



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

博士學位論文

참돔 연승어업의 어획시스템
개발에 관한 기초적 연구

濟州大學校 大學院

漁業學科

丘 明 城

2015年 12月

참돔 연승어업의 어획시스템 개발에 관한 기초적 연구

指導教授 金 碩 鍾

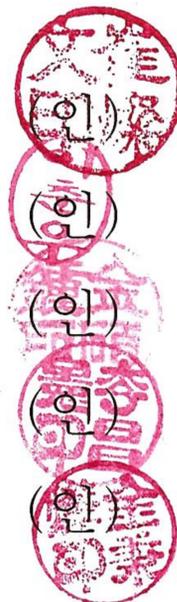
丘 明 城

이 論文을 水産學 博士學位 論文으로 提出함

2015年 12月

丘明城의 水産學 博士學位 論文을 認准함

審査委員長	최	찬	문
委 員	이	춘	우
委 員	김	석	중
委 員	이	창	현
委 員	김	병	엽



濟州大學校 大學院

2015年 12月

목 차

서 론

제 1 장	미끼의 수중 운동특성	8
1.1	재료 및 방법	14
1.1.1	미끼의 수중 운동특성	20
1.3	결과	24
1.3.1	낚시에 끼워진 미끼의 운동	24
1.3.2	미끼의 운동패턴	31
1.3.3	미끼의 운동의 주기성	43
1.3.4	미끼 운동의 적합성	57
1.4	고찰	59
제 2 장	미끼에 대한 참돔의 시각 자극과 섭식 행동	66
2.1	재료 및 방법	67
2.1.1	실험방법	67
2.1.2	실험어	71
2.1.3	실험의 흐름	74
2.1.4	섭식행동의 평가방법	79
2.1.5	수중조도와 미끼에 대한 학습	80
2.2	결과	81
2.2.1	미끼에 대한 참돔의 행동 특성	81
2.2.2	미끼의 형태변화에 의한 참돔의 섭식행동	88
2.2.3	미끼의 운동주기에 대한 참돔의 섭식행동	92
2.3	고찰	96
제 3 장	미끼의 운동을 고려한 연승어업의 어획시스템 개발	106
3.1	재료 및 방법	106
3.1.1	새로운 어획시스템 구상	106
3.1.2	과도의 영향을 고려한 미끼의 제어 모델	109

3.1.3	미끼 제어 모델의 수조 실험	113
3.2	결과	115
3.2.1	과도의 영향을 고려한 미끼 제어 모델	115
3.2.2	미끼 제어 모델의 적합성	124
3.3	고찰	130
제 4 장	종합고찰	133
	참고문헌	137

서 론

연승어업은 어구의 분류상 낚이어구류의 걸납이 어구류에 속하여, 대상 어종과 어구의 부설 방법에 따라 멍이나 닳으로 고정시키는 고정 걸납이 어구류로 해저에 정착성 어종을 대상으로 하는 각종 바닥주낙인 저연승과 해·조류를 따라 흘러가도록 하는 유동 걸납이 어구로 표·중층 회유성 어종을 대상으로 하는 뜬주낙 부연승과 선주낙 입연승으로 구분할 수 있다(김,1999). 제주주변해역에서의 연승어업은 바닥주낙인 저연승어업이 주를 이루고 있으며, 대상으로 하는 어류는 참돔, 바리과류, 돌돔, 황돔, 옥돔, 보구치, 쏨뱅이류 및 붕장어 등이다. 이 중 참돔을 대상으로 하는 저연승어업은 모릿줄 KU \varnothing 3mm내외를 수평으로 내고, 모릿줄에 아릿줄을 경심 5호 내외를 사용하여 아릿줄 간의 간격은 약 15m로 연결한 후, 모릿줄 양 끝에는 닳줄과 닳, 거기에 부표줄을 연결하여 부표를 단다. 조업은 오후에 출항하여 야간에 미끼로 사용할 오징어를 어획한 후, 오징어 몸체를 절단하여 사용하기도 하고, 살아있는 오징어를 떼어 사용한다. 투승은 다음날 새벽 3시쯤 멍(닳), 부표, 낚시줄 순으로 이루어지며, 투승 시 어구의 날림현상과 어구이 유실을 방지하기 위하여 아릿줄에 낚시 약 12~13개 마다 소형발돌을 달고 낚시 약 50개마다 부표와 멍을 단다. 투승이 완료되면 약 1시간 정도 대기하였다가 양승한다(국립수산과학원, 2002).

제주주변해역에서의 참돔 연승어업의 어장은 예전에는 자연초어장을 대상으로 어업을 행하여 졌으나, 최근에는 인공어초를 이용한 어업이 행하여지고 있다. 제주도의 연안으로부터 1마일 이내의 수심 8~32m의 해역에는 어류의 서식에 적합한 환경조성을 목적으로 1972년부터 2014년까지 34,548ha의 면적에 인공어초가 설치되어 있다^{3), 4)}. 또한 해저에는 화산활동에 의해 생성된 천연어초가 넓게 분포되어 있다. 이 인공어초가 설치된 어

장은 비 설치 어장보다 2~3배 높은 어업생산량을 나타내고, 특히 제주도 연안 어장의 인공어초를 설치한 어장에서는 참돔, 볼락, 청줄돔, 벤자리 및 쥐치 등의 어류가 비 설치 어장보다 2.8배의 어획이 되었다는 보고가 있다⁵⁾. 이러한 어초의 주변에 집어한 참돔을 비롯한 어류는 제주도의 불규칙한 해저지형 때문에 저자망을 비롯한 망어구로의 어획이 곤란하여 주로 낚시어구를 이용한 연승어구와 외줄낚시어구를 이용한 어업이 이루어지고 있다.

제주도에서는 참돔을 연승어구, 정치망, 자망 및 외줄낚시로 어획하고 있다. 2009년부터 2014년까지의 제주도에서 어획된 참돔은 270M/T이고, 생산 금액은 56억원이었다. 이 중에서 연승어구로 어획된 참돔은 249M/T이고, 생산 금액을 48억원으로 대부분을 차지하고 있다.

참돔(Red seabream, *Pagrus major*)는 농어목 도미과에 속하는 어종으로서 대륙붕 수심 10~100m, 자갈이나 암초지형에 서식하며, 치어기는 단각류, 새우류 등을 섭이하고 성장함에 따라 다모류, 불가사리류, 성게류, 패류 및 오징어류 등을 섭이한다. 몸체의 위쪽은 적색이며, 아래는 은백색을 띠며 작은 청색점이 많다. 꼬리지느러미의 맨 끝 가장자리는 검다(국립수산과학원, 2004).

제주도 주변 해역에서 참돔, 돌돔, 황돔 및 바리과(다금바리)류 등을 대상으로 연승어업의 어획효율을 높일 수 있는 미끼는 살아있는 오징어를 사용하는 것이다. 참돔의 어획에 미끼로 사용되고 있는 오징어종류는 살오징어목 풀뚜기과에 속하는 두족류로서 살오징어(Japanese flying squid, *Todarodes pacificus*)와 창풀뚜기 (Swordtip squid, *Loligo edulis kensaki*) 2종류가 대부분이고, 그 외 부도창풀뚜기 (Budo squid, *Loligo edulis*), 화살풀뚜기 (Spear squid, *Loligo bleekeri*) 등 2종류가 있다(국립수산과학원, 2000; 奥谷, 1980, 2005). 이들 어종들은 한국 전 연안과 일본 북해도 이남 해역에 분포

하는 어종으로 수심 15~170m층에 서식하며, 겨울철에는 수심이 깊은 해역에 서식하다가 수온 상승기인 봄철에 수심이 얇은 연안 쪽으로 내유하여 가을철까지 서식한다. 이 계절에는 많은 개체들이 군을 이루어 생활하며, 수심 40m 이천의 해역에 서식하며 산란하고, 정치망과 채낚기에 의해 5월~11월에 주로 어획 되고있다(奥谷, 1988, 2005).

제주도 선박 및 어업 건수는 2014년도 기준으로 선박 척수는 1,937척이며, 이중에서 85.6%인 1,659척이 10톤 미만의 소형 어선이고, 어업 건수는 총 1,520건으로 이중 연안 복합어업이 2,919건으로 52.1%를 차지하고 있다. 연안복합어업은 수산업법에서 1998년까지는 채낚기 어업과 연안연승어업으로 분리 되다가 1999년부터 (채낚기를 포함한 외줄낚시어업, 주낙어업) 문어단지어업, 패류껍질어업, 패류미끼망어업, 손꽂치어업이 수산업법상의 복합어업으로 통합되었으며, 이 중 집어등을 이용하여 갈치 및 오징어류를 대상으로 하는 채낚기 어업과 주간에 자연초와 인공어초 어장을 이용하여 참돔 등 돔류를 대상으로 하는 저연승어업이 대부분을 차지하고 있고 볼 수 있다³⁾.

특히, 1980년대 이후 우리나라의 수산업은 국내·외의 어업환경 변화로 어업자원의 감소와 어장 축소, 수입 자유화의 3중고를 겪고 있다. 국외 여건으로는 UR협상에 따른 수산물 수입 개방과 한·중, 한·일 FTA의 어업협정 등 2010년에 와서는 국가 간 체결된 협정이 286개로서 전 세계 교역의 50%를 차지하고 있다. 이에 따른 어장 축소 및 저가 수산물의 시장개방 확대에 의한 수입 증가로 수산물의 시장경쟁력이 악화되고 있다. 국내여건으로는 수산업이 4D 업종이라는 인식 때문에 젊은 노동력이 도시로 이탈하고, 어구의 대형화와 경쟁 조업으로 수산 자원은 감소하고 있으며, 어업 비용 상승으로 연근해 어업의 생산기반이 취약해지고 있다. 또한 매립, 간척, 산업폐수 및 생활하수의 바다 유입으로 인해 수산 생물의 산란과 서식

장이 파괴되는 등으로 수산 생물자원은 해마다 감소하는 추세이다. 이로 인해 일부 국가에서는 자국의 수산 자원을 보호하기 위해 TAC 제도를 시행하고 있으며, 우리나라에서는 TAC 대상 어종이 11종으로 지정되어 관리되고 있으며, 참돔은 2006년부터 수산자원회복 대상 종으로 선정되어 해양수산부에서 관리하고 있다. 또한 수산 업계에서는 동남아시아 국가의 저임금 인력을 고용하는 등 조업 인력을 구하기 위한 자구책 마련에 고심하고 있다.

제주도는 한국의 최남단에 위치하고 있는 섬으로 한국의 남해, 서해 및 동중국해에 완전히 둘러 싸여있다. 섬의 면적은 1,899.3km²이고, 해안선의 길이는 545.2km이다. 주변 해역은 대마 난류와 황해 난류가 동서로 흐르고 있기 때문에 다른 성질의 수괴의 영향을 복합적으로 받고 있다. 또한 연안해역의 표층 수온의 변화 범위는 13℃에서 27℃로 2월 하순에 최저 수온을 나타내고, 8월 중순에 최고 수온을 나타낸다. 그리고 수온은 11월 중순부터 5월 상순까지 0.5℃이하로 완만하게 변동을 한다. 해역 별 수온의 특성은 제주도동부는 평균수온보다 낮고, 남부와 서부는 높은 경향을 보이고 있다. 이러한 영향으로 제주도 주변 해역은 겨울에는 서해와 동중국해에 서식하는 회유성 어종의 월동장이 되고, 봄과 가을에는 색이장이 되어 연중 어류 자원이 풍부한 좋은 어장이 형성되어 있다³⁾.

낚시 어구에 관한 연구로서 살오징어를 대상으로 수중에서의 인조 미끼 낚시의 운동과 어구 특성(不破 등, 1996, 1999), 낚시 어구를 자동화하기 위한 연구로서 자동 예송 낚시 어구의 개발(朴 등, 1982, 1984)에 관하여 보고된 바 있다. 또한 채낚기 어구를 자동화하기 위하여 갈치 채낚기용 라인홀러 개발(박과 김, 2000a, 2000b, 2001), 연속식 자동 어구의 모형실험에 관한 연구(서 등, 2000) 및 자동식 채낚기 어구의 모형실험에 관한 연구(오 등, 2001) 등이 보고된 바 있다. 일본의 경우 끝낚시 어업(坂詰, 1971)과 끝낚시

어구의 개량(Nedelec, 1972)을 시도한 경우도 있었다.

제주도에서 참돔을 대상으로 하는 연승어업에서는 투승 후부터 참돔이 섭식행동을 행하는 시간대까지 견딜 수 있는 유연능력이 있는 살아있는 창꼴뚜기(*Loligo edulis*)를 미끼로 사용하는 경우에는 참돔이 어획되지만 유연능력이 없는 창꼴뚜기를 미끼로 사용하는 경우 참돔 어획효율이 현저히 떨어지는 이유에서, 참돔을 대상으로 하는 연승어업에서는 유연능력이 있는 창꼴뚜기를 미끼로 사용하자 하는 욕구가 있다.

오징어에 대한 생태학적 연구를 보면, 한국 해역에 분포하는 오징어의 계군 분석(金과 姜, 1995; 金 등, 1997), 제주해협의 갈치 어장 형성기구에 관한 연구(김, 1995) 등이 보고된 바 있다. 집어등의 수중조도에 관한 연구로서는 제주도 연안의 갈치 채낚기 어업에 있어서 집어등의 수중조도(徐, 1988; 오 등, 2001), 소형 오징어 채낚기 어선의 낚시 깊이에 따른 조획량과 수중조도 및 분포(稻田, 1988; 荒川 등, 1996; 崔와 荒川, 2001), 집어등 광력에 따른 어획량 관계(안과 추, 1993; 崔, 2002), 집어등과 더불어 음향을 이용하여 집어 및 어획 효과를 높이기 위해 가청수중음에 대한 오징어 어군의 유집, 오징어 채낚기 어업에 음향 이용시 어획 효과(서 등, 1995; 추와 안, 1998)에 관해 보고된 바 있다. 채낚기 어업의 물뚫에 관한 연구로는 오징어 채낚기 어선의 물뚫 개발 및 유체역학적 특성과 물뚫 개량 및 투양묘 방법 기계화 (안, 1997, 2000), 물뚫의 형상에 따른 수중저항(현 등, 1998)에 관해 보고된 바 있다.

오징어의 행동에 관한 연구는 Takayama 등¹³⁾의 살오징어의 기초적인 대광반응특성의 파악과 행동관측기술의 구조를 목적으로 하여 수조실험에서 행동을 관찰한 연구, Shigata 등¹⁴⁾의 조업선 주위에 있어서의 살오징어의 행동특성을 밝혀낸 연구, 배 등¹⁵⁾의 살오징어의 유지에 적합한 파장을 밝혀내기 위한 파장 별 LED에 대한 행동을 관찰한 연구 및 안 등¹⁶⁾의 수조

내에서 조명 시간에 의한 살오징어의 좋아하는 색에 관한 행동 연구 등이 수행되었으나 미끼로써 낚싯바늘에 끼워진 경우의 행동을 관측한 연구의 예는 확인되지 않는다.

참돔의 섭식 행동에 관한 연구는 Kudo 등¹⁷⁾의 천연 참돔의 섭식 행동을 관찰한 연구, Shimamoto 등¹⁷⁾의 치어부터 성어까지의 성장과 계절의 추이에 따른 참돔의 식성의 변화를 조사한 연구, Ogata¹⁸⁾와 허 등¹⁹⁾은 어획된 참돔의 위 내용물로부터 섭식 활동에 관한 조사한 연구 및 Sudo 등²⁰⁾의 시간대 별로 어획된 참돔 치어의 위 내용물로부터 밝혀내 섭식 행동의 일주 변화의 연구가 행하여 졌지만 움직이는 미끼에 대한 섭식 행동의 유발 효과에 관한 연구의 예는 확인되지 않는다. 따라서 지금까지의 연구에서는 미끼로써 매달아놓은 창오징어의 행동과 움직이는 미끼에 대한 참돔의 섭식 행동의 유발 효과에 관한 연구의 지견이 없기 때문에 이 연구에서 명확히 할 필요가 있다.

이 문제점을 해결하기 위하여 제주도의 참돔 연승어업자들은 다른 연승어업에서 미끼로 사용하고 있는 꽃새우와 갯지렁이 등을 사용해 참돔의 어획을 시도하였다. 또한 유영 능력이 있는 다른 미끼는 존재하지 않기 때문에 움직임이 있는 미끼를 사용하여 참돔의 어획을 시도한 예가 없다. 그 결과, 불락 등의 비대상어의 어획은 늘지만 참돔의 어획은 상대적으로 줄어, 이 경우는 어업의 채산성이 맞지 않는다고 판단했다. 그래서 참돔 연승어업자들은 이 문제의 해결방법이 미끼로 사용하는 유영 능력이 있는 창오징어 이외에는 없다고 판단하여 포기해버린 실정이다. 또한 이 문제점을 해결하려는 연구의 예도 확인이 되지 않아 이 연구에서는 이 문제점을 해결하는 방법을 제안한다.

이 연구에서는 살아있는 창오징어의 운동을 재현하는 새로운 어획시스템을 개발하는 것으로 참돔 연승어업의 어기를 연장시키는 기술개발을 목적

으로 한다. 제1장에서는 연승어구를 모식적으로 재현하여 창오징어의 운동을 분석하는 것으로 기계적으로 재현하는 창오징어의 운동 주기와 진폭을 밝혀낸다. 제2장에서는 제1장에서 밝혀낸 활창오징어의 대표적인 운동인 상하 운동의 운동 주기와 진폭을 참돔에게 보여주어 그 적합성을 검토한다. 제3장에서는 제어시스템의 제작에 필요한 운동모형을 확립한다. 그리고 실용화를 위한 시작품의 제어시스템을 제작하여 그 가능성을 검토한다. 제4장에서는 이 연구를 종합적으로 고찰한다.

제 1 장 미끼의 수중운동 특성

제주도의 참돔 연승어업에서 미끼로 사용하고 있는 살아있는 창오징어의 움직임의 유무와 낚시를 끼우는 위치에 따라 참돔의 어획량에 큰 차이가 있다. 일반적으로 낚시를 할 때에 미끼는 낚싯대를 상하로 움직이는 지깅 동작으로 대상어의 시각과 후각을 자극하여 어획으로 연결하고 있다. 참돔 연승어업에서의 창오징어도 낚시와 같이 자신의 움직임으로 참돔의 시각 자극을 유발시키고 있다. 따라서 이 장에서는 참돔을 어획하는 새로운 시스템을 개발하는 데에 필요한 창오징어의 대표적인 움직임을 명확히 하는 것을 목적으로 한다.

이 장의 흐름은 실험수조에서 조업상황을 재현하고, 1. 실제의 조업시간에 맞춰 창오징어의 일주기성을 검토, 2. 낚시를 끼우는 위치에 따라 창오징어의 운동을 관찰, 3. 살아있는 창오징어의 운동을 그룹화, 4. 창오징어의 운동의 주기성을 분석한다. 단, 실제의 참돔 연승어업에서는 조류의 흐름이 멈추는 시간대를 노려 조업을 하기 때문에 모든 수조실험에서 수조 내의 물의 흐름의 없는 상태에서 실험을 실시하였다.

창오징어의 운동의 주기성의 분석은 고속푸리에변환(FFT)을 이용했다. FFT는 음성 등의 파형을 기본주파수와 그 정수배의 각 주파수로 분석한다. 즉, 파의 안에 어느 주파수성분이 어느 정도 포함되어 있는지를 계산하는 방법으로 주파수분석에 넓게 사용되고 있다. 그러나 분석 가능한 주파수 스펙트럼의 분해능은 데이터의 수에 의존하는 문제점이 있다. 그럼에도 불구하고 어느 주기적인 데이터를 각 주파수로 분해할 수 있는 수법으로, 이 연구의 창오징어의 움직임으로부터 운동 주기와 진폭을 분석하는 데에 있어 적합한 방법으로 이 장에서는 FFT 방법을 사용했다.

참돔의 생태학적 특징

참돔(*Pagrus major*)의 형태적 특징은 어류의 분류학상

척삭동물門 Phylum Chordata

척삭동물亞門 Subphylum Vertebrata

조기어綱 Class Osteichthyes

Order Perciformes

농어目도미科 Family Sparidae

참돔屬 Genus *Pagrus*

에 속하고 영명으로 Red seabream, 일명으로는 Ma-day(眞鯛), 학명은 *Pagrus major*(TEMMINCK et SCHLEGEL), 방언으로는 참돔, 참도미, 돔이라 불린다(정, 1998).

