의 표면으로부터 살포되어 돌들 사이로 함입되며, 일정 시간이 경과되어 경화된 후에 식생을 하거나 자연 식생이

되도록 한다.

또한, 대규모 아파트 재건축 현장 등에서 발생하는 콘크리트 폐기물을 잘게 만들어서 돌망태 채움돌 대신에 사용할 수 있으며, 이는 녹화토(12)로 다시 피복되므로서 경관을 해치지 않으며, 폐자재 재활용 효과도 높일 수 있다.

이와 같은 구성의 본 발명에 따른 녹화토를 이용한 돌망태와 그 제조 공법에 의하면, 녹화토(12)가 혼합된 돌망태(10)를 제조할 때, 공장 등의 별도의 제조처에 제조하여 설치하는 것이 아니라, 시공 대상 위치에 다단의 돌망태를 쌓은 다음, 그 상부 및 경사면에서 도입식물의 뿌리 근입 깊이 정도에 부직포(13)를 포설하여 녹화토(12)의 유실 및 침하를 방지하고, 그 위에 천연유기질 발효비료, 양질의 선별토양, 녹화보조제가 함유된 녹화토(12)를 살포하여 제조하게 되므로서, 제조 및 시공이 간편 용이한 것이다.

또, 천연유기질 발효비료 및 양질의 선별토양과 녹화보조제로 구성되는 녹화토(12)의 살포량에 따라 돌망태(10) 내부의 공극률을 0% ~ 30%이하로 조절할 수 있게 됨으로 인해 물의 이동통로를 확보할 수 있게 되어 초본류 및 목본류의 식생에 적합하게 되고, 이를 통해 생태계 단절을 방지하게 되므로서, 생물의 생식공간이 파괴되지 않게 됨은 물론, 더 나아가 자연생태계가 파괴되는 현상을 방지할 수 있게 된다.

또한, 살포된 녹화토(12)는 식생의 생육터전이 될 뿐만 아니라, 돌망태(10) 표면에 서식하는 식물들은 돌망태의 석재와 조화를 이루어 자연미를 증대시킬 수 있게 된다. 아울러, 상기 녹화토양 및 식물의 뿌리가 돌망태의 외관을 이루는 철선재료와 내부에 채워지는 석재의 결합을 유도하는 역할을 수행하며, 피복식물이 철선의 피복재료에 대한 자외선 차단 효과가 발생하고 경사가 완만한 제방 등에서는 돌망태 중량을 높이므로서 구조물

자체의 강도를 증대시키는 역할도 한다.

따라서, 본 공법은 식물의 자연생육이 곤란한 돌망태의 구조물에 녹화토양을 도입하여 식물군락의 지속적 보전에 기여하고, 자연 생태계의 복원 및 경관을 보전할 수 있게 된다. 또한 돌망태 구조물의 친환경성을 증대시킴으로서 환경 친화적 구조물로서 다양하게 적용될 수 있는 것이다.

【발명의 효과】

이상에서와 같이, 본 발명은 시공 대상 위치의 경사면에 부직포를 시공한 다음, 그 시공된 부직포의 상부에 다량의 채움돌로 채워진 돌망태를 쌓아 시공한 후, 돌망태의 최상부 및 경사면에는 천연유기질 발효비료 즉, 완속퇴비 10 ~ 20중량%, 양질의 선별토양 70 ~ 80중량%와 녹화보조제 10 중량%로 구성되는 녹화토 살포하되 돌망태 중량에 대하여 5 ~ 20중량%의 녹화토를 돌망태의 최상부 및 경사면에서 순서대로 살포한 후, 일정시간 경화시켜서 제조하므로써, 돌망태 내부의 공극률을 필요에 따라 조절할 수 있게 된다. 따라서, 내구성과 토압 등 외력을 흡수할 수 있는 유연성을 증대시킬 수 있게 됨은 물론, 돌망태표면에 식생을 추진할 수 있게 되어 환경친화적 수리구조물로 자연생태계 보전 및 복원을 추진할 수 있게 된다. 또한, 대규모 아파트 재건축 현장 등에서 발생하는 콘크리트 폐기물을 잘게 만들어서 돌망태 채움돌 대신에 사용할 수 있으며, 이는 녹화토로 다시 피복되므로써 경관을 해치지 않으며, 폐자재 재활용 효과도 높일 수 있다.