몸의 외형은 감성돔과 비슷하나 빛깔이 일반적으로 적색에 녹색 광택을 띠고 있다. 빛깔은 크기에 따라 다르고, 등쪽에는 청록색의 작은 반점이 산재해 있다. 어린 고기는 선홍색 바탕에 청록색의 반점이 뚜렷하고 5줄의 진한 적색의 가로띠가 있으나 죽은 후에 즉시 소멸한다. 늙어지면 검은빛이 짙어진다. 참돔은 감성돔처럼 성 전환 현상은 없고 처음부터 ♀, ♂구별이 분명하고, 성어가 되면 제 2차성장이 나타난다. ♀의 머리는 둥글고 ♂의 머리는 각형(角形)이다. 체색은 ♀은 적색이 강하고, ♂은 흑색이 강하다. 양 턱에는 잘 발달한 2줄의 강한 어금니가 있으며 특히 안쪽의 이빨은 크다. 위턱의 앞에는 양쪽에 2개, 아래턱에 3개의 송곳니가 있다. 서골과 구개골에는 이빨이 없는게 특징이다. 등지느러미 가시는 강하고 뺨에는 6~8줄이 비늘이 있고, 전골 후반부에도 몇 개의 비늘이 불규칙하게 나타나 있다. 전장은 1,000mm가 넘고 수명은 40년 내외다. 참돔의 습성은 산란기 외에는 바깥바다의 대륙붕 수심 30~150m인 암초지대에 주로 서식한다(정, 1998).

참돔의 회유는 제주도 서남 해역에서 월동을 하고 봄이 되면 중국 연안과

서해안연안으로 이동하여 서해 전역에서 여름을 보내고 가을이 되면 월동장으로 남하 한다. 분포는 우리나라 전 연해(진남포, 인천, 충남, 안흥, 다도해 연안, 제주도 연해), 일본(지바현, 코하마의 鯛浦가 유명함, 동남 중국해, 대만 및 하와이 등지의 연안에 분포한다. 우리나라에서의 산란기는 음력 4~7월이며, 연안 가까이 내유하여 알을 낳고. 산란 시간은 저녁 전후이다. 알은 분리 부성란으로 지름이 0.9mm~1.1mm, 유구는 한 개로 0.19~0.27mm이다. 미숙란은 다각형으로 백색이나, 성숙란은 구형으로 담황색이고 성숙 후에는 연한 복숭아 색이 된다. 수온 15℃에서 3~4일, 20℃에서 약 2일 만이면 부화한다. 성장은 부화 후 20일 만에 전장 20mm가 되어 치어기에 들어가 물 밑에서 산다. 보통 만 1년에 140mm, 2년에 190mm, 3년에 240mm, 4년 280mm, 5년 320mm 6년에 360mm, 7년에 39mm, 8년에 42mm로 성장하며, 보통 3년이면 성숙한다(2010, 국립수산과학원).

식성은 치어기에는 단각류, 새우류, 보리새우류 등을 섭이하고 성장함에 따라 소형 새우류, 다모류, 불가사리류 등을 먹는다. 1년어 이상은 육식성으로서 먹이는 연체동물, 갑각류, 극피동물, 및 유형동물 등이다(정, 1998; 국립수산과학원, 2010).

어획량 변동

최근 35(1980~2014년)년간 우리나라 연도 별, 어업 별 참돔의 어획량 변동은 한국 어업생산통계의 자료, 제주도의 참돔 어획량 변동은 제주도 관할 수협(성산포, 모슬포, 서귀포, 제주시, 한림수협)에서 위탁판매한 자료, 제주특별자치도 해양수산현황 자료를 이용하여 분석하였다.

1) 한국 연근해의 참돔 어획량 변동

1980년부터 2014년까지 35년간의 한국의 연근해에서 어획된 전국 어획량 변동을 보면, 1980년에 2,101톤을 기점으로 1981년에 다소 증가한 2,518톤의

높은 값을 보인 후 지속적인 감소 추세 속에 증감의 반복을 보이다가 1994년에는 456톤으로 가장 낮은 어획량을 나타내었다. 이후 증가하여 1998년에 1,657톤으로 회복세를 보였으나 다시 감소를 나타내다가 2008년 1천 톤을 상회하는 1,304톤으로 어획량 회복을 나타내면서 지속적으로 증가하여 2013년에는 1980년대 이후 가장 높은 2,587톤을 나타내었다. 2010년 이후 2천 톤 이상을 상회하는 생산량을 나타내어 1980년대 초반의 수준까지 회복하는 생산량을 나타내었다. 2014년의 생산량은 2,169톤을 나타내었다.

2) 전국 참돔어획량에 대한 제주도 참돔 어획량 변동

1980년부터 2014년까지 35년간의 한국의 연근해에서 어획된 전국 어획량에 대한 제주도 참돔 어획량변동은 4천 톤 이하의 수준에서 2012년에 2,587톤의 최대 어획량을 나타내었고, 2006년에는 502톤의 가장 낮은 어획량을 보여 평균 1,500톤의 생산량을 나타내었다. 제주도 참돔 어획량 변동은 300톤 수준에서 1980년에 301톤의 어획량 기점으로 150톤을 상회하는 선에서 증감을 반복을 유지하였으나 1995년에는 100톤 이하로 감소하여 79톤, 2000년에 증가하여 236톤까지 어획량 회복을 보였지만, 2004년에는 최저 어획량인 22톤을 나타내었다. 이후 2006년에 100톤 상회하기 시작하여 2006년에는 305톤으로 최고의 어획량을 보였고, 2014년 어획량은 214톤을 나타내었다.

3) 제주도 참돔 어획량에 대한 어업 별 어획 비율

1990년부터 2014년까지 25년간의 제주도 관내 수협에서 위탁 판매된 어획량에 대한 총 어획량은 3,745톤을 나타내었다. 어업별 어획 비율을 보면, 연안복합(연안연승)어업에서 32%로 가장 많은 어획 비율을 나타내었고, 그 다음으로는 근해연승어업이 18%, 근해자망어업이 17%, 저인망어업 16%, 연안자망어업 14%, 대형트롤은 10%대 이하인 3% 순이었다.

4) 월별어획량 변동

1980년부터 2014년까지 35년간의 한국의 연근해에서 어획된 참돔에 대한 전국 월별 어획량과 제주도 월별어획량 변동은 전국과 제주도의 생산량의 차이는 있지만, 월별 어획량 변동 주기는 거의 비슷한 패턴을 나타내었다. 전국 월별 어획량은 1월~3월까지의 평균 2,000톤의 수준을 보이다가 4월에 3,000톤을 상회하는 3089톤의 어획량을 보였고, 5월에는 6,631톤으로 가장 높은 어획량을 보인 다음 6월에는 2,374톤 수준의 다시 감소를 나타내어 이후 12월까지 2,000톤 이하의 수준인 평균 1,900톤의 어획량은 나타내었다.

제주도 월별 어획량은 1월~3월까지의 평균 3,00톤의 수준을 보이다가 4월에 4,00톤을 상회하는 477톤의 어획량을 보였고, 5월에는 665톤으로 가장 높은 어획량을 보인 다음 6월에는 329톤 수준의 다시 감소를 나타내어 이후 12월까지 평균 250톤의 어획량은 나타내었다.

제주도 주변에 출현하는 오징어류의 생태학적 특성

오징어류는 생물학적으로 80여종이 있다고 하나, 우리나라연근해에서 어획되고 어업적 자원으로 이용되고 있는 것은 8종이다. 형태 및 생태적 특징을 보면, 창끝뚜기(Swordtip squid, *Loligo edulis kensaki*)는 외형적 형태적 2가지로 나눈다. 몸통은 가늘고 길며, 중앙 복부를 따라 육질 선이 나타나있다. 지느러미는 마름모꼴이며 성체인 경우 몸통의 70%를 차지하고 뒤쪽 끝은 약간 구부러져 있다. 촉수 주먹은 창끝모양으로 팽창되어 있으며, 중앙에 있는 16개 정도의 흡반은 주변의 흡반보다 1.5배 이상 크다. 발광기 기능을 가지고 있으며 추형모형으로 먹통 부위의 표면에 위치한다. 연안 종으로 수심 30~70m에서 서식하며, 봄과 여름에 연안 가까이로 이동하여 30~40m의 모래바닥에 산란한다. 최대 외투장 40cm(평균 15~25cm), 중량 0.5kg, 한국 남해, 일본, 필리핀, 동지나해 해역에 분포한다. 부도창끝뚜기 (Budo squid, *Loligo*

edulis)는 몸통은 통통하며, 후미 부는 다소 뭉툭하게 끝난다. 지느러미는 몸통 길이의 60~65% 정도이며, 마름모형이다. 두부, 팔, 특히 촉수가 넓게 확장되어 있다. 촉수 주먹의 중앙에 있는 흡반은 매우 크며 3번째 팔에 있는 가장 큰 흡반의 직경보다. 흡반에는 7~8개의 크고 끝을 자른 형태의 이빨이 나있다. 연안의 얕은 곳에 서식하며 산란을 위한 계절적 회유를 한다. 주로 여름에서 초가을에 걸쳐 교미와 산란이 이루어 진다. 최대 외투장 25cm, 한국 남부, 일본 해역에 분포한다. 화살꼴뚜기 (*Spear squid, Loligo bleekeri*)는 몸통길이가 보통 30cm 정도의 대형 종이다. 몸통의 외형은 길고 좁으며, 복부 중앙을 따라 육질 선이 나타난다. 지느러미는 크고, 두꺼우며, 길이는 몸통 길이의 약 2/3 정도이다. 촉수는 짧으며, 촉수 주먹은 좁은 편이다. 왼쪽 4번째 팔의 말단부 약 30%가 교접기로 되어 있고, 타원형의 발광포가 먹통의 양쪽에 분포한다. 연안성 종으로 수심 약 100m 깊이까지 서식하나 봄과 가을에는 산란을 위해 얕은 연안으로 이동하며, 최대 외투장 40cm, 한국 남부, 서해, 일본 연안에 분포한다. 살오징어(*Japanese flying squid, Todarodes pacificus*)의 몸통은 근육질로 가늘다. 지느러미는 화살보양으로 비교적 짧으며, 길이는 몸통 길이의 40~45%이다. 출수기흙에는 종구역이 있으며, 옆 주머니는 없다. 촉수 주먹은 확장되어 길고 단단하다. 지리적 분포는 해양성 천해종으로 5~27℃의 넓은 온도 범위에서 서식한다. 대개 표층에서 100m 수심에서 서식하나 500m 깊이까지 내려간다. 작은 환류나 해양 전선을 따라 대형 밀집군을 이룬다. 주산란 시기는 겨울이며, 산란후 대부분 사망한다. 산란적수 온은 15~20℃, 최대 외투장의 길이는 50cm, 중량 0.5kg, 한국해역, 일본해역, 동지나해, 오토츠크해 해역에 분포한다(奥谷, 1988, 2005; 국립수산과학원, 2006).

1.1 재료 및 방법

실험은 2009년 5월 18일부터 5월 20일 (3일간) 까지 제주대학교 해양과학연구소내의 실내수조에서 실시했다. 실험에 사용한 수조는 폭, 너비 및 깊이가 각각 360, 280 및 175 cm 이고, 관측창의 폭과 높이는 각각 280 및 78 cm 이었다. 이때의 수심은 100cm 로 설정했으며, 실험 때의 평균수온은 19.5°C이었다. 3 개의 관측창 중에 촬영을 하는 정면의 창 이외의 좌우의 창은 빛이 들어오지 않게 흑색의 보드로 가렸다. Fig. 1-1 에 실험수조 내에 연승어구가 수중에 설치된 상태를 모식적으로 재현한 실험장치의 개요를 나타냈다. 이것은 Fig. 1-2 에 나타낸 제주도의 참돔 연승어선 동아호의 어구 (모릿줄 길이 50 m, 아릿줄 수 13 개, 아릿줄 간격 2 m, 낚시 수 13 개) 를 참고하여 실험 수조에 재현한것이다. 수조의 폭보다 긴 모릿줄을 수조 상부의 프레임의 중앙에 설치하였고, 수조 중앙부의 모릿줄에 아릿줄 (폴리우레탄, 직경 0.1 cm, 길이 70 cm, 높이 2.4 cm 의 낚시 연결) 을 직하시켰다. 이 때의 낚시의 수심은 62.4 cm 이었다.

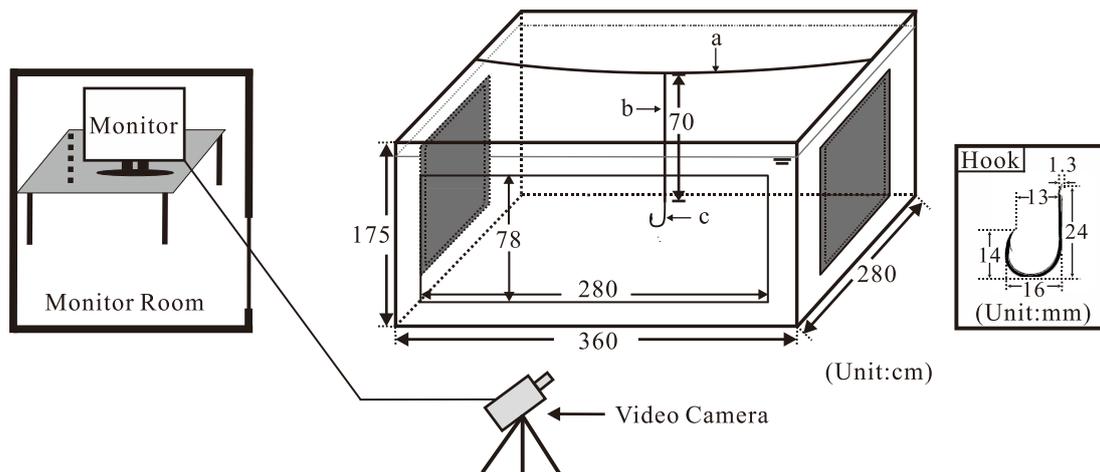


Fig. 1-1. Schematic drawing of the equipment used for the water tank experiment. Main line (a) and branch line (b) were hanged at the center of the water tank. The squids were hooked on the hook (c). The movements of squids in the water tank were recorded by a video camera which was set in front of the water tank.

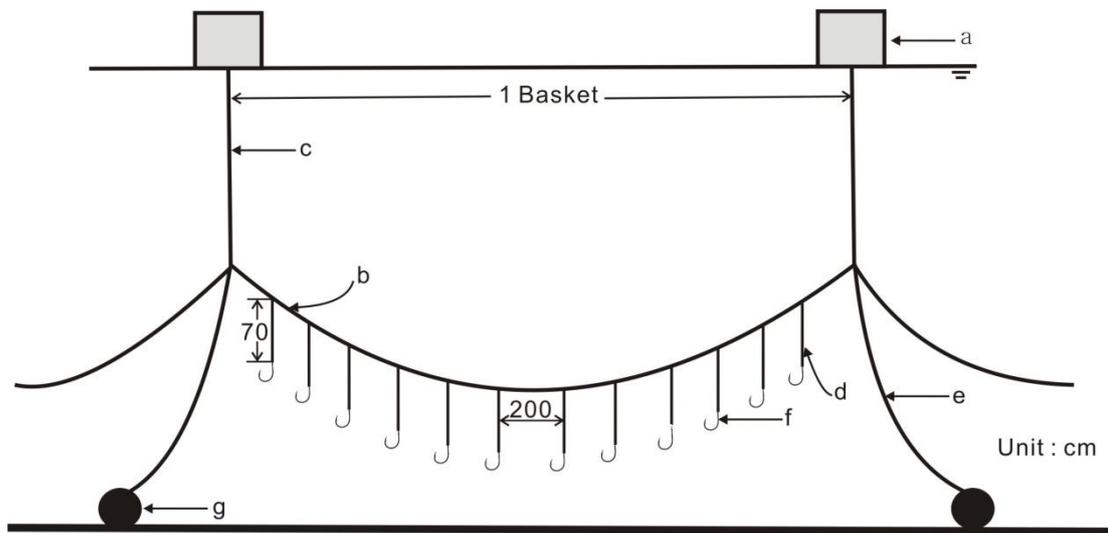


Fig. 2 Schematic drawing of the long line fishing gear of Dong-a.

- a : float(D:150 mm), b : main line(L:50 m, D:1mm),
 - c : float line(L:25 m, D:2mm), d : branch line(L:0.7 m, D:1mm),
 - e : sinker line(L:5 m, D:2mm), f : hook(H:24 mm),
 - g : sinker(W:1.5 kg)
- D : Diameter, L : Length, H : Height, W : Weight

창오징어는 실험 전일에 연승어업자가 미끼를 어획하는 방법과 같은 방법으로 어획하여 실험수조와 같은 수온으로 설정된 순치수조에 1일간 적응시켰으며, 이 창오징어는 Fig. 1-3 에 나타난 외줄낚시어구²⁶⁾로 어획했다. 창오징어를 낚시에 끼우는 방법은 제주도의 참돔 연승어업에서 사용하는 방법과 동일하게 하였다.



Fig. 1-3. Squid hand line.

즉, Fig. 1-4-(a)와 같이 외투막의 끝 단에 가늘어지는 부분에 낚시를 관통시키는 방법(이하, 외투끼우기)과 Fig. 1-4-(b)와 같이 입 주변에 있는 누두에 낚시를 관통 시키는 방법(이하, 누두끼우기)의 2 가지 방법으로 했다. 실험에서는 외투끼우기로 7마리, 누두끼우기로 6마리를 사용하였다. 실험에 사용한 13 마리의 창오징어의 전장과 체중을 Table 1-1 에 나타냈다. 외투끼우기에 사용한 창오징어의 평균 전장은 $23.3 \pm 1.03\text{cm}$ 이었고, 평균 체중은 $86.4 \pm 11.8\text{g}$ 이었다. 누두끼우기에 사용한 창오징어의 평균 전장은 $22.8 \pm 1.34\text{cm}$ 이었고, 평균 체중은 $87.5 \pm 17.3\text{g}$ 이었다.



(a)



(b)

Fig. 1-4. Photograph of the ways to hook squid.

(a): hooked at mantle

(b): hooked at funnel

Table 1-1 Length and weight of squids used in this study according to hooking position

Hooking Position	Number	Length (cm)	Weight (g)	Hooking Position	Number	Length (cm)	Weight (g)
Mantle	1	25	100	Funnel	1	23	100
	2	22	75		2	20	60
	3	23	75		3	23	75
	4	22	80		4	24	100
	5	24	100		5	23	80
	6	23	75		6	24	110
	7	24	100		-	-	-
Average		23.3	86.4	Average		22.8	87.5

실험 때의 일출 전의 수중 조도를 고려하여 수조의 상부(약 2 m) 에 형광등 (TL-D SUPER 80 32 W, PHILIPS) 1 개 만을 점등하여, 수조 내를 촬영 가능한 한계의 밝기로 유지했다. 또한, 본 수조실험에서의 실험개시부터 종료까지의 수중 조도는 수중조도계 (UA-002, Onset) 를 이용하여 측정했다. 그 결과 실험 개시부터 종료까지의 수중 조도는 212 lux~ 353 lux 의 범위였다.

기록은 비디오카메라 (SONY, DCR-PC120) 를 수조의 전면으로부터 1 m 떨어진 장소에 설치하여 행하였다. 또한, 실험개시부터는 창오징어의 운동에 영향을 주지 않기 위하여 별도의 방에 설치한 모니터로 관측 및 조작을 하였다. 비디오카메라로 기록된 영상을 컴퓨터의 비디오 캡처

기능을 이용하여 폭과 높이의 화소수가 각각 640 과 480 픽셀의 해상도의 AVI 형식의 영상 파일로 변환했다. 창오징어의 운동 궤적은 영상을 0.25 초 간격의 정지영상으로 컴퓨터의 화면에 나타내고, 제작한 좌표를 읽는 프로그램을 이용하여 확인되는 카메라 쪽의 창오징어의 눈의 좌표를 읽었다. 단, 창오징어의 운동의 20 분 전체를 분석한 부분은 데이터 양이 많기 때문에 양상을 1 초 간격으로 하여 좌표를 읽었다.

화면상에서 얻어진 임의의 점의 좌표 $P_m(x_m, z_m)$ 를 수조의 관측창 좌측 상부의 원점 $O_m(x_{om}, z_{om})$ 로 하고, 다음의 식으로 실제의 좌표 $P_r(x_r, z_r)$ 로 변환했다.

$$\begin{pmatrix} x_r \\ z_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (x_m - x_{om})C_x \\ (z_m - z_{om})C_z \end{pmatrix} \quad (1 - 1)$$

단, C_x 및 C_z 는 미리 구한 화면상의 1 픽셀당의 수평 및 연직방향의 길이이다.

1.1.1 미끼의 수중 운동 특성

제주도의 참돔 연승어업에서의 조업은 일몰 전에 출항하여 일몰 후부터 2 시간정도 미끼가 되는 창오징어를 외줄낚시로 어획 (Fig. 1-3) 한다. 어획한 창오징어는 어창에 수용한 상태에서 연승어구를 투승하는 장소로 이동한다. 22 시가 지나면 연승어구의 낚시에 창오징어를 1 마리씩 끼워 투승하고, 일출 전까지 대기하여 양망하는 방법이 많다. 이 지역에서의 참돔은 특히 일출 전에 어획되는 것이 많기 때문에 일출 전의 시간대의 창오징어의 운동이 참돔의 섭식행동을 유발시킨다고 판단하여 이 시간대를 관측하는 것이 바람직하다. 그래서 창오징어를 모형 연승어구에

매달아서 22시부터 일출 전인 04시까지 6시간 동안의 운동을 누두끼우기의 1마리에 대하여 관찰했다. 창오징어의 운동은 별도의 방에 설치된 모니터로 육안 관찰과 6시간을 30분씩 나누어 시작부터 10분씩을 비디오카메라로 기록하여 분석하였다.

장시간의 침지 시간이 영향을 미친다고 생각되는 관측 개시 시각 22시경과 관측종료시각 04시경의 유영 운동의 특징은 유영 운동을 하고 있는 부분 (Moving) 과 유영 운동을 하지 않는 부분 (Static) 으로 나누어 그 활동성을 분석했고, 그 결과를 Fig. 1-5 에 나타냈다. 이 그림에서는 창오징어의 운동상태를 1초간격으로 흑색의 점으로 나타냈다. 그리고 기록한 각 시각의 유영 운동을 하고 있는 부분 (Moving) 과 유영 운동을 하지 않는 부분 (Static) 의 비율을 Fig. 1-6 에 나타냈다.

기록 개시 시간인 22시부터 22시 10분의 사이는 창오징어가 운동을 하고 있는 부분이 226초 (37.7%) 이었고, 운동을 하고 있지 않는 부분이 374초 (62.3%) 이었다. 이후 두 상태의 비율은 불규칙적으로 변동하고 있고 기록 종료 시각인 03시 30분부터 03시 40분 사이는 창오징어가 운동을 하고 있는 부분이 전부를 차지하고 있다. 또한 전체적인 출현 빈도를 비교해보면 운동을 하고 있는 부분이 31.1%이었고, 운동을 하지 않는 부분이 68.9%이었다. 창오징어가 운동을 하고 있는 부분과 운동을 하지 않는 부분의 비율에는 유의한 차 (t 검정 : $p < 0.05$) 가 확인되지 않았다.

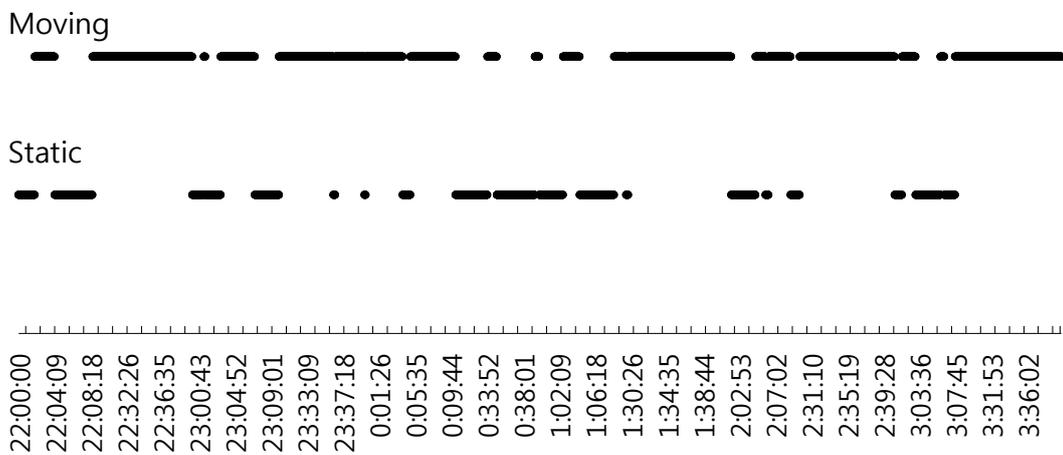


Fig. 1-5. Movement characteristics of the squid. In this figure, black filled circles show the state of the squid. Upper side is indicated the moving squid. Lower side is indicated the static squid.

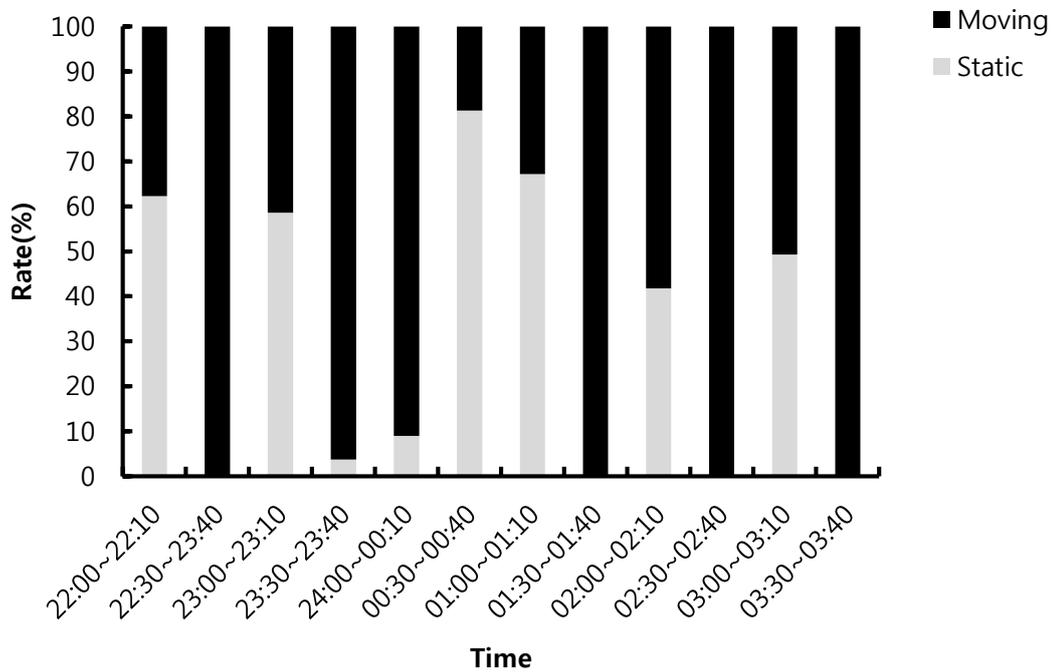


Fig. 1-6. Appearance rate of movement of the squid.

육안 관찰로 창오징어의 유영 범위는 관측 개시 지점에서는 유영 가능한 범위를 확인하는 것처럼 아랫줄을 당기는 등의 넓은 범위로 유영운동을 했다. 이후 시간경과에 따라 유영 가능한 범위 내에 비교적 좁은 범위의 유영운동을 지속했다. 그리고 일출 전부터 실험수조 내로 빛이 조금 들어왔지만 이것에 의한 창오징어의 운동의 특징에는 변화가 관찰되지 않았다. 이것으로부터 조도의 변화에 의한 창오징어의 운동 본능에 미치는 내부의 영향은 없었다고 판단했다. 또한 침지 시간과 그 길이에 의한 창오징어의 운동에는 변화도 없는 것으로 판단했다. 따라서 창오징어 1 마리 당의 운동의 기록 시간을 20 분간으로 하여 순치수조로부터 꺼낸 창오징어와 낚시에 끼워진 기록이 끝난 창오징어를 순서대로 교환하면서 22시부터 다음날 04시까지 기록을 지속했다.

1.3 결과

1.3.1 낚시에 끼워진 미끼의 운동

창오징어 운동의 특성을 분석하기 위하여 외투끼우기 7 마리와 누두끼우기 6 마리의 기록한 20 분간의 운동을 수평성분(X : horizontal)과 연직성분(Z : vertical)으로 나누어 좌표를 읽은 결과를 Fig. 1-7~13 에 나타냈다. 이 그림에서는 창오징어의 눈의 좌표를 선으로 연결하여 운동 개시 지점부터의 이동거리를 1 초 간격으로 나타냈다. 그리고 수평성분은 흑색의 점선으로 연직성분은 흑색의 실선으로 나타냈고, 좌표가 읽어지지 않은 부분은 선을 나타내지 않았다.

창오징어와 낚시를 끼운 위치에 따라 유연 범위의 넓이에 차이가 있었지만 연직성분은 상하로 주기적으로 변동하는 부분이 많이 관찰되었다. 창오징어에 따라 개별적인 차이가 있었지만 22 시경에 기록한 M1 과 04 시경에 기록한 F6 까지는 그 운동의 특성에 차이가 없었다.

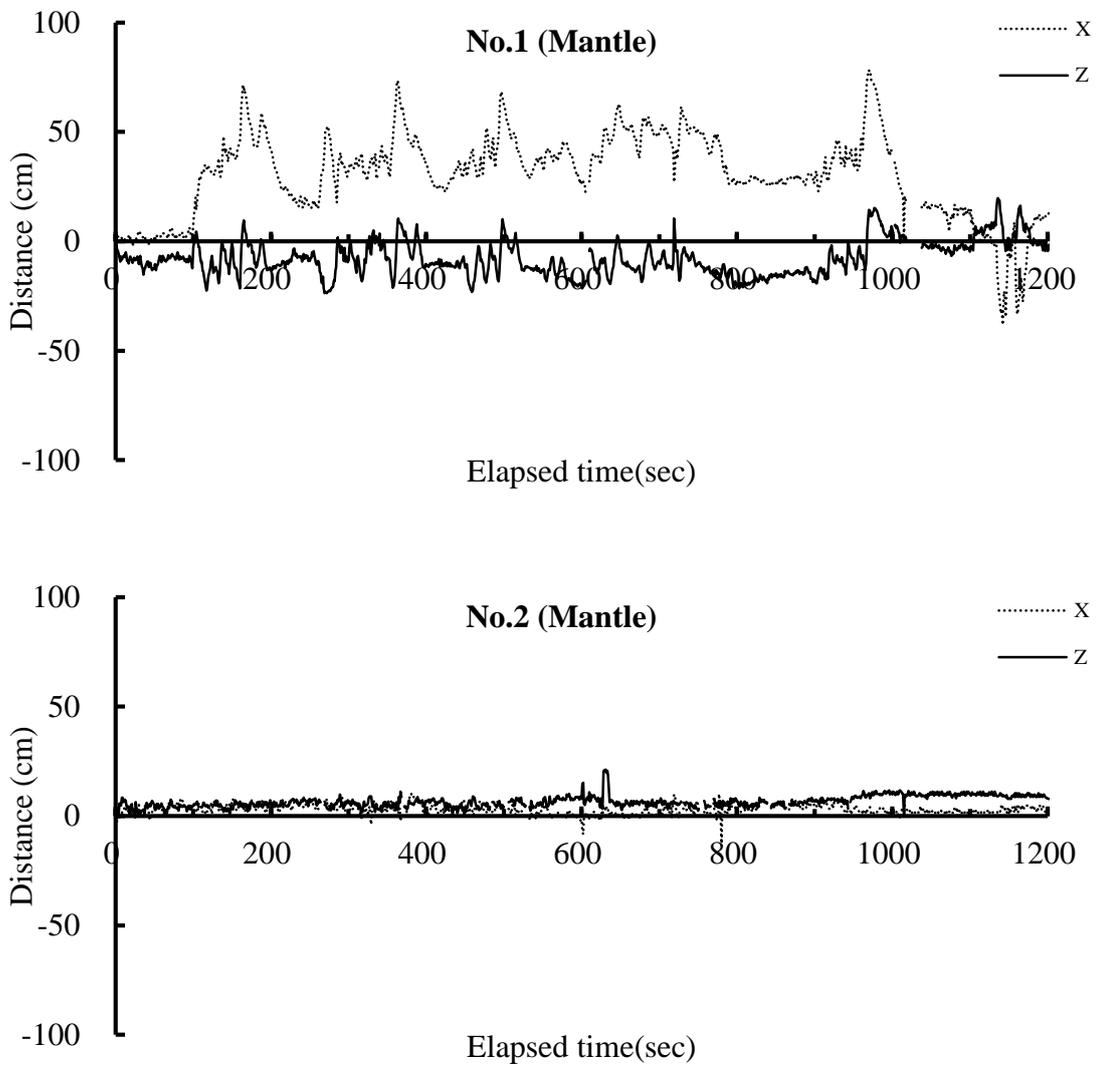


Fig. 1-7. Distance of the squid that has moved from the origin. In this figure, black dotted line is indicated horizontal component and black solid line is indicated vertical component.

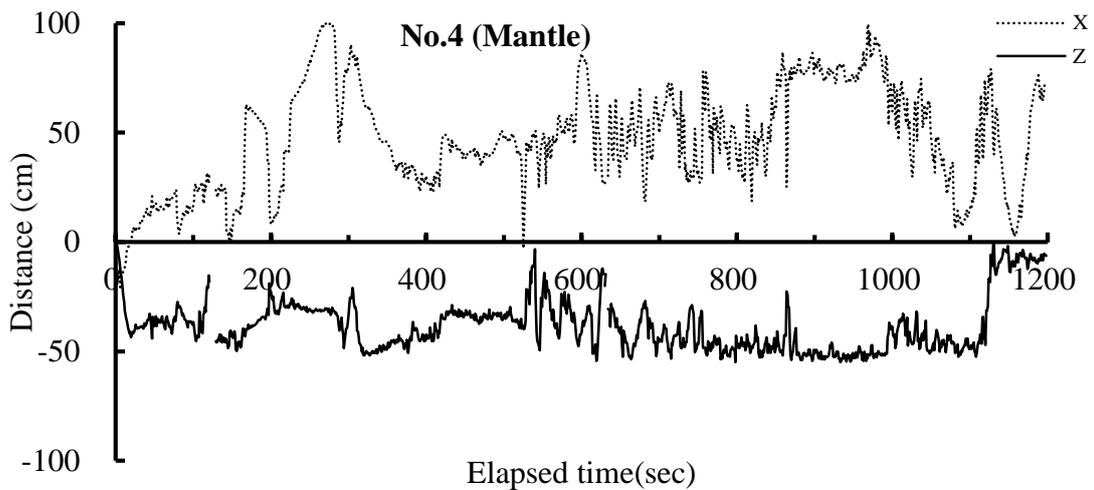
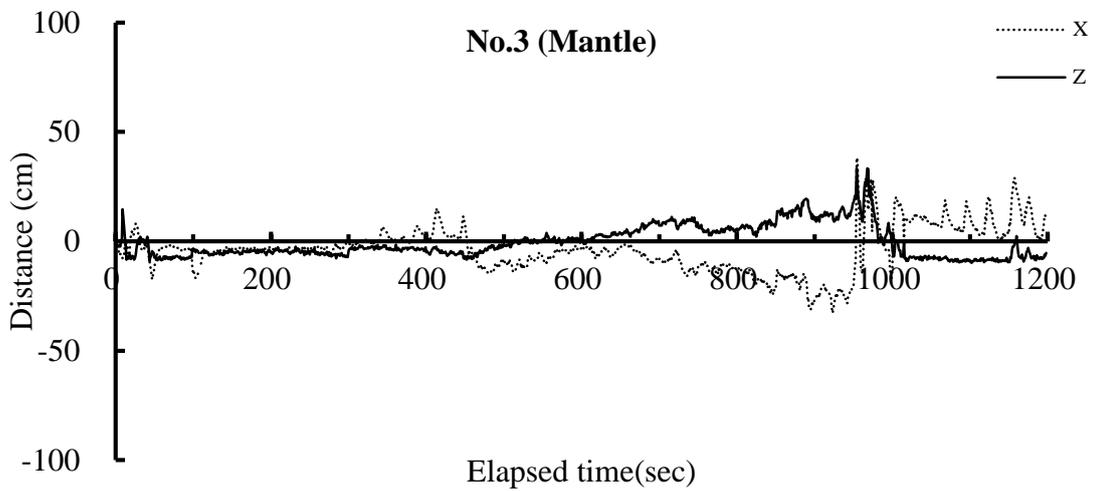


Fig. 1-8. Distance of the squid that has moved from the origin. In this figure, black dotted line is indicated horizontal component and black solid line is indicated vertical component.

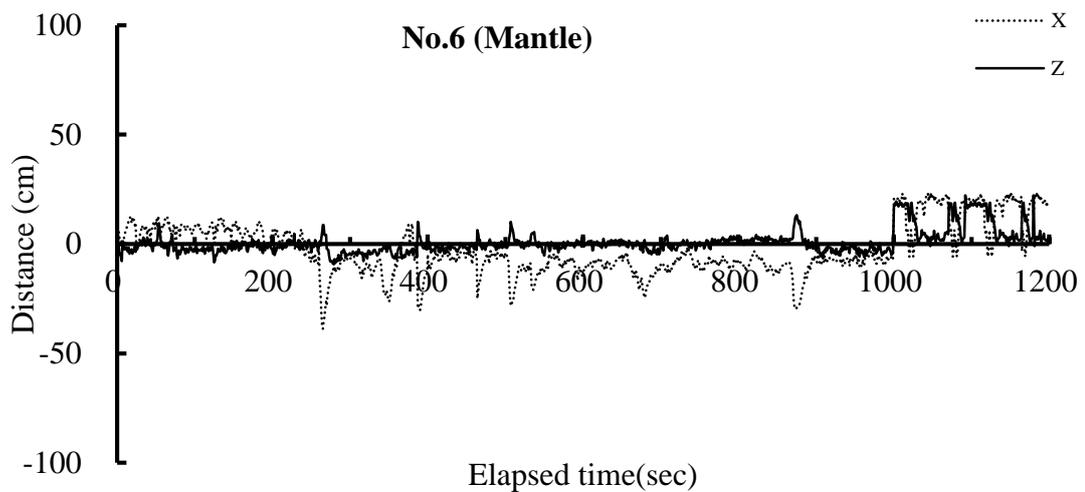
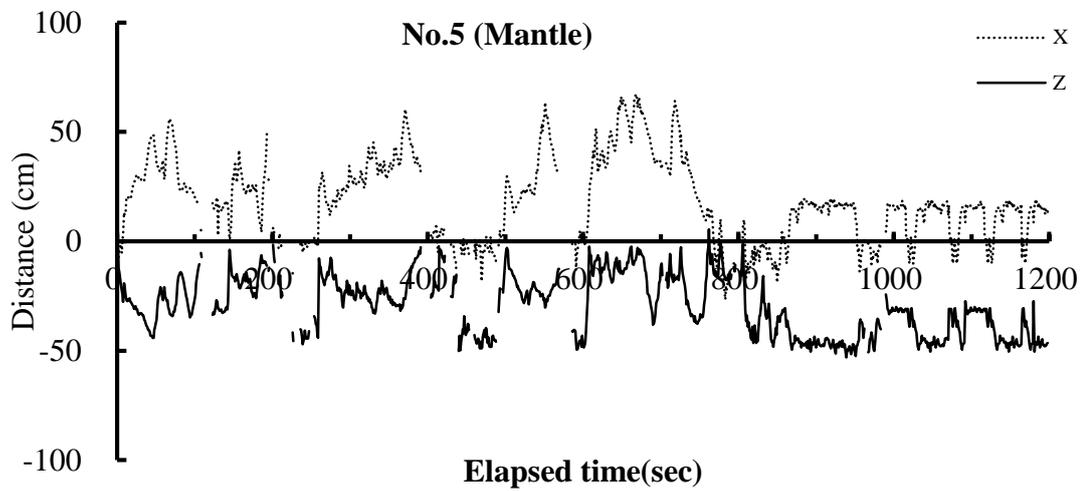


Fig. 1-9. Distance of the squid that has moved from the origin. In this figure, black dotted line is indicated horizontal component and black solid line is indicated vertical component.

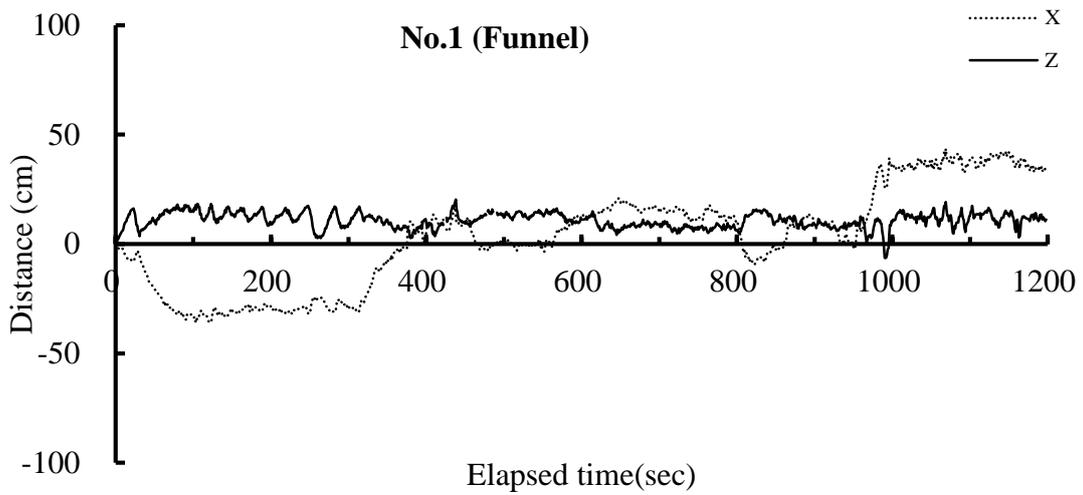
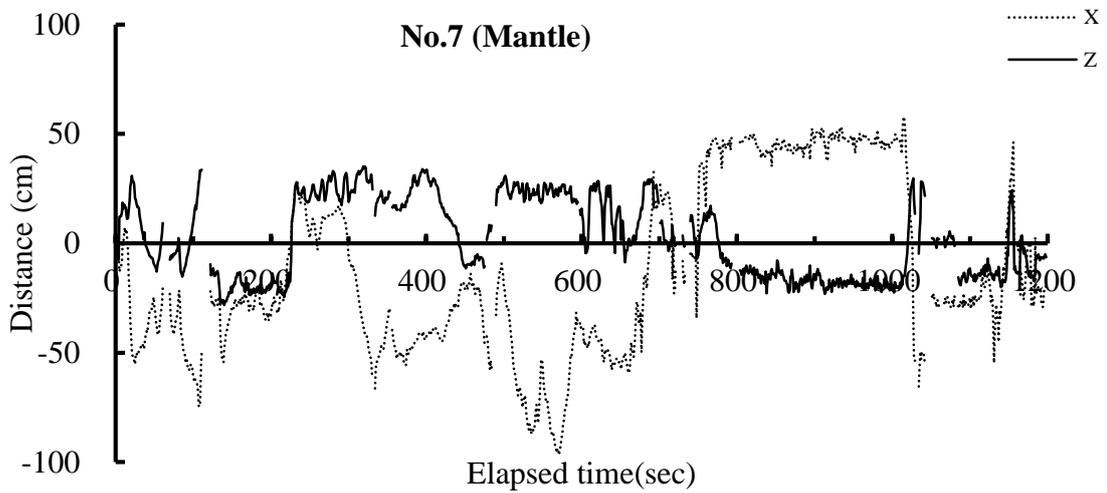


Fig. 1-10. Distance of the squid that has moved from the origin. In this figure, black dotted line is indicated horizontal component and black solid line is indicated vertical component.