【특허청구범위】

【청구항 1】

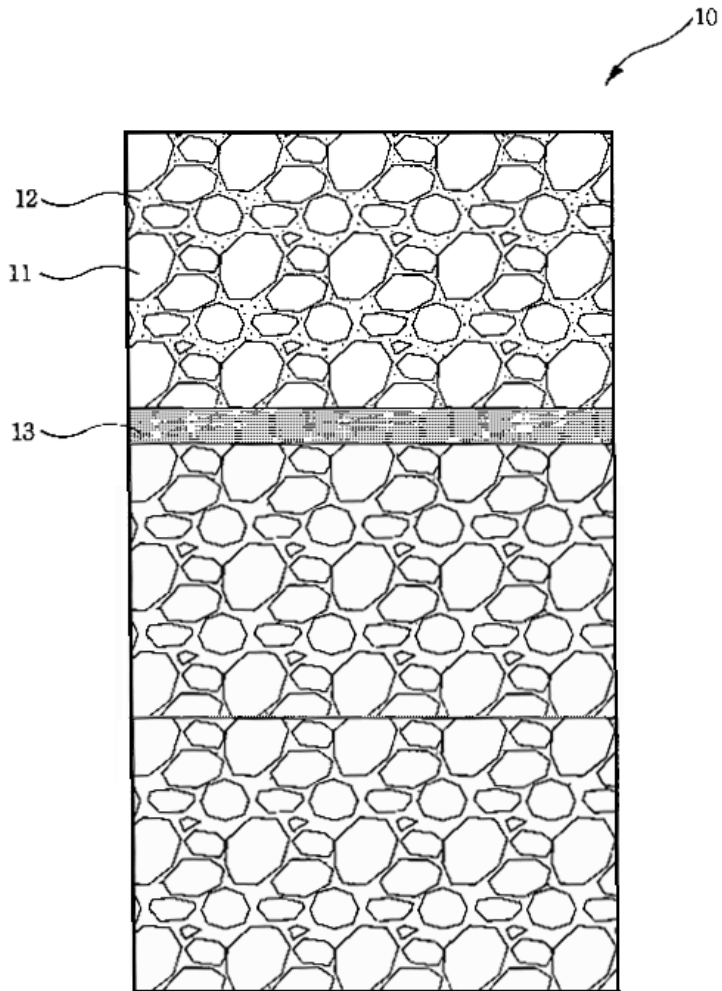
시공 대상 위치의 경사면에 부직포를 시공한 다음, 그 시공된 부직포의 상부에 내부에 다수의 채움돌이 채워진 돌망태를 쌓아 시공한 후, 돌망태의 최상부 및 경사면에는 천연유기질 발효비료 10 ~ 20중량%, 양질의 선별토양 70 ~ 80중량%와 녹화보조제 10중량%로 구성되는 녹화토를 살포하되, 돌망태 중량에 대하여 5 ~ 20중량%의 녹화토를 돌망태의 최상부 및 경사면에서 순서대로 살포한 후, 일정시간 경화시키는 것을 특징으로 하는 녹화토를 이용한 돌망태의 제조공법.