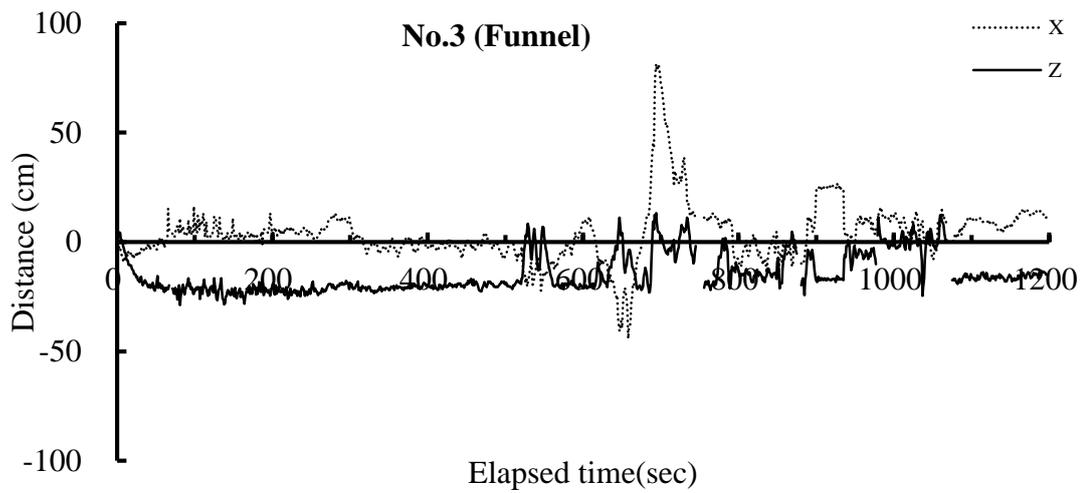
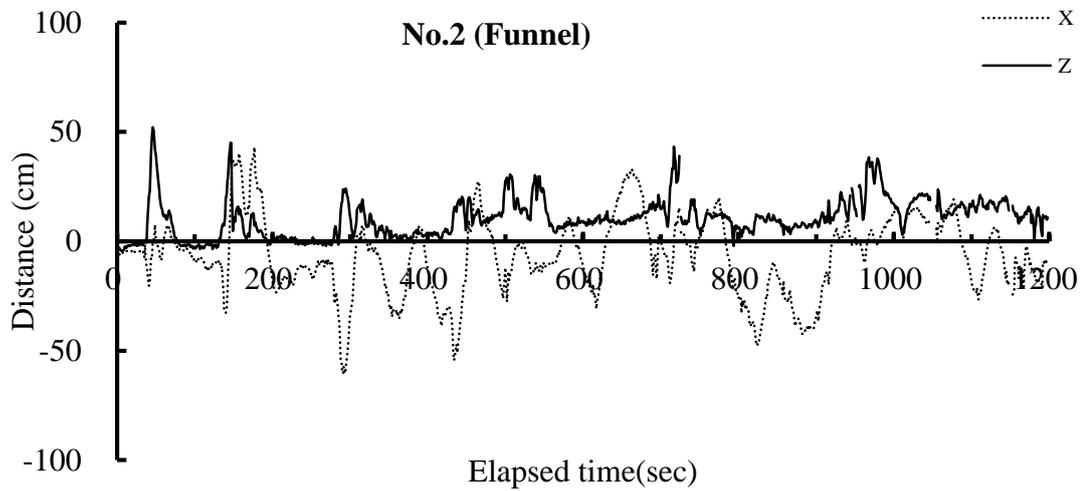


Fig. 1-11. Distance of the squid that has moved from the origin. In this figure, black dotted line is indicated horizontal component and black solid line is indicated vertical component.

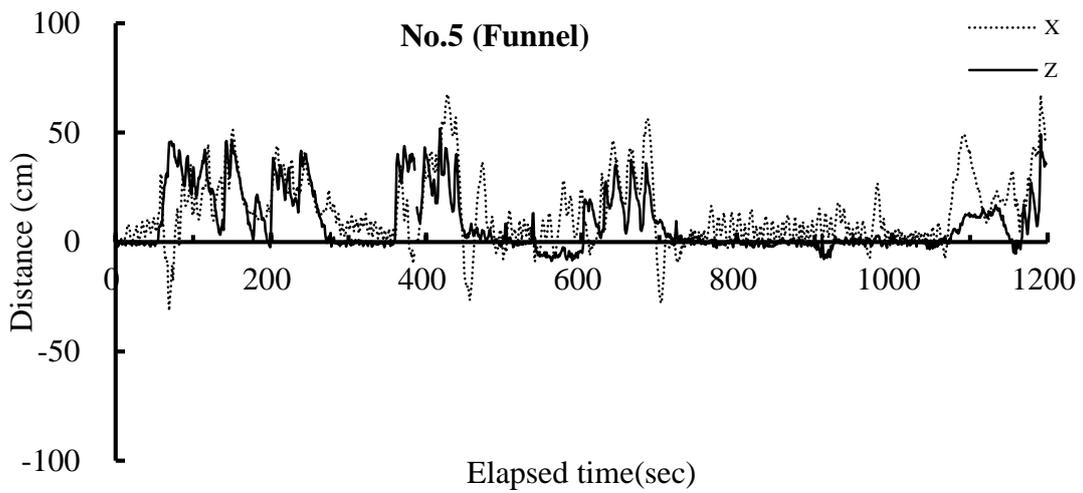
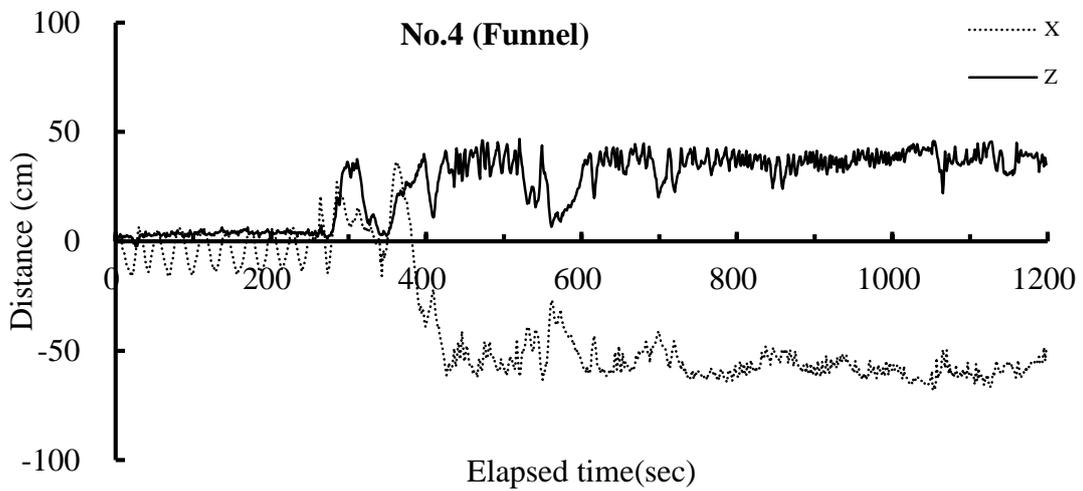


Fig. 1-12. Distance of the squid that has moved from the origin. In this figure, black dotted line is indicated horizontal component and black solid line is indicated vertical component.

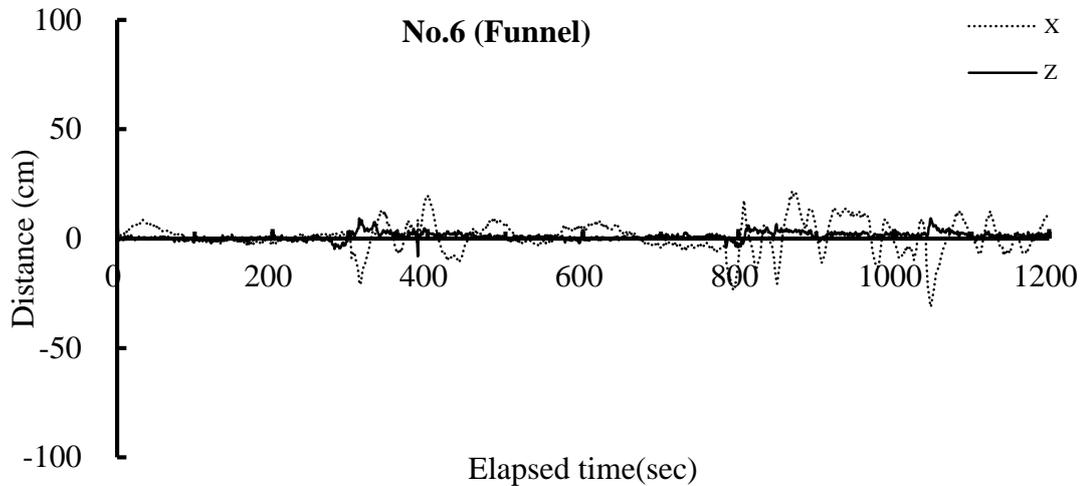


Fig. 1-13. Distance of the squid that has moved from the origin. In this figure, black dotted line is indicated horizontal component and black solid line is indicated vertical component.

1.3.2 미끼의 운동 패턴

1.3.1 에서 분석한 창오징어의 20 분간의 운동은 그 수평성분과 연직성분의 데이터의 양이 많기 때문에 운동의 특징을 분류하는 것은 곤란했다. 그래서 여기서는 기록한 비디오영상으로부터 창오징어의 운동의 특징을 각각의 패턴으로 나누어 관찰했다. 창오징어는 처음에는 끼워진 낚시를 빼려고 하는 운동을 하였고, 그 운동 중에는 아랫줄이 팽팽하게 당겨진 상태였다. 이후 아랫줄을 느슨하게 하면서 다양한 유영운동을 나타냈다. 창오징어의 일련의 운동은 같은 움직임을 2 번 이상 반복하는 운동단위의 조합으로 나타낼 수 있는 것, 멈춰있는 것 및 규칙성이 없는 것으로 나타낼 수 있었다. 이것들의 운동은 Table 1-2 에 나타낸 PT1 부터 PT5 및 ETC 의 6 패턴으로 분류하였다.

Table 1-2 Classification of behavioral patterns observed during this study

Pattern	Description
PT1	The squid tried to remove the hook and pulled the line strongly. The branch line was stretched in this behavioral pattern only.
PT2	The squid moved up and down periodically.
PT3	The squid moved horizontally while turning its body.
PT4	The squid moved obliquely upward and downward and the speed of climbing was faster than that of descending.
PT5	The squid kept its body axis horizontal while it moved vertically.

또한 PT1 부터 PT4 를 Fig. 1-14 에 나타낸 것과 같이 창오징어의 운동 단위의 넓이로 넓은 범위의 운동 (이하, W) 과 좁은 범위의 운동 (이하, N) 으로 분류하였다. 여기에서 W 는 운동 단위가 창오징어의 외투장을 직경으로 하는 적색의 실선의 원보다 넓은 범위의 운동을 한 경우이고, N 은 마찬가지로 이 원보다 좁은 범위의 운동을 한 경우이다. PT5 는 멈춰있는 운동으로 여기에서의 넓이에 따른 분류는 하지 않았다.

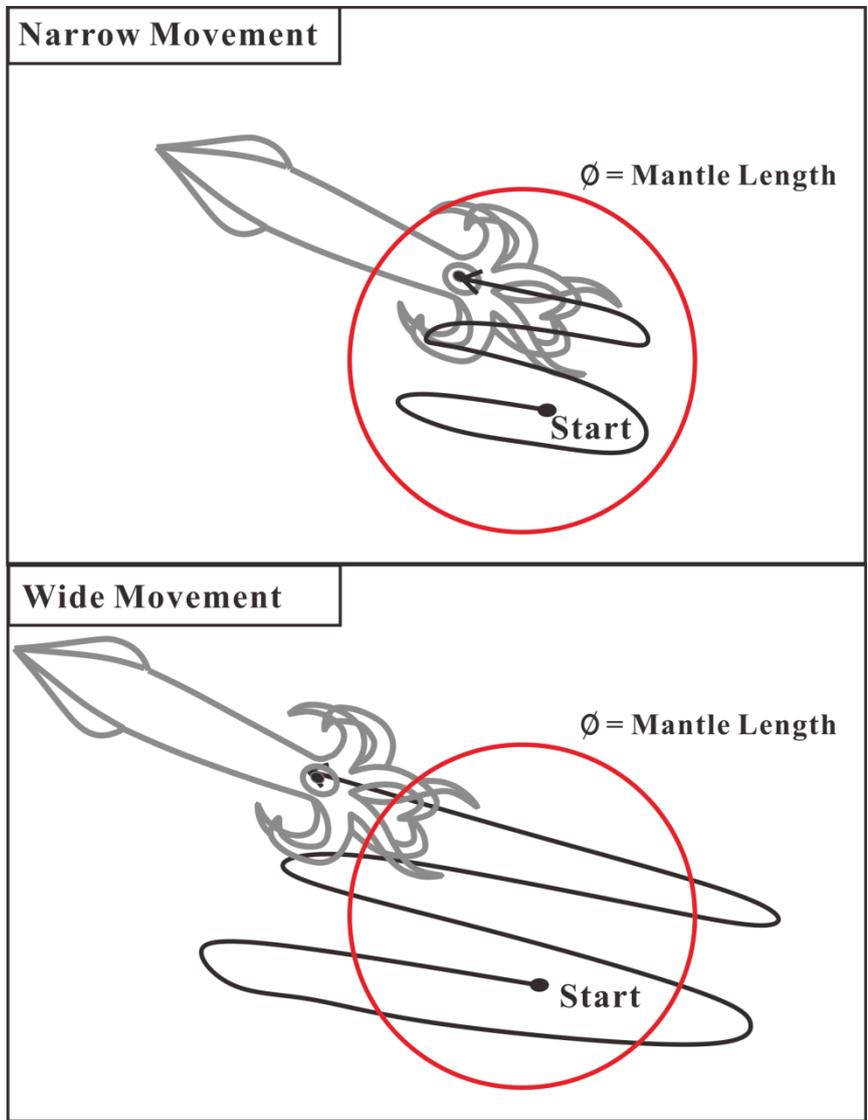


Fig. 1-14. Classification of movement range: narrow movement (N) is defined as squid movement inside a circle within the diameter of its mantle length; wide movement (W) is defined as movement that exceeds the circle. The red line circle shows the range within the diameter of the squid's mantle length.

이들 중에 PT1-W, PT2-W, PT3-W, PT4-W 및 PT5 는 체측방향의 시계열변화와 궤적에 특징이 나타나 있어 각각의 예를 Fig. 1-15~19 에 체측의 변화와 궤적으로 나타냈다. 이 그림에서는 창오징어의 외투막의 전단을 흑색의 원으로 나타내고, 이 외투막의 전단과 눈의 위치를 연결하는 실선을 체측으로 나타냈다. 또한 창오징어의 위치는 외투막의 전단과 눈의 위치의 중심점으로 적색원으로 나타내고, 이동 순서를 적어 적색의 실선으로 궤적을 나타냈다. 보라색의 화살표는 운동의 방향을 보조적으로 나타내고 있다. PT4-W 의 경우는 청색 점선의 사각으로 나타낸 부분이 복잡하기 때문에 청색의 화살표로 나타낸 부분의 위에 확대하여 나타냈다.

PT1-W 의 경우 창오징어가 운동을 할 때에 아릿줄을 당기고 있어 체측방향이 항상 아릿줄과 모릿줄의 연결점을 향하고 있었다. PT2-W 에서는 연직방향으로부터 다소의 기울어짐이 있었지만 창오징어가 상하운동을 하여 상승할 때에는 운동방향과 체측방향이 일치했고, 하강할 때에는 운동방향과 체측방향이 반대로 되었다. 그리고 상승할 때에는 지느러미를 움직여 운동을 하지만 하강할 때에는 자유 낙하에 의한 운동을 하고 있어 상승속도가 하강속도보다 빨랐다. PT3-W 에서는 창오징어는 체측을 거의 연직으로 하여 몸을 회전하면서 수평방향으로 운동을 하였다. PT4-W 에서는 창오징어는 체측을 거의 수평으로 하여 운동을 하였다. 이 경우 창오징어는 누두로부터 물을 뱉어내 (제트 분사) 는 것에 의하여 비스듬하게 위쪽 방향으로 운동을 한 다음에 제트 분사는 없이 원래의 위치로 돌아오는 운동을 하였다. 비스듬하게 위쪽에서의 운동은 운동방향과 체측방향이 같게 되고, 아래쪽 방향으로의 운동은 운동방향과 체측방향이 반대가 되었다. 그리고 제트 분사에 의한 상승속도는 원래의 위치로 돌아오는 운동보다 빨랐는데 그

평균상승속도는 PT4-W 에서 21.5 cm/s (SD: 1.9 cm/s) 이었고, PT2-W 의 지느러미에 의한 평균상승속도 8.4 cm/s (SD: 1.4 cm/s) 에 비하여 명확히 빨랐다. 이러한 PT2-W 와 PT4-W 는 주가 되는 운동방향, 유영 방법 및 이것에 동반되는 운동 속도에 명확한 차이가 있다. PT5 에서는 창오징어는 체축을 거의 수평으로 하여 같은 위치를 유지하고 있었으나, 이 때에 지느러미와 팔의 움직임이 관찰되었다.

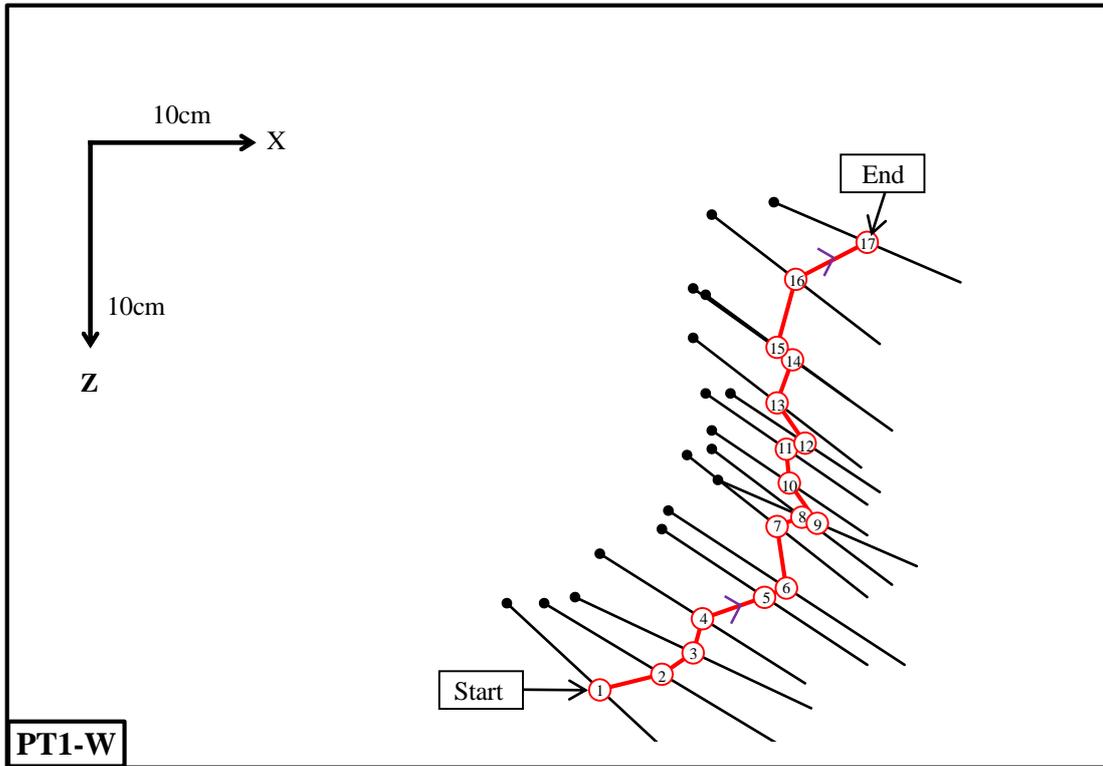


Fig. 1-15. Example of behavioral pattern of PT1-W. In this figure, each line with a black filled circle shows the position of the mantle. Black solid lines indicate body axes and the opposite end of the line shows the position of the funnel. And the red circles show the center of the squid and red lines show the moving track.

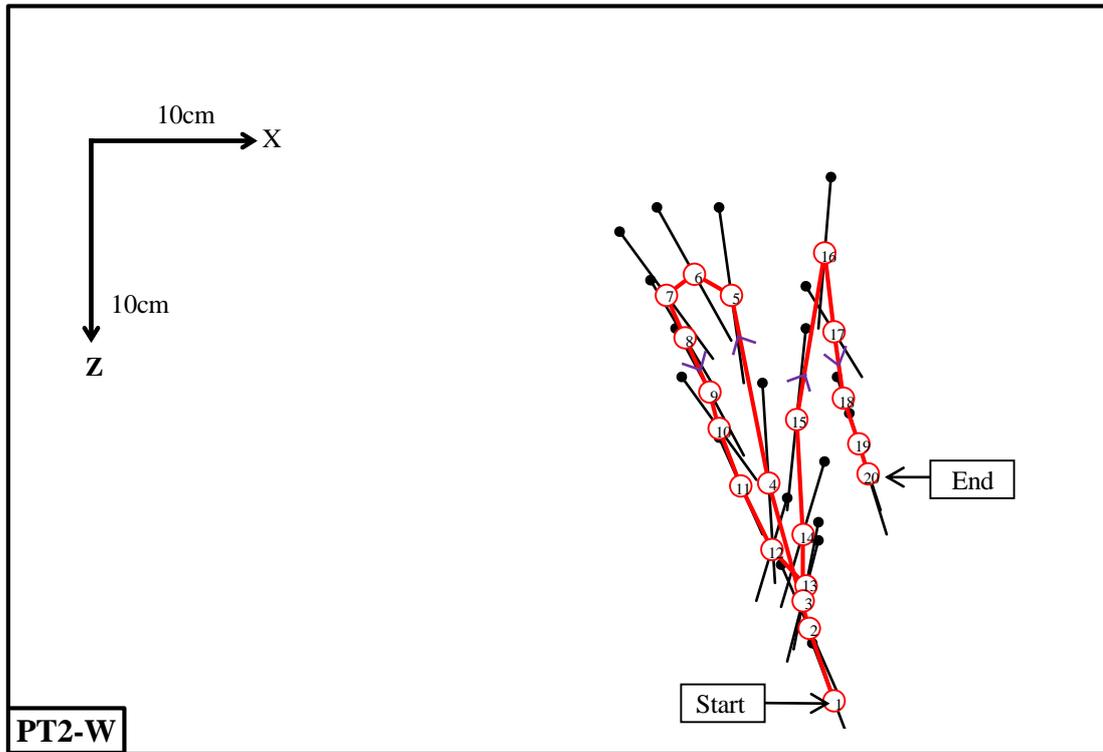


Fig. 1-16. Example of behavioral pattern of PT2-W. In this figure, each line with a black filled circle shows the position of the mantle. Black solid lines indicate body axes and the opposite end of the line shows the position of the funnel. And the red circles show the center of the squid and red lines show the moving track.

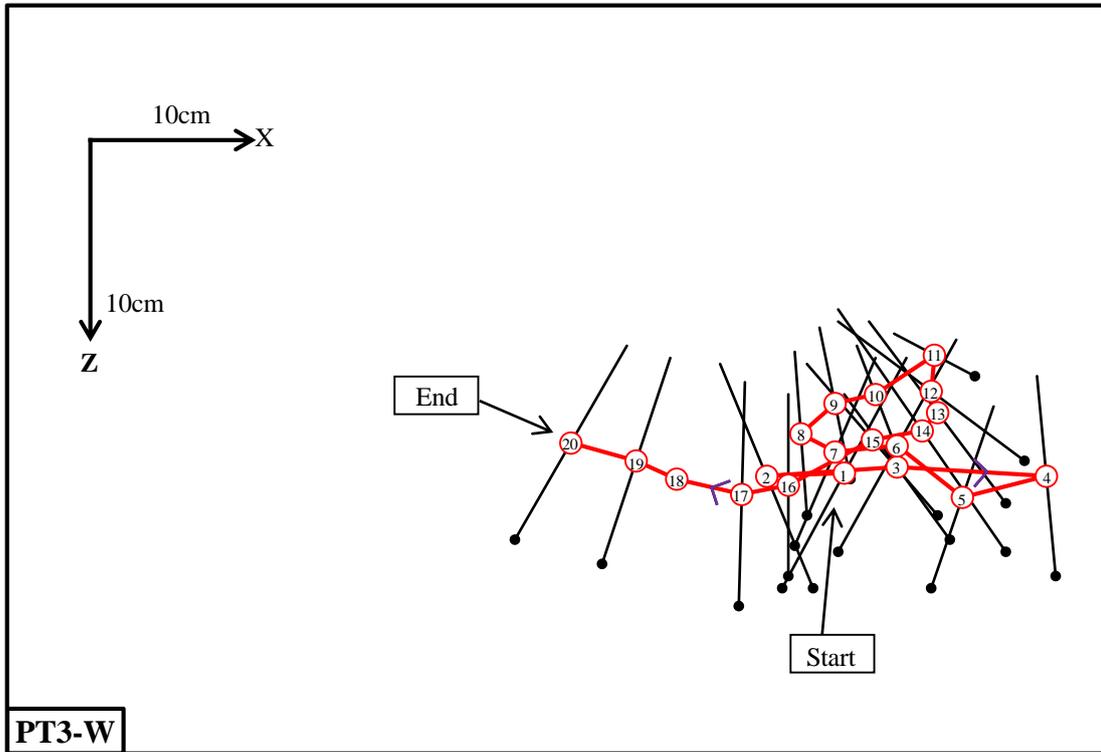


Fig. 1-17. Example of behavioral pattern of PT3-W. In this figure, each line with a black filled circle shows the position of the mantle. Black solid lines indicate body axes and the opposite end of the line shows the position of the funnel. And the red circles show the center of the squid and red lines show the moving track.

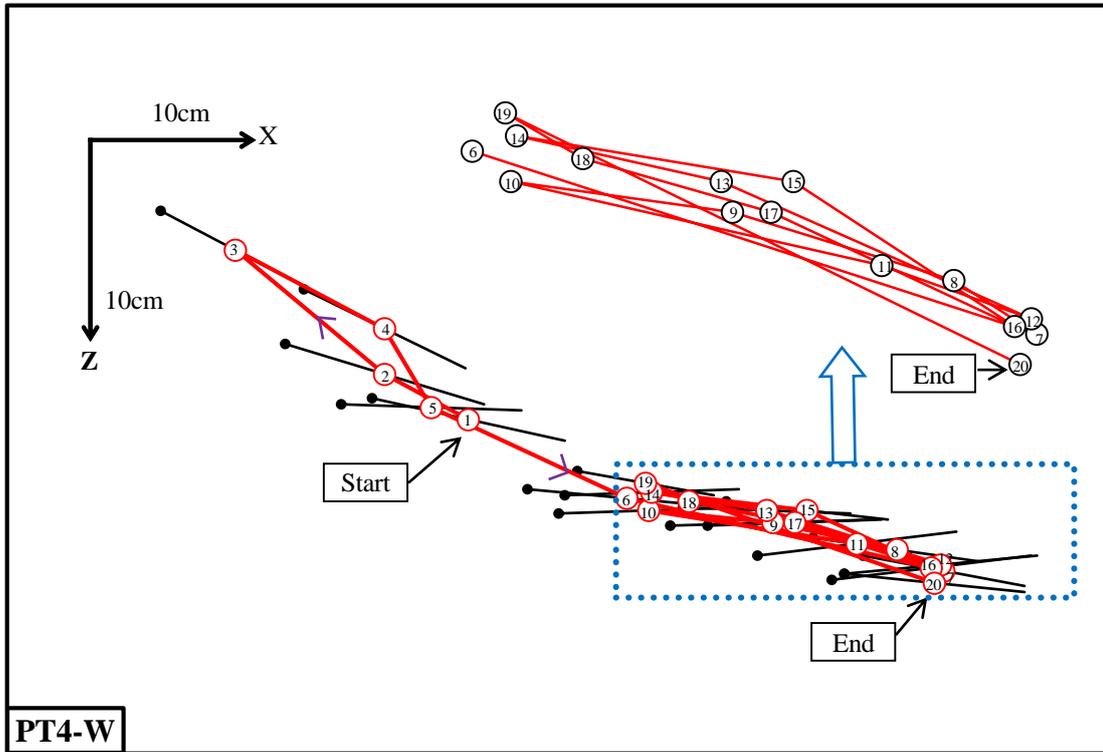


Fig. 1-18. Example of behavioral pattern of PT4-W. In this figure, each line with a black filled circle shows the position of the mantle. Black solid lines indicate body axes and the opposite end of the line shows the position of the funnel. And the red circles show the center of the squid and red lines show the moving track.

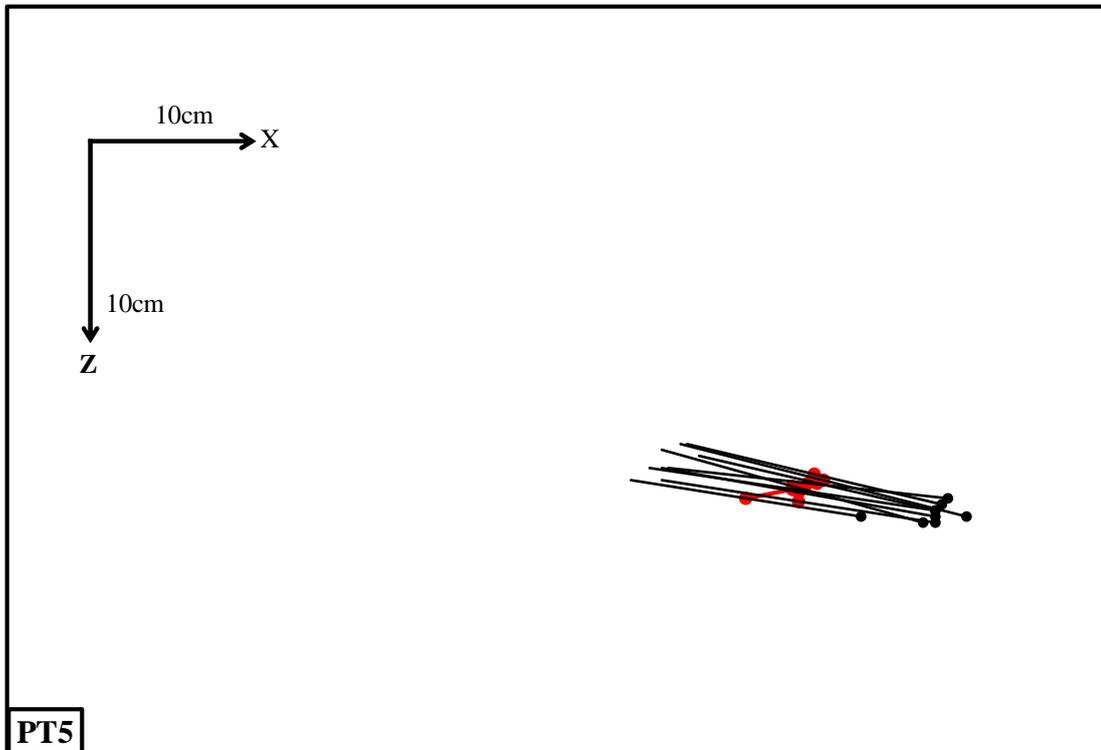


Fig. 1-19. Example of behavioral pattern of PT5. In this figure, each line with a black filled circle shows the position of the mantle. Black solid lines indicate body axes and the opposite end of the line shows the position of the funnel. And the red circles show the center of the squid and red lines show the moving track.

Table 1-3 에는 낚시를 끼우는 위치에 따라 PT1 부터 ETC 까지의 출현빈도를 출현시간과 총 기록시간에 대한 비율로 나타냈다.

PT1 과 PT3 에서는 외투끼우기와 누두끼우기가 모두 출현이 적었다. PT2 의 경우는 두 방법 모두 많이 출현하였다. PT4 의 경우는

외투끼우기는 출현하였지만 누두끼우기는 출현하지 않았다. PT5 와 ETC 에서는 외투끼우기에 비하여 누두끼우기가 많이 출현하였다.

외투끼우기의 경우, PT2 는 7 마리의 총 기록시간 8,400 초 중에서 7,402 초 출현하였고 그 비율은 88%이었다. 이 중에 90%가 PT2-N 으로 외투끼우기에서는 PT2-N 가 대표적인 운동 형태 이었다.

반면 누두끼우기의 경우, PT2 는 6 마리의 총 기록시간 7,200 초 중에서 5,138 초가 출현하였고 그 비율은 71%이었다. 이 중에서 PT2-N 와 PT2-W 는 거의 비슷한 비율로 출현하여 외투끼우기와는 다르게 PT2-N 와 PT2-W 가 대표적인 운동형태이었다. 그리고 PT5 가 10%이상의 비율로 출현하여 이것도 외투끼우기와는 다른 특징이었다.

외투끼우기의 대표적인 PT2-N 와 누두끼우기의 대표적인 PT2-N 와 PT2-W 에 대하여 시간경과에 대한 창오징어의 운동 궤적의 예를 Fig. 1-20 에 나타냈다. 이 그림에서는 외투끼우기와 누두끼우기의 PT2-N 은 주기적인 운동이 명확하지 않았으나 누두끼우기의 PT2-W 에서는 운동범위가 넓은 것도 있어 수평방향 및 연직방향에서 비교적 큰 진폭의 주기적인 운동을 하고 있는 것을 알 수 있다.

반면, 이 연승어구의 미끼를 끼우는 위치에 대하여 외투끼우기와 누두끼우기를 비교하면 제주도의 어업자들에게 청취 조사를 한 결과 후자의 쪽이 어획량이 많다고 말한다. 이것으로부터 이 연구의 참돔의 어획에 유효한 창오징어의 대표적인 운동은 누두끼우기로 그 중에서 진폭을 크게 나타내고 있는 PT2-W 의 주기적운동의 주기성에 대하여 지배적 주파수와 그 때의 운동 진폭을 구하여 검토하였다.

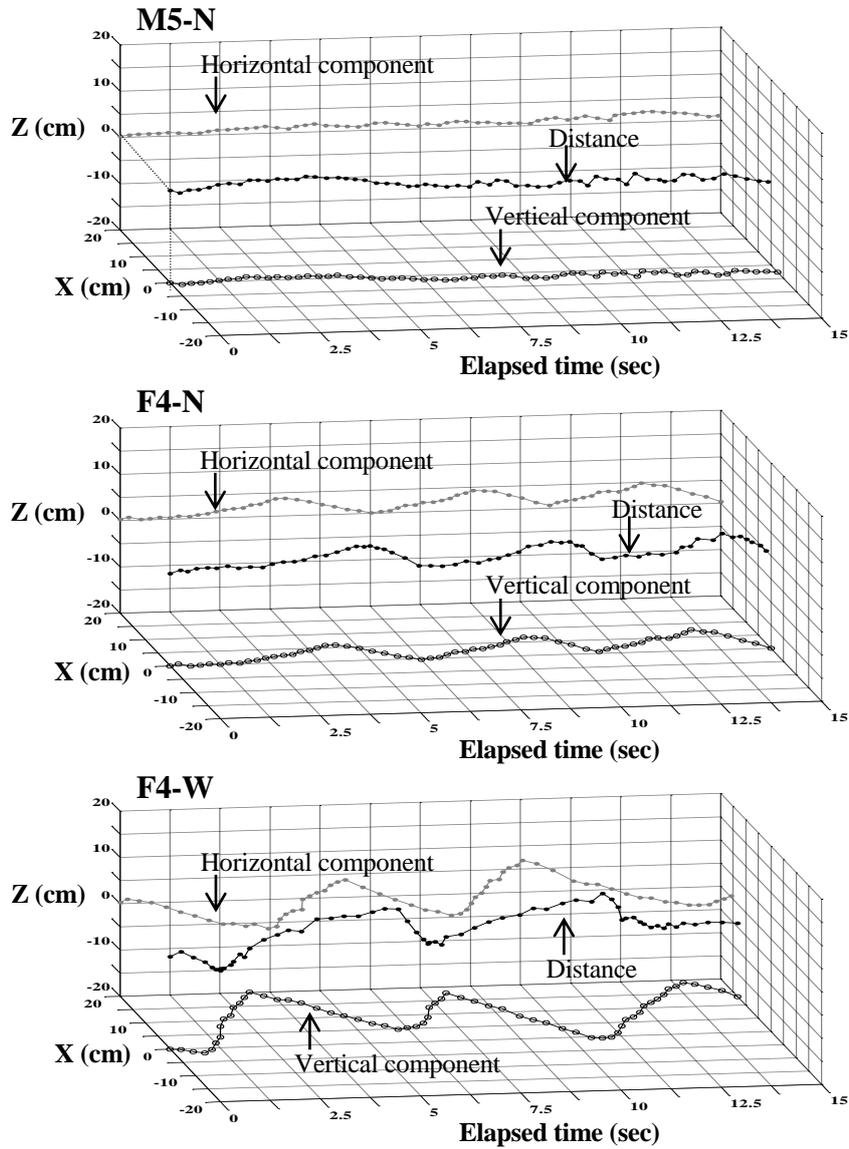


Fig. 1-20. Changes in the squid's horizontal and vertical components of position and distance from the start according to time. The periodicity of the wide movement when it was hooked at the funnel was much clearer than when hooked at the mantle.

1.3.3 미끼 운동의 주기성

창오징어의 운동 궤적의 수평 성분 x_r 과 연직 성분 z_r 으로부터 FFT에 의한 기본 주파수 f_B 의 정수 배의 주파수 f_N 에 있어서의 운동 진폭의 수평 성분 $A_{x_{f_N}}$ 과 연직 성분 $A_{z_{f_N}}$ 을 구하여 운동 진폭 A_{f_N} 을 다음의 식으로 구했다.

$$A_{f_N} = \sqrt{(A_{x_{f_N}})^2 + (A_{z_{f_N}})^2} \quad (1-2)$$

비디오 영상으로부터 좌표를 읽을 때에 확인한 PT2-W는 하나의 운동에 필요한 시간이 전부 1초보다 길었기 때문에 분석 최대주파수를 2 Hz로 하였다. 이것을 나이퀴스트 주파수 f_n 를 나타내는 다음의 식에 대입하면, 데이터 간격 τ 는 0.25 초가 된다. 그리고 데이터의 길이를 8초로하였기 때문에 기본주파수는 f_B 와 같아지는 분석 가능 최저주파수는 0.125 Hz가 된다.

$$f_n = \frac{1}{2\tau} \quad (1-3)$$

주파수분석에서는 연속으로 좌표가 읽어진 10.25 초를 대상으로 하여 데이터 간격을 0.25 초로 하였기 때문에 데이터 세트 1조의 데이터 수는 41 개가 되었다. 이 41 개의 데이터 중에 연속하는 32 개의 데이터로 f_N 에

있어서의 운동 진폭을 구했으나 0.25 초씩 분석개시시간을 늦춰 얻어진 10 개의 진폭의 평균치 $\overline{A_{x_{f_N}}}$, $\overline{A_{z_{f_N}}}$ 및 $\overline{A_{f_N}}$ 을 구했다.

PT2-W 에서 10.25 초를 연속하여 궤적을 읽은 Fig. 1-21~23 의 데이터 세트 (적색 점선의 사각형) 을 실제의 주파수분석에 이용하였다. 이 그림에서 많은 데이터가 분석 가능하게 생각되었지만 촬영 상황이 나빠서 연속하여 좌표가 읽혀지지 않은 부분이 많이 포함되어 연속하여 데이터가 읽혀진 부분을 분석대상으로 하였다. 이 때문에 분석에 사용한 데이터는 기록한 6 마리 중에 4 마리의 PT2-W 의 총 출현 시간 1,704 초 중에 184.5 초 (10.8%) 이었다. 이 분석에 사용한 시계열 데이터를 Fig. 1-24~27 에 나타냈다.

분석에서 얻어진 스펙트럼을 창오징어를 1 마리씩 나누어 Fig. 1-28~31 에 나타냈다. 여기에서 나타낸 숫자는 Fig. 1-21~23 에 나타낸 데이터 세트의 번호이다.

분석에서 구해진 진폭의 최대치를 나타내는 지배적 주파수는 0.125 Hz 에서 0.25 Hz 의 범위에 분포하고 있었다. 그 빈도는 0.125 Hz 가 85%이었고, 0.25 Hz 가 15%이었는데 주로 분석 가능한 최저주파수인 0.125 Hz 에 집중하고 있었다.