【청구항 2】

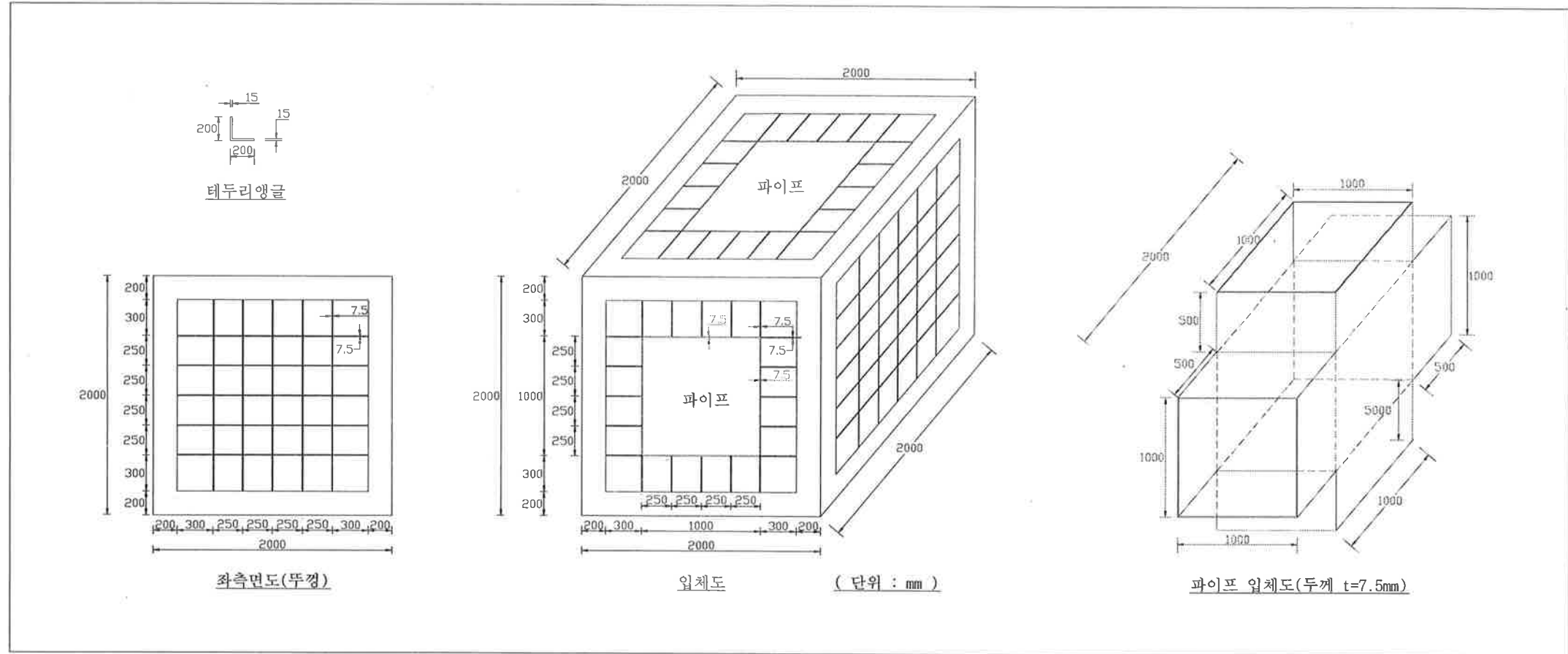
천연유기질 발효비료 10 ~ 20중량%, 양질의 선별토양 70 ~ 80중량%와 녹화보조제 10중량%로 구성되는 녹화토 살포하되 돌망태 중량에 대하여 5 ~ 20중량%의 녹화토를 돌망태의 최상부 및 경사면에서 순서대로 살포한 후, 일정시간 경화시킨 것을 특징으로 하는 녹화토를 이용한 돌망태.