지배적 주파수 0.125 Hz 에 있어서의 운동 진폭의 수평성분은 0.8 cm 에서 10.8 cm 까지의 범위였고, 그 평균은 4.8 cm (SD : 3.1 cm) 이었다. 운동 진폭의 연직성분은 6.3 cm 에서 15.9 cm 까지의 범위였고, 그 평균은 9.3 cm (SD : 2.7 cm) 이었다. 그리고 운동진폭은 6.8 cm 부터 17.6 cm 까지의

범위였고, 그 평균은 10.8 cm (SD : 3.0 cm) 이었다. 이 결과로부터 운동진폭의 수평성분과 연직성분으로부터 구해진 평균적인 운동방향은 수평축에 대하여 63.0° 를 이루는 방향으로 PT2-W 는 수평방향보다 연직방향으로 크게 운동하고 있었다고 할 수 있다.

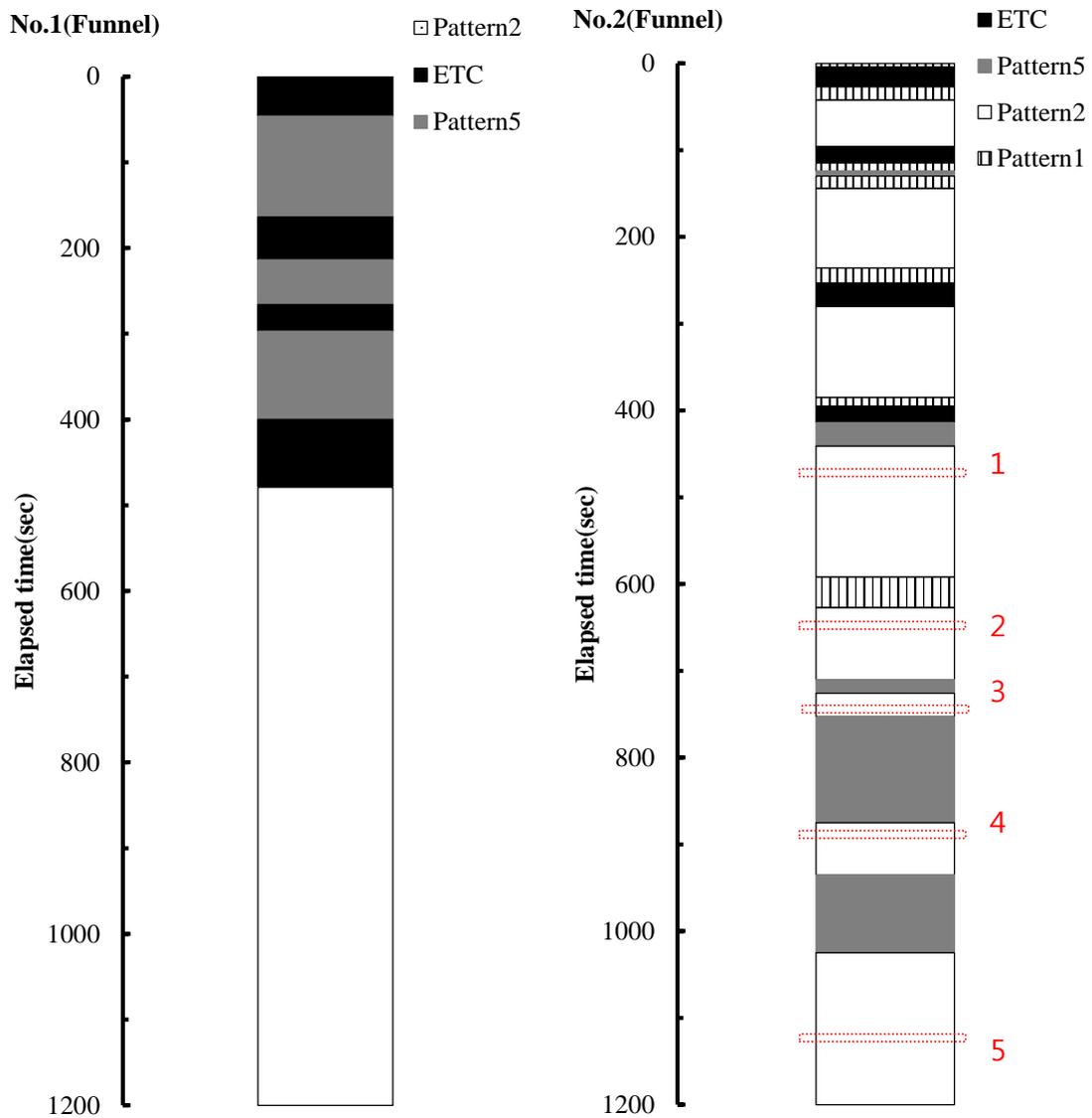


Fig. 1-21. Appearance frequency of movement patterns when the squid was hooked at the funnel. Analyzed parts are shown as red dotted squares with their assigned numbers.

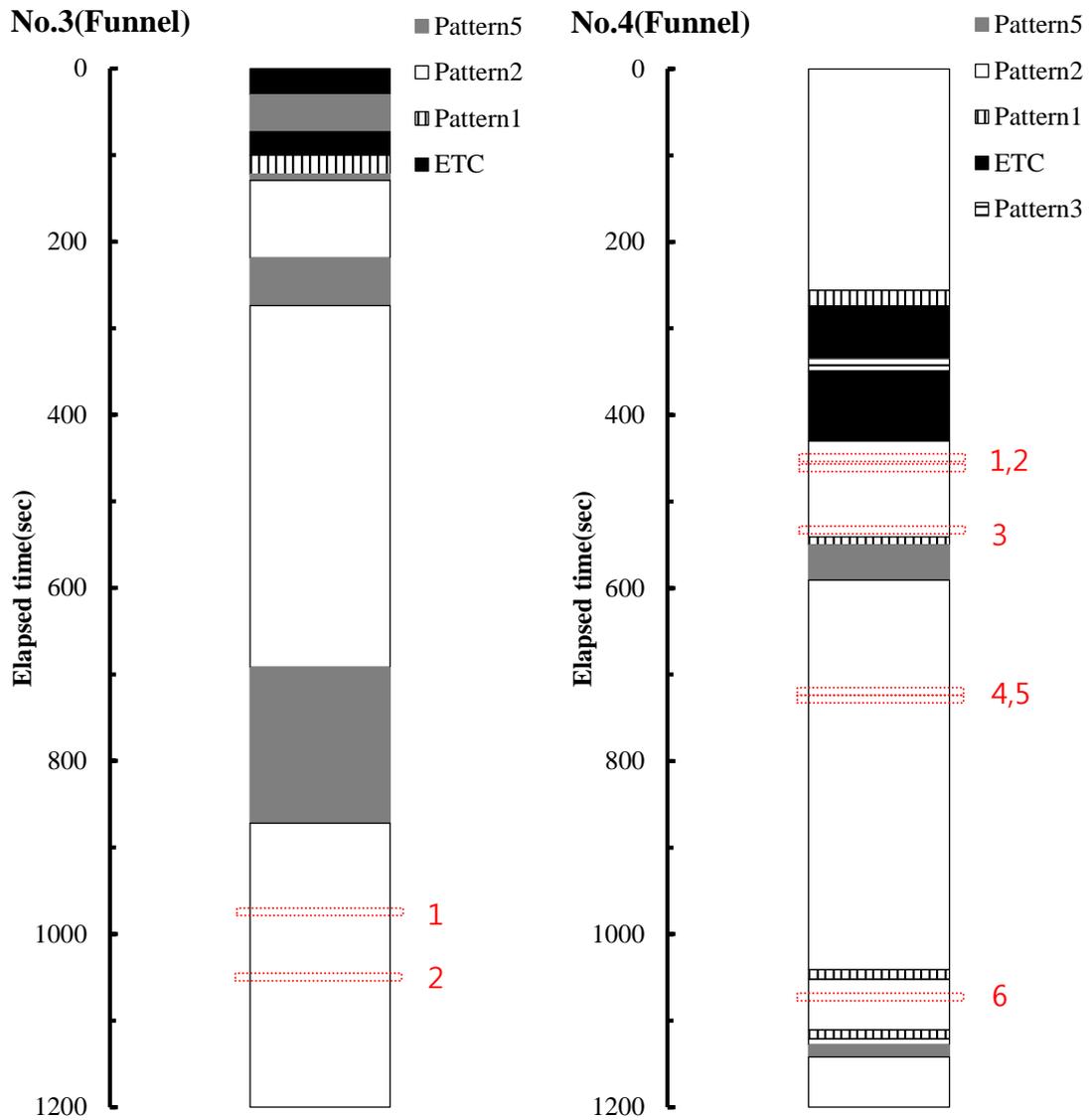


Fig. 1-22. Appearance frequency of movement patterns when the squid was hooked at the funnel. Analyzed parts are shown as red dotted squares with their assigned numbers.

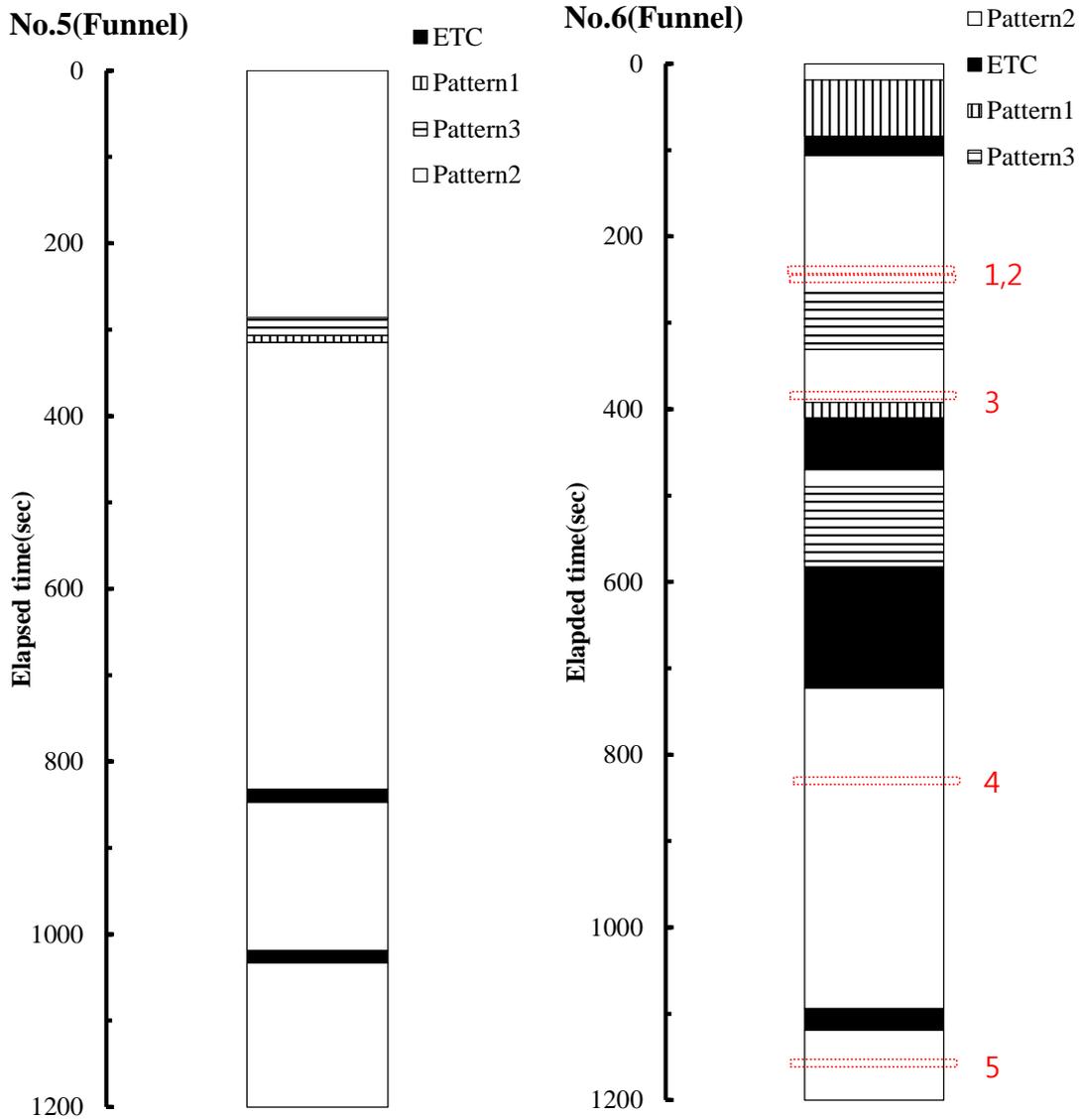


Fig. 1-23. Appearance frequency of movement patterns when the squid was hooked at the funnel. Analyzed parts are shown as red dotted squares with their assigned numbers.

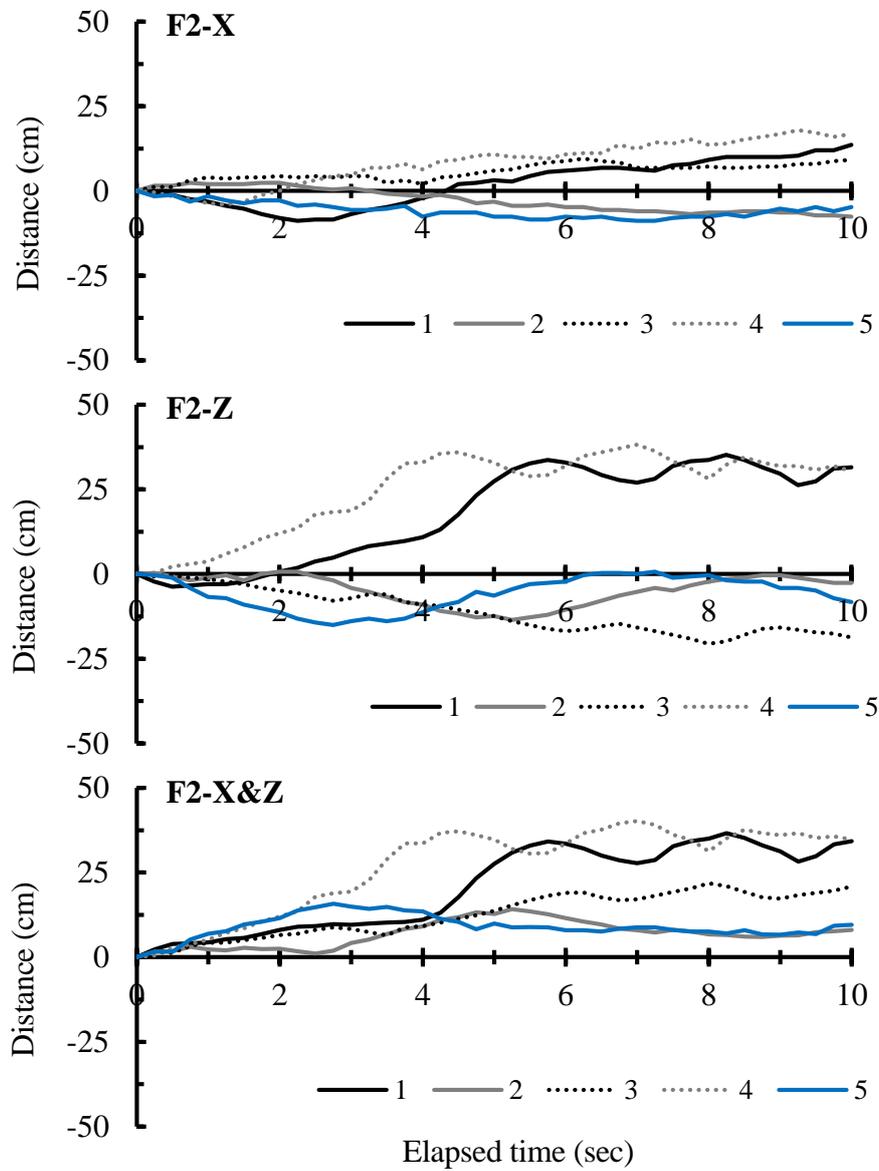


Fig. 1-24. Moved distance of horizontal and vertical components and their compositions for FFT analysis of squid movement. Numbers with symbols are assigned by analyzed data sets shown in Fig. 1-21.

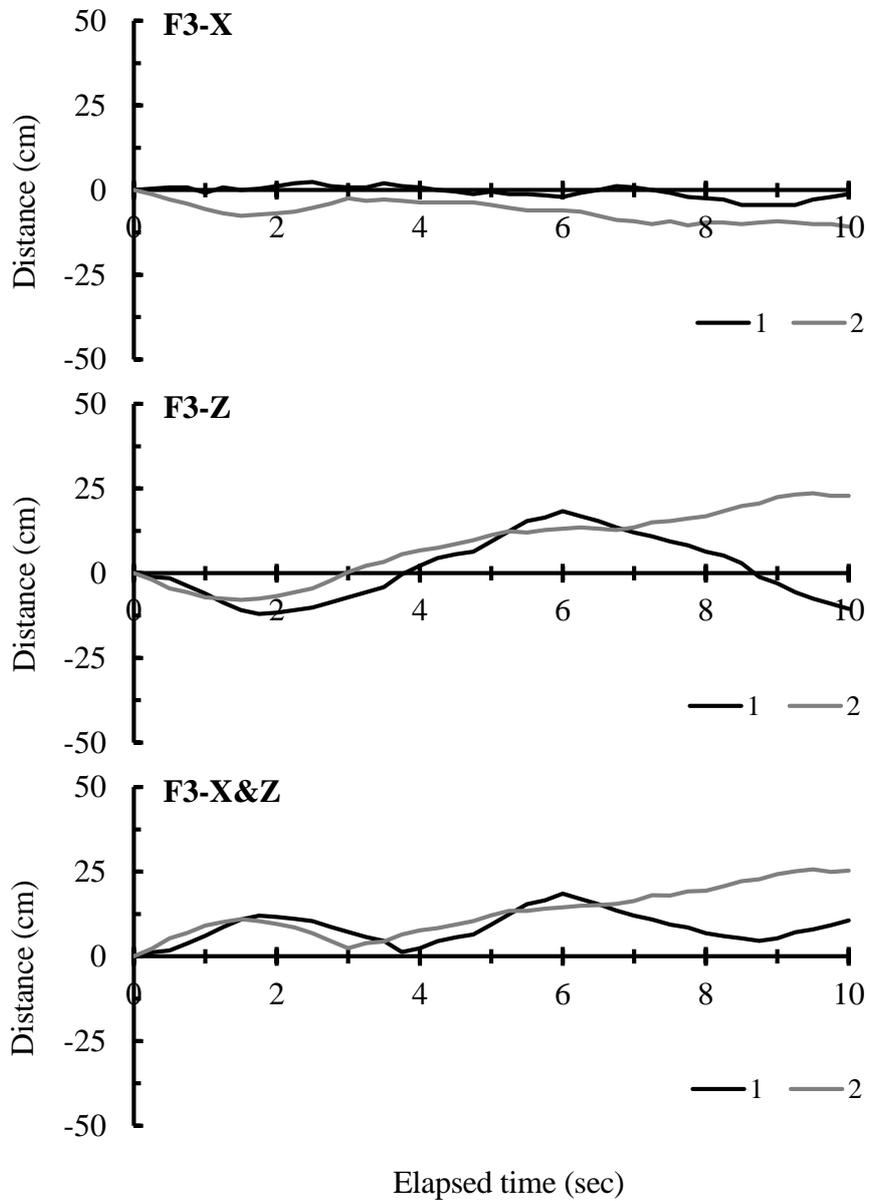


Fig. 1-25. Moved distance of horizontal and vertical components and their compositions for FFT analysis of squid movement. Numbers with symbols are assigned by analyzed data sets shown in Fig. 1-22.

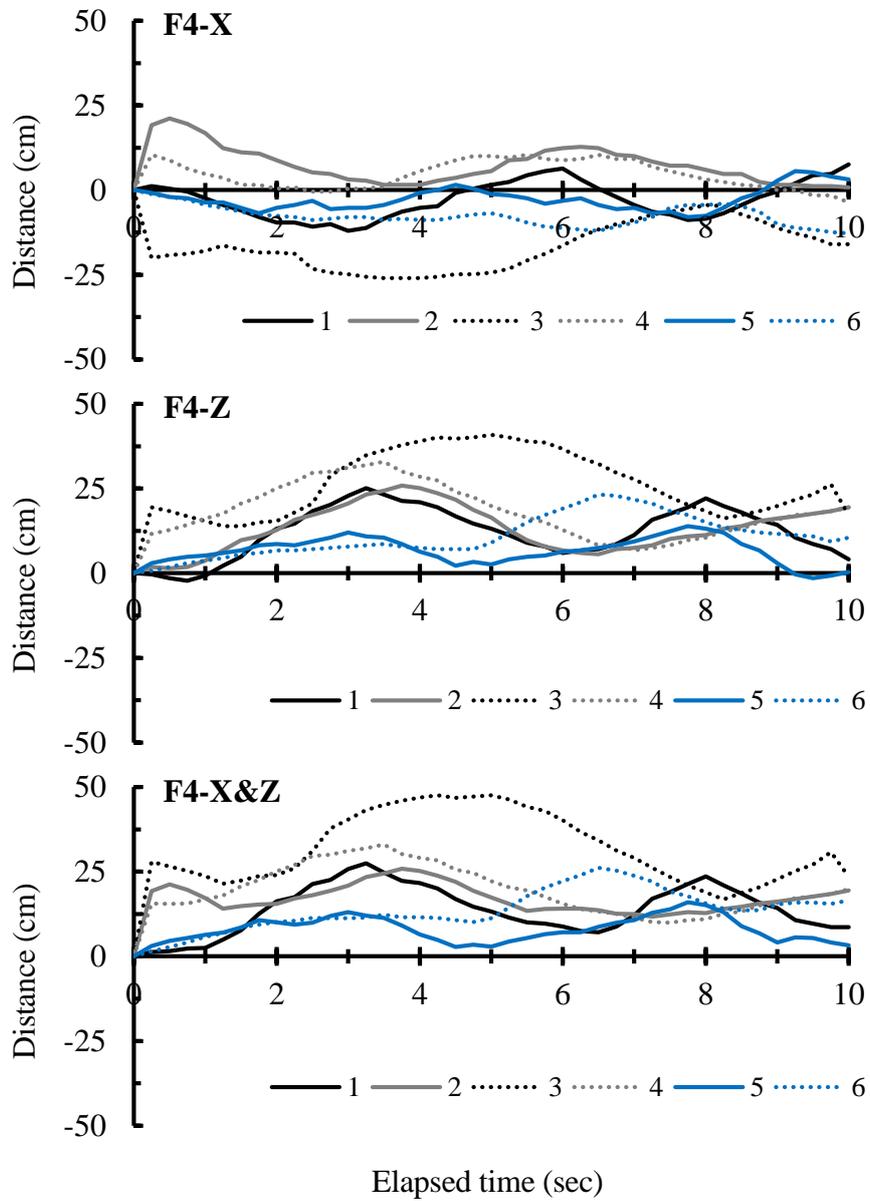


Fig. 1-26. Moved distance of horizontal and vertical components and their compositions for FFT analysis of squid movement. Numbers with symbols are assigned by analyzed data sets shown in Fig. 1-22.

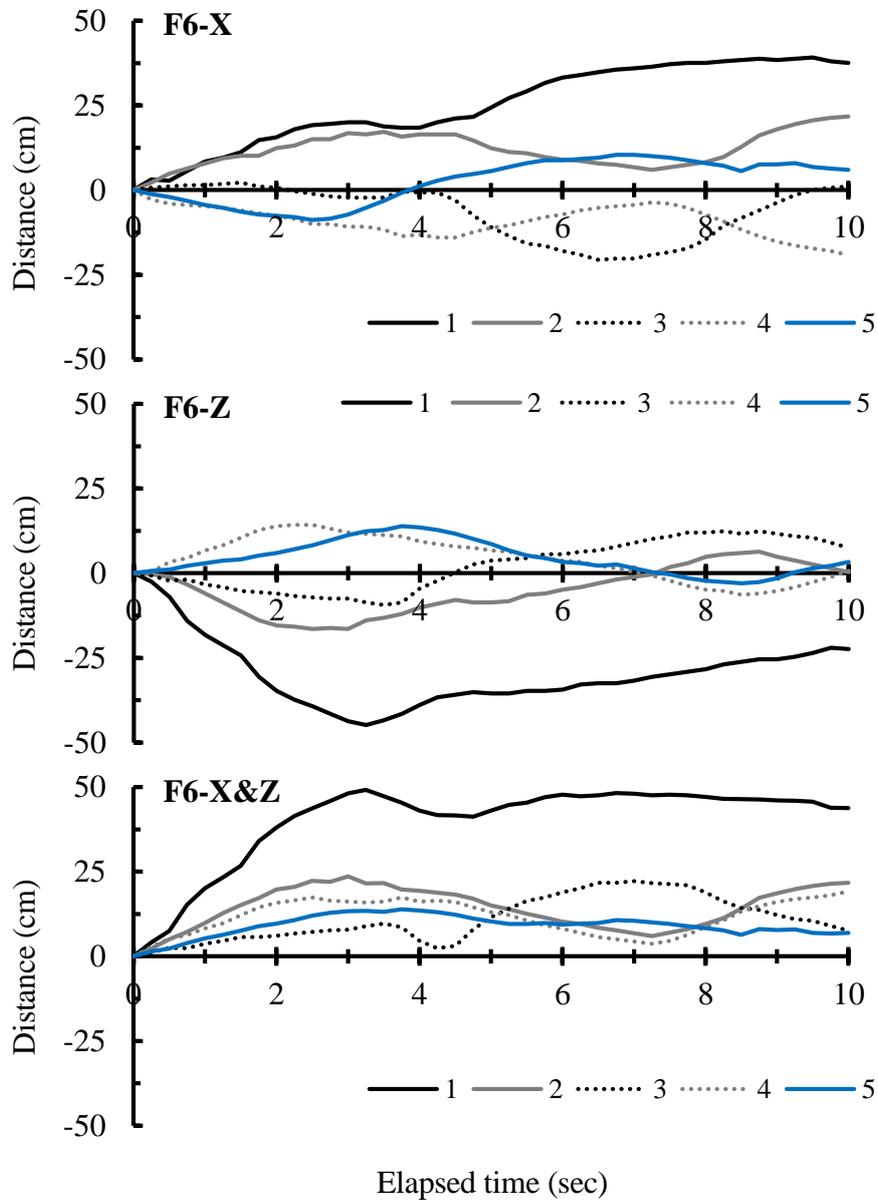


Fig. 1-27. Moved distance of horizontal and vertical components and their compositions for FFT analysis of squid movement. Numbers with symbols are assigned by analyzed data sets shown in Fig. 1-23.

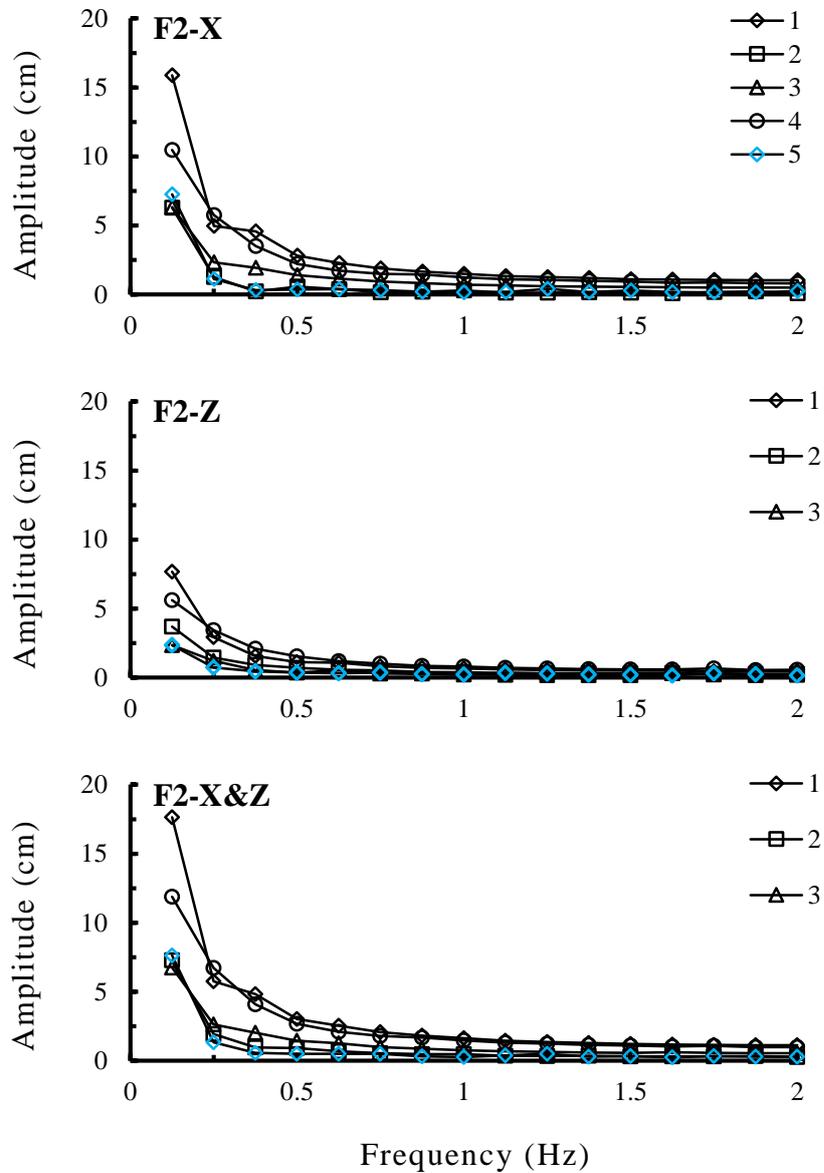


Fig. 1-28 Averaged amplitudes of horizontal and vertical components and their compositions for 10 sample times obtained from FFT analysis of squid movement. Numbers with symbols are assigned by analyzed data sets shown in Fig. 1-21.

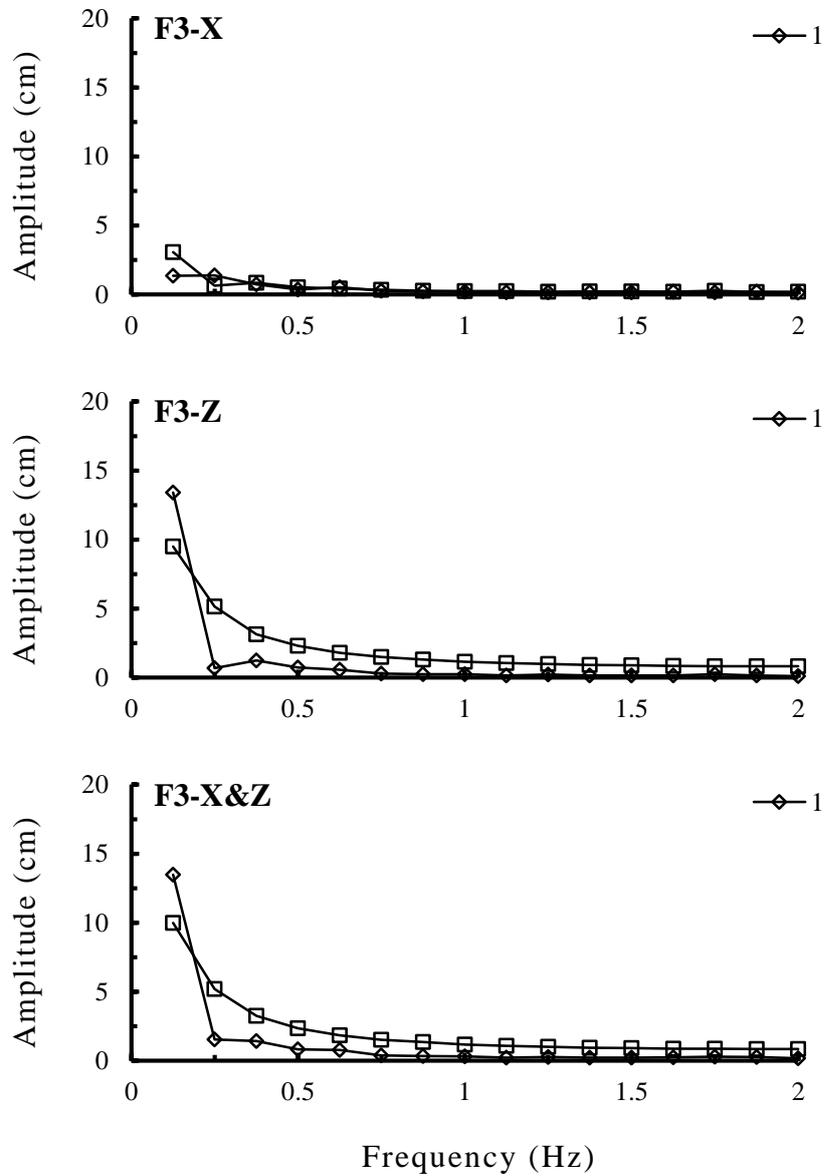


Fig. 1-29. Averaged amplitudes of horizontal and vertical components and their compositions for 10 sample times obtained from FFT analysis of squid movement. Numbers with symbols are assigned by analyzed data sets shown in Fig. 1-22.

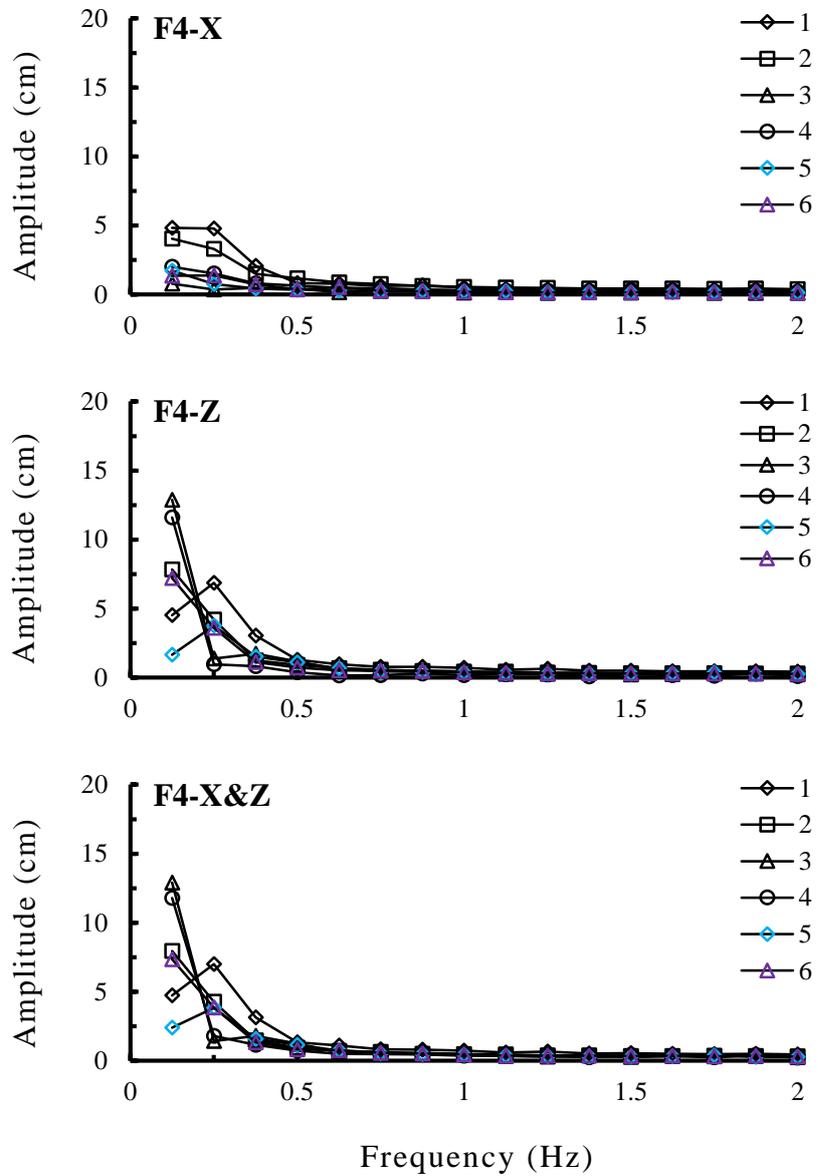


Fig. 1-30. Averaged amplitudes of horizontal and vertical components and their compositions for 10 sample times obtained from FFT analysis of squid movement. Numbers with symbols are assigned by analyzed data sets shown in Fig. 1-22.

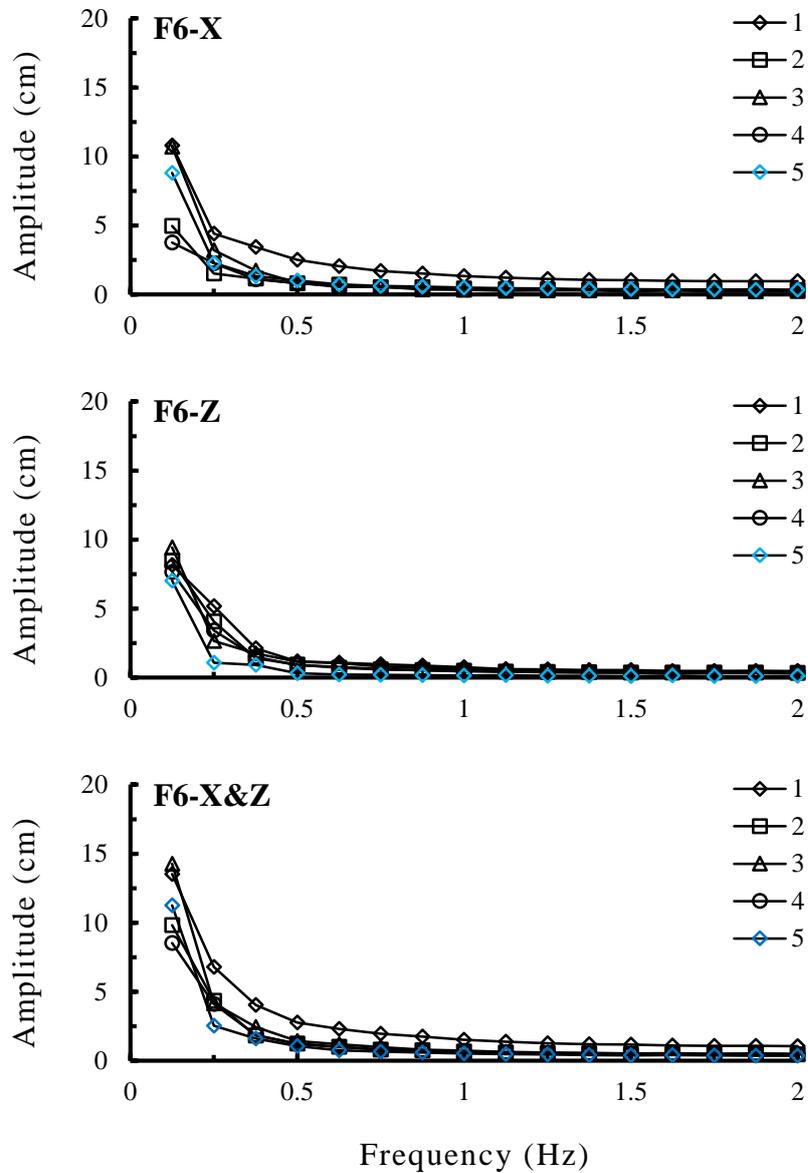


Fig. 1-31. Averaged amplitudes of horizontal and vertical components and their compositions for 10 sample times obtained from FFT analysis of squid movement. Numbers with symbols are assigned by analyzed data sets shown in Fig. 1-23.

1.3.4 미끼 운동의 적합성

창오징어의 운동을 FFT 로 분석한 결과, 지배적 주파수는 0.125Hz 에 85%, 0.25Hz 에 15%가 분포하였다. 여기서의 FFT 에 의한 분석의 분해능이 0.125Hz (8 초 주기) 와 0.25Hz (4 초 주기) 와의 사이의 4초간의 분석이 되지 않았다. 그리고 0.125Hz (8 초 주기) 보다 긴 주기에서의 지배적 주파수의 존재도 부정할 수 없다.

여기에서의 FFT 에 의한 분석은 데이터 간격을 0.25 초로 했는데 이것을 짧게 하는 것으로 분석의 분해능을 높일 수 있다. 그러나 이 연구에서의 수조실험에서는 실제의 조업환경에 맞추기 위하여 촬영 가능한 한계의 어둡기로 했다. 그래서 0.25 초 보다 데이터 간격을 짧게 하여 연속한 데이터의 좌표를 읽는 것은 불가능했다. 단, 32 개의 데이터보다 긴 64 개의 연속한 좌표가 읽어진 4곳이 있어 이것을 FFT 분석을 했다. 그 결과를 Fig. 1-32 에 나타냈다.

분석된 지배적 주파수는 모두 0.125Hz 로 0.1875Hz (5.3 초) 와 0.25Hz (4 초) 에는 존재하지 않았다. 그리고 0.0625Hz (16 초) 에는 주파수성분이 존재했지만 0.125Hz 보다 작은 진폭이었다.