【도면】

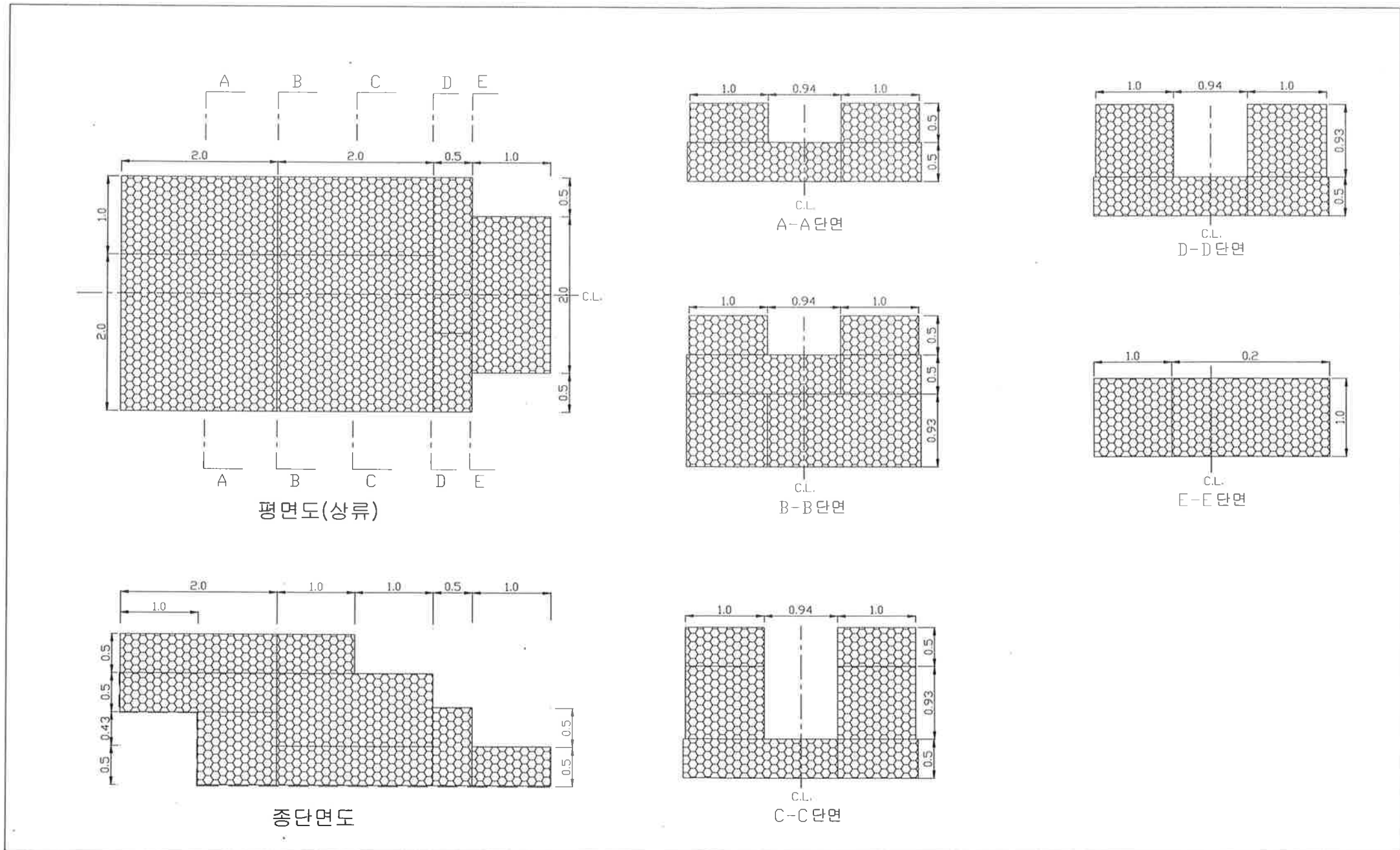
【도 1】

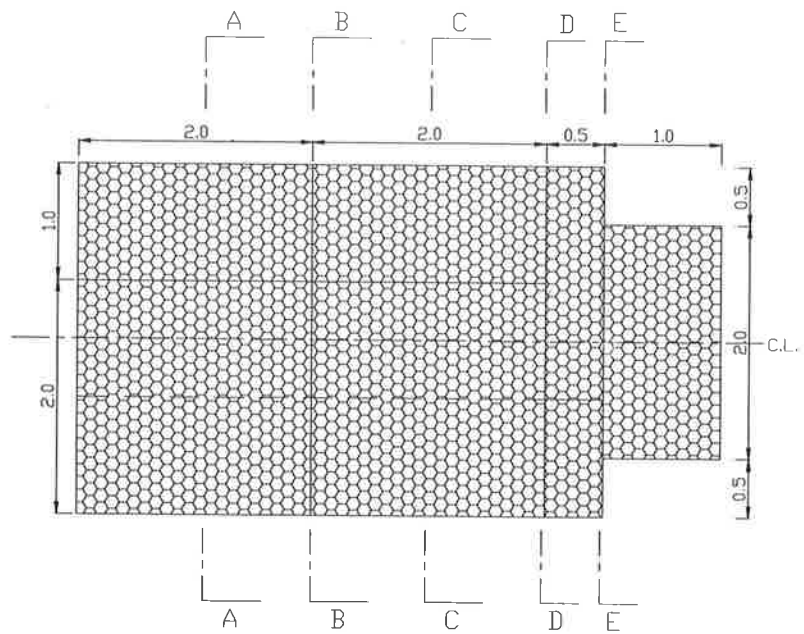


3. 돌망태 인공어초 설계도

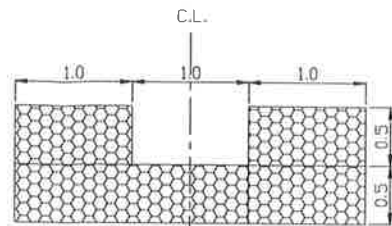


4. 돌망태 낙차공 설계도

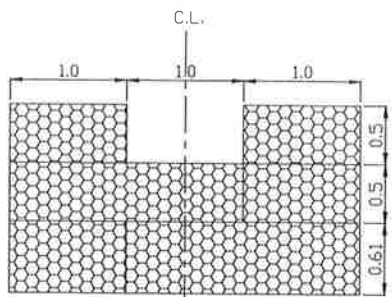




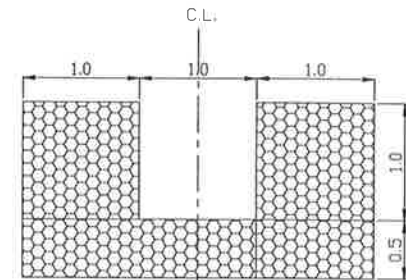
평면도(하류)