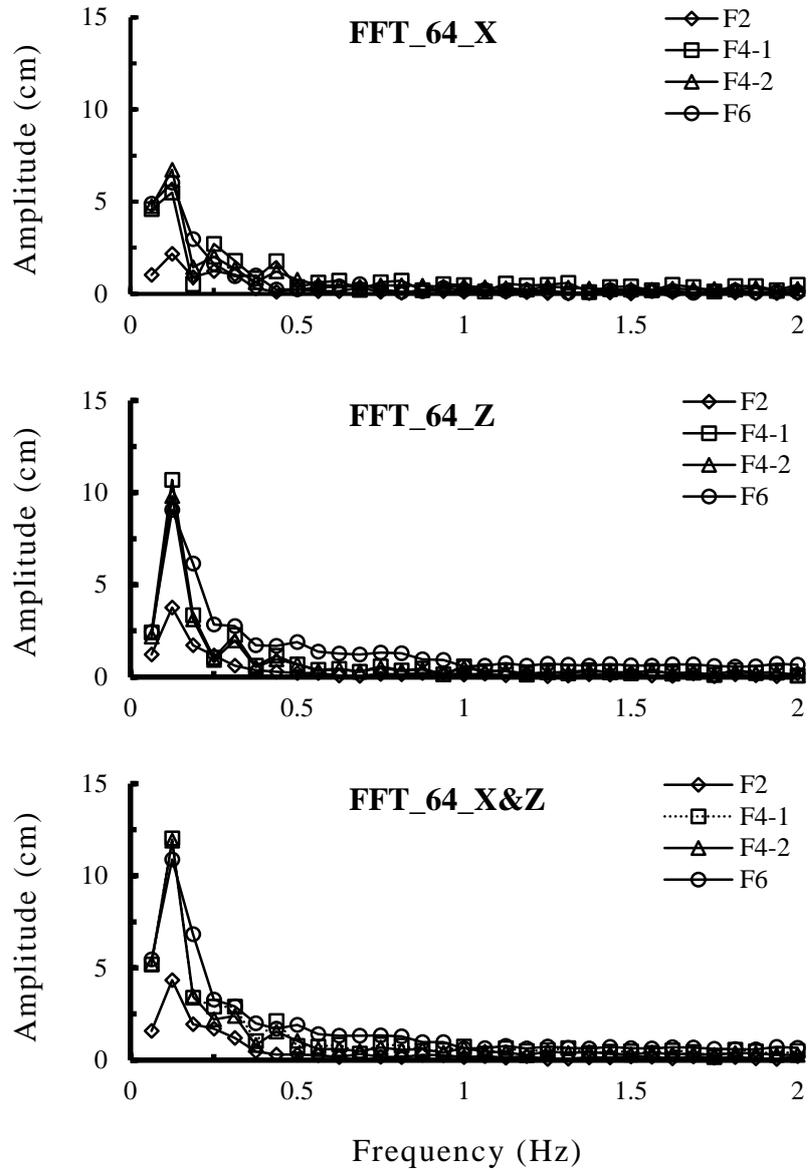


Fig. 1-32. Amplitudes of horizontal and vertical components and their compositions for 2 times data obtained from FFT analysis of squid movement.

1.4 고찰

이 연구에서는 수조 내의 물의 흐름이 없는 상태에서 실험을 실시하였다. 당연히 물의 흐름이 있는 상태와 없는 상태와의 창오징어의 운동에는 차이가 발생하지만 실제 제주도 참돔 연승어업에서는 조류의 흐름이 멈춘 시간대를 노려서 조업을 하고 있기 때문에 이 연구의 결과는 실제조업 시간대의 참돔을 유인하고 있는 창오징어의 움직임에 반영하고 있다고 말할 수 있다.

실제 참돔 연승어업에서는 미끼로 어획하는 창오징어의 상태가 좋을 때에 사용하기 위하여 어창에 보관하는 시간을 가능한 짧게 한다. 그래서 연승 어구의 투승을 참돔이 섭식 행동을 하는 일출 전후가 아니고, 미끼를 어획하는 조업이 종료된 22 시경에 한다. 이것은 투승직후의 창오징어의 운동이 아니고 일출 전후의 움직임이 참돔의 섭식 행동을 유발하고 있다는 것을 의미한다고 생각된다. 따라서 참돔의 섭식 행동의 유발에는 일출 전후의 창오징어의 움직임을 명확히 하지 않으면 안 된다. 이 연구에서는 예비실험으로 제주도 참돔 연승 어업의 투승시간 (22시) 부터 양승시간 (04시) 까지 연속하여 창오징어의 운동을 관찰했다. 관찰에서는 수조에 넣은 직후의 창오징어는 날뛰며 먹물을 뿜어내는 등의 행동을 했지만, 이후부터는 낚시와 아릿줄로부터 자신이 움직일 수 있는 범위를 확인해가면서 안정을 찾았다. 창오징어의 운동은 아릿줄과 낚시의 영향 때문에 이 연구에서 분류한 6 패턴의 단순한 움직임 이외에는 관찰되지 않았다. 또한, 유영 운동의 사이에는 휴식을 섞어가며 체력을 유지하는 모습도 관찰되었다. 이 장시간 동안의 관찰로부터 창오징어는 투승직후에 놀라서 안정을 찾을 때 이외는 장시간 체력을 유지하면서 단순한 운동을 반복하였기 때문에 시간 경과와 운동의 특징에는 관계가 없다고 생각된다. 따라서 이 연구에서의 분석대상인

투승으로부터 양승까지의 시간대의 창오징어 1 마리당 20 분씩 관찰한 창오징어의 운동은 참돔의 섭식 행동을 유발시킬 때의 운동이라고 말할 수 있다.

2008 년 7 월 25 일에 제주도 제주시 도두항의 식당 앞에 설치된 수조에서 관측한 창오징어의 운동은 연직 방향이 아니라 수평방향의 유영이 많았다. 이것은 이 연구에서 관측한 낚시에 끼워진 창오징어의 운동과는 큰 차이를 보인다. 이 운동의 차이는 낚시와 낚싯줄의 영향 때문이라고 생각된다. 외투끼우기의 경우는 연직방향의 운동인 PT2 가 88%이었고 누두끼우기의 경우는 연직방향의 운동인 PT2 가 71%이었다. 외투끼우기의 경우는 창오징어의 지느러미와 외투막에 낚싯줄이 닿는 경우가 많았는데 이에 비해 누두끼우기의 경우 창오징어가 체축을 수평방향으로 향할 경우 낚싯줄이 닿는 경우가 줄어들게 된다. 이것이 낚시와 낚싯줄에 의하여 창오징어의 유영에 미치는 영향으로 외투끼우기의 경우가 자연 상태의 창오징어의 유영 운동과 가까운 운동이라고 생각된다. 다만 아릿줄의 길이에 따라 창오징어가 유영할 수 있는 범위가 한정되기 때문에 참돔의 섭식 행동에 창오징어가 도망가지 못하여 어획이 되고 있을 가능성이 있다고 생각된다. 따라서 이후의 연구에서는 아릿줄의 길이에 의한 창오징어의 유영 범위와 참돔의 섭식 행동과의 관계에 관한 검토가 필요하다고 생각된다.

이 연구에서는 FFT의 분석대상으로 데이터 간격을 0.25초, 데이터 수를 32 개로 하였다. 여기에 데이터를 1 개씩 늦추어 10 개의 진폭으로부터 평균을 구하였다. 그 결과, 지배적 주파수는 0.125Hz 에 85%, 0.25Hz 에 15%가 분포하였다. 그러나 이 분석으로 얻어진 지배적 주파수는 0.125Hz 로 그 다음에 있는 0.25Hz 와는 4 초의 차이가 있어 그 사이의 창오징어의 대표적인 운동 주기가 존재하는 것을 부정할 수 없다. 보다

정밀한 분석을 하기 위해서는 데이터 간격을 좁게 하거나 데이터 수를 많이 하는 방법이 있다. 그러나 데이터 간격을 더욱 짧게 하여 분석을 시도하였으나 실제의 조업 환경을 고려하여 조도를 낮게 했기 때문에 촬영 영상의 품질이 나빠 불가능하였다. FFT의 데이터 수는 2의 제곱에 데이터 수가 결정되기 때문에 32개 보다 긴 다음의 데이터 수는 64개가 된다. 이 연구에서는 연속한 64개의 데이터 수가 읽힌 4곳이 있었다. 이 부분을 FFT에 의하여 분석한 결과 모든 지배적 주파수가 0.125Hz에 분포하고 있어 기존의 32개의 분석결과와 일치했다. 그러나 0.0625Hz에도 0.125Hz보다 진폭이 작지만 지배적 주파수가 존재했다. 이것은 0.0625Hz와 0.125Hz의 사이에 지배적 주파수의 존재 가능성이 있다는 것을 의미한다. 이러한 것들로부터 이 연구에서 분석된 지배적 주파수의 전후의 값에 대해서는 명확하지 않다. 참돔의 행동분석에서는 창오징어의 대표적인 운동 이외에 여기에서 명확히 되지 않은 지배적 주파수의 확인이 필요하다. 따라서 참돔을 이용한 실험에서는 0.0625Hz를 실험 조건의 최저 주기로 하여 확인하지 않으면 안 된다고 생각된다.

창오징어의 운동의 장시간 관측에서는 낚시를 빼려고 하는 격렬한 운동은 수조에 들어간 직후에 관찰되었지만 자신이 유영할 수 있는 범위를 파악한 이후에는 그 범위 내에서 유영을 지속하였다. 시간경과에 의한 체력의 저하는 전혀 관측되지 않았다. 이것은 PT5와 같이 휴식을 하는 행동이 있었기 때문이라고 생각된다. 본 실험에서의 20분간의 관찰과 예비실험에서의 6시간의 관찰을 비교하여 보면 어느 쪽도 행동패턴에는 차이가 없었다. 그리고 22시경에 관찰한 F1의 경우는 PT2가 60.1%이었고, 04시경에 관찰한 F6의 경우는 PT2가 62.0% 관찰되어 실험개시시각인 F1과 실험종료시각인 F6의 PT2의 출현비율에는 차이가 없었다. PT5에 대해서는 F1의 경우는 20.8%가 관찰된 것에

비하여 F6 에는 관찰되지 않아 양자의 큰 차이가 있었다. PT3-N 의 경우는 F6 의 경우가 13.3% 관찰되었지만 F1, F2 및 F3 은 관찰되지 않고, F4 과 F5 는 PT3-W 가 각각 1.2% 및 6.8% 관찰되었다. 이러한 것으로부터 시간대와 창오징어의 운동에는 특징의 차이가 보이지 않았다.

기록한 비디오를 재생하면서 육안으로 관찰한 창오징어의 운동은 누두끼우기의 경우 PT2 에 대표되는 주기적인 운동이 있고 그때의 진폭은 큰 경우 15 cm 이었고, 주기는 8.2 초 (0.122 Hz) 이었다. 그리고 운동 방향은 연직방향보다 어느 정도 기울어진 상태였다. 이것은 이 실험에서의 분석결과와 거의 일치한다. 그러나 지느러미의 움직임과 제트 분사에 의한 상승속도는 그 이후의 하강속도보다 빠르기 때문에 단순한 주기운동으로 나타낼 수 없는 점도 있어 운동 주기와 진폭으로는 명확하지 않은 운동이 있다고 할 수 있어 이후 검토과제이다.

이 실험에서 관찰된 창오징어의 운동은 기타를 포함하여 6 패턴으로 분류되었지만 아릿줄과 낚시가 창오징어의 몸에 닿지 않고 창오징어의 움직임에 영향을 미치지 않는 운동인 PT2 의 출현 빈도가 높게 나타났다고 생각된다. 이것은 PT2 의 출현이 외투끼우기의 경우는 누두끼우기에 비하여 운동의 진폭이 작았던 이유도 된다. 즉, 외투끼우기는 아릿줄이 외투막보다 위쪽에 존재하기 때문에 아릿줄이 창오징어의 몸에 닿지 않고 상승할 수 있는 범위가 좁지만, 누두끼우기는 연직 방향에 각도를 조금 가지고 상승하면 창오징어의 몸에 아릿줄이 닿지 않은 상태로 운동 가능한 범위가 넓게 확보하는 것이 가능하다.

이것으로부터 누두끼우기의 경우는 외투끼우기에 비하여 어획대상어인 참돔의 시각 자극을 강하게 전달할 수 있어 어획에 유리할 것이라고 생각된다. 제주도의 어민들은 참돔이 창오징어의 외투막부터 섭식하는 경향이 있어 외투끼우기의 경우보다 누두끼우기의 경우가 낚시바늘을

인식하기 어려워 어획에 유리하다고 생각하고 있다. 이것으로부터 시점은 다르지만 보다 좋은 낚시를 끼우는 방법은 결과적으로 일치하고 있다고 말할 수 있다.

미끼로써 아릿줄에 매달려 있는 창오징어는 유영 범위가 제한되는 단순한 유영 운동을 하고 있었다. 이전의 예비실험으로써 실험 수조 내에 다수의 창오징어를 넣어서 관찰한 결과에서는 아릿줄에 매달리지 않은 창오징어는 수조 내를 넓게 유영하였다. 그리고 유영 패턴은 아릿줄에 매단 경우의 창오징어는 낚시를 빼려고 아릿줄을 강하게 당기는 행동이 관찰되었는데 아릿줄에 매달지 않은 경우에는 이러한 행동이 관찰되지 않았다. 이와 같이 아릿줄을 매단 경우와 매달지 않은 경우에는 아릿줄의 길이로 유영 범위가 결정되지만 그 이외의 행동에는 차이가 확인되지 않았다. 이것은 어민들이 낚시를 끼우는 위치에도 관계가 있다. 어민들은 경험에 의하여 창오징어의 행동에 가장 영향을 적게 주는 부분에 낚시를 끼운다. 이것으로부터 아릿줄에 매달린 창오징어는 아릿줄에 매달리지 않은 자유의 창오징어의 운동과는 큰 차이가 없는 운동을 하고 있다고 생각된다.

이 연구에서 얻어진 창오징어의 대표적인 운동은 지배적 주파수 0.125 Hz 에 진폭 10.8 cm 로 5.4 cm/s 의 운동에 상당한다. Tamura¹¹⁾는 농어의 실험에서 5 cm/s 보다 늦은 운동은 물체가 정지하고 있는 것으로 보여진다고 하고 있다. 농어의 실험에서는 창오징어의 대표적인 운동 또는 그 이상의 주파수로 섭식 행동이 유발되었다고 말할 수 있다. 그리고 같은 아목으로 분류되는 참돔에 대해서는 적용 가능하다고 생각된다. 반면 이 연구에서는 창오징어의 대표적인 운동이 어획 대상인 참돔의 섭식 행동을 유발하는 것으로 가정하고 있지만 이것이 사실일지

또는 이 운동이 참돔이 보는 최적인 시각자극인지는 참돔을 사용한 별도의 실험에서 검토할 필요가 있다.

이것과 같은 것으로부터 얻어진 결과를 참고하여 이후에는 0.125 Hz 이상의 다른 주기로 운동하는 물체에 대한 참돔의 행동을 추가 실험으로 밝혀내어 참돔의 섭식 행동의 유발에 최적인 물체의 운동 주기를 명확히 한다. 또한, 창오징어의 대표적인 운동과의 관계에 대해서도 검토가 필요하다.

Table 1-3 Appearance frequencies of the movement patterns of squids respectively

Squid No.	Behavioral frequencies (time (s) and percentage of total time (%))										Total
	PT1-N	PT1-W	PT2-N	PT2-W	PT3-N	PT3-W	PT4-N	PT4-W	PT5	ETC	
M1	-	-	1114(92.8)	46(3.8)	-	-	24(2.0)	-	-	16(1.4)	1200(100)
M2	-	52(4.3)	721(60.1)	360(30.0)	-	-	10(0.8)	2(0.2)	-	55(4.6)	1200(100)
M3	-	-	1200(100)	-	-	-	-	-	-	-	1200(100)
M4	33(2.8)	31(2.6)	895(74.5)	-	19(1.6)	69(5.8)	-	3(0.2)	134(11.1)	16(1.4)	1200(100)
M5	-	21(1.8)	643(53.6)	298(24.8)	-	-	-	18(1.5)	-	220(18.3)	1200(100)
M6	94(7.8)	46(3.9)	1060(88.3)	-	-	-	-	-	-	-	1200(100)
M7	62(5.2)	50(4.2)	1065(88.7)	-	-	-	-	-	-	23(1.9)	1200(100)
Total	189(2.3)	200(2.4)	6698(79.8)	704(8.5)	19(0.2)	69(0.8)	34(0.4)	23(0.3)	134(1.5)	330(3.8)	8400(100)
F1	14(1.2)	7(0.6)	21(1.8)	700(58.3)	-	-	-	-	250(20.8)	208(17.3)	1200(100)
F2	83(6.9)	21(1.8)	408(34.0)	366(30.5)	-	-	-	-	234(19.5)	88(7.3)	1200(100)
F3	-	22(1.8)	415(34.6)	319(26.6)	-	-	-	-	316(26.3)	128(10.7)	1200(100)
F4	35(2.9)	23(1.9)	267(22.3)	745(62.1)	-	14(1.2)	-	-	55(4.6)	61(5.0)	1200(100)
F5	-	8(0.7)	908(75.7)	245(20.4)	-	10(0.8)	-	-	-	29(2.4)	1200(100)
F6	83(6.9)	-	470(39.2)	274(22.8)	159(13.3)	-	-	-	-	214(17.8)	1200(100)
Total	215(3.0)	81(1.1)	2489(34.6)	2649(36.8)	159(2.2)	24(0.3)	-	-	855(11.9)	536(7.4)	7200(100)

M and F show hooking position of the squid at the mantle and funnel, respectively

제 2 장 미끼에 대한 참돔의 시각 자극과 섭식 행동

이 장에서는 제 1 장에서 밝혀낸 창오징어의 운동의 적합성을 검토하는 것을 목적으로 한다. 제 1 장에서는 제주도의 참돔 연승어업의 문제점을 해결하기 위하여 창오징어의 대표적인 운동을 밝혀냈다. 그러나 이 창오징어의 대표적인 운동을 알게 되었어도 실제로 참돔의 섭식행동을 유발시키는 시각자극이 될지는 명확하지 않다. 그래서 이 장에서는 참돔에게 창오징어의 대표적인 운동을 보여주었을 때와 보여주지 않았을 때의 반응으로부터 그 운동의 적합성을 검토한다. 이것으로부터 창오징어의 대표적인 운동이 참돔의 어획에 효과적인지 또는 다른 움직임이 효과적인지가 명확하게 될 것이 기대된다.

참돔의 섭식 행동의 유발 효과의 평가는 Fernö 등³⁹⁾의 방법을 인용하여 실시하였다. Fernö 등은 수조에서 연승어구에 대한 대구의 행동을 관찰하여 행동의 요소를 10 개로 분류하여 각각에 평가 점을 부여하는 것으로 섭식 행동의 유발효과를 검토하였다. 이 연구로부터의 평가 범에 의한 대구는 미끼를 입에 넣고 빠르게 수영하는 행동과 미끼를 입에 넣고 머리를 흔드는 행동으로 어획이 된다고 보고하고 있다. 이 장에서도 참돔의 섭식 행동의 유발효과를 검토하는 것을 목적으로 하여 Fernö 등의 연구와 같은 목적이다. 그래서 이 연구에서는 Fernö 등의 평가 범을 인용하여 참돔의 섭식 행동이 유발되는 미끼의 종류와 운동 주기를 명확히 한다.

창오징어의 대표적인 운동으로 참돔의 섭식행동의 유발효과를 명확히 하기 위하여 여기에서는 실험수조에서의 미끼에 대한 참돔의 행동을 관찰하는데, 실험의 흐름은, 1. 형태가 다른 미끼를 창오징어를 쓸 수 없는 수온기에 참돔의 섭식 행동의 유발효과를 검토, 2. 형태가 다른

미끼를 창오징어를 쓸 수 있는 수온기에 참돔의 섭식 행동의 유발효과를 검토, 3. 미끼에 운동 주기를 변화시키면서 창오징어가 쓸 수 있는 수온기에 참돔의 섭식 행동의 유발효과를 검토, 4. 참돔의 수영운동의 특징을 분류, 5. 섭식행동의 유발효과를 평가한다.

2.1 재료 및 방법

2.1.1 실험방법

미끼의 형태변화에 대한 반응 실험은 2011년 7월 25일부터 7월 29일 (이하, 고수온기) 까지와 2011년 10월 11일부터 10월 14일 (이하, 적수온기) 까지 가고시마대학 수산학부 해양자원환경 육성센터 아즈마쵸 스테이션의 옥외수조시설에서 실시했다. 태양 직사광을 가리기 위하여 수조의 내벽이 백색인 FRP 수조 (L 400 × B 145 × H 100 cm, 수심 90 cm) 를 이용하였다. 실험기간에 있어서의 수조 내의 수온은 고수온기가 29.0℃~30.9℃이었고, 적수온기가 23.5℃~24.9℃이었다. 수조 내에는 폴리염화비닐파이프 (이하, 파이프) 의 프레임에 망지를 고정하여 이동식 칸막이를 설치하여 참돔의 행동을 기록하는 구역 (이하, 기록구역) 과 순치 및 기록 시간 이외의 대기를 시키는 구역 (이하, 대기구역) 으로 나누었다.

기록 및 순치구역의 길이는 각각 300 cm 와 100 cm 이며, 높이는 수조의 높이와 같은 100 cm 로 하였다. 기록구역의 중앙상부에는 나일론 낚싯줄을 통과시킨 파이프를 고정하여, 수조 쪽 끝 단에는 미끼를 반대쪽 끝 단에는 모터 (SS40E20-L1-50, SAWAMURA : Fig. 2-1(a)) 에 끼워진 낚싯줄의 릴에 연결하여 미끼