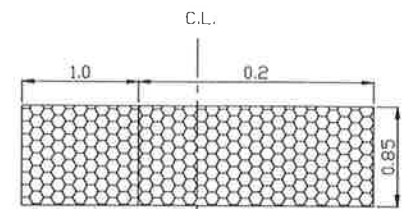
A-A 단면



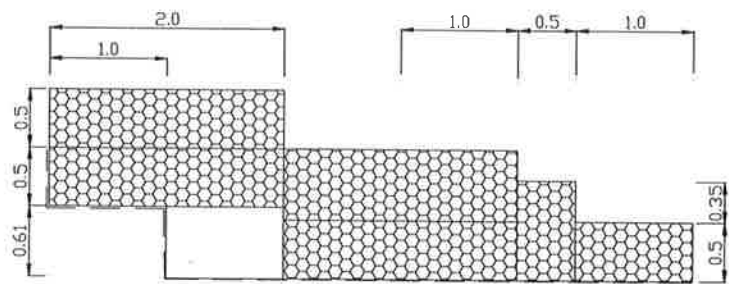
B-B 단면



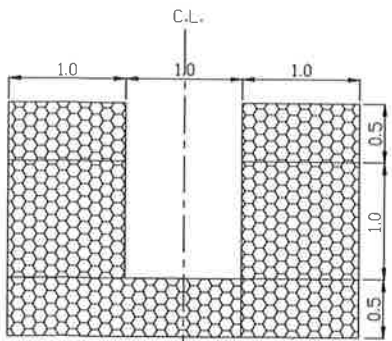
D-D 단면



E-E 단면

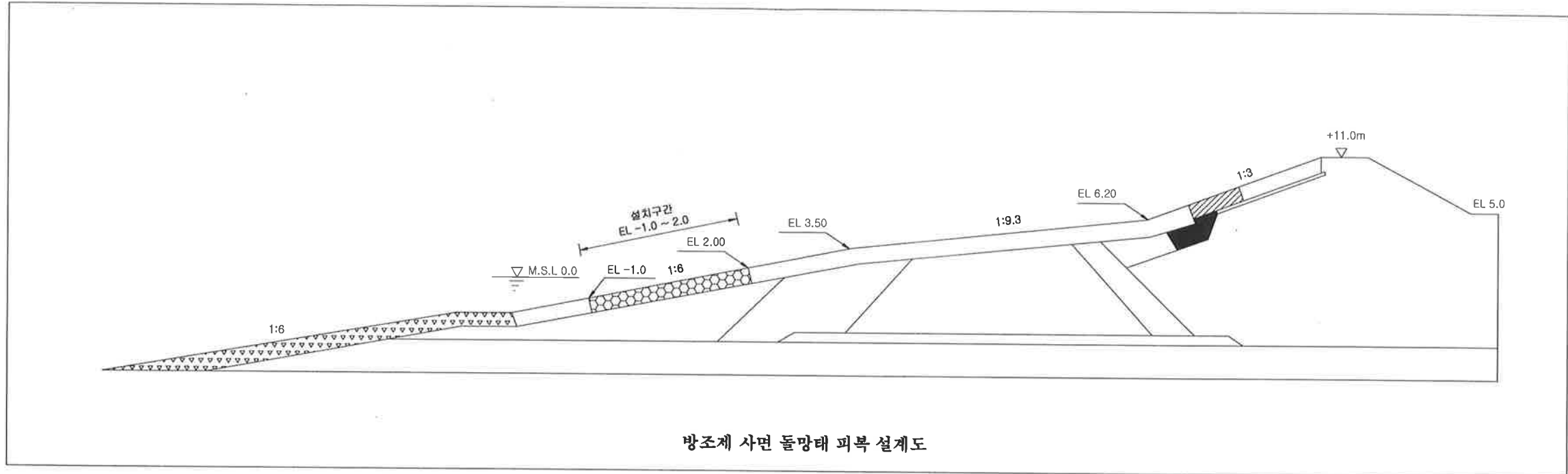


종단면도



C-C 단면

5. 돌망태 피복석 설계도



6. 참여기업의 연구지원 내용

가. 돌망태 낙차공 시공용

규격 (단위:m) (L×B×H)	돌망태 지원 개수 (개)
2×1×1	6
2×1×0.5	12
2×2×0.5	4
1×1×1	2
1×1×0.5	6
합 계	30

나. 돌망태 제방 시공용

규격 (단위:m) (L×B×H)	돌망태 지원개수 (개)	비 고
1.5×1.0×1.0	40	하 단
1.0×1.0×1.0	40	상 단
2.0×1.0×0.5	10	밑다짐공
1.0×1.0×0.5	10	밑다짐공
합 계	100	

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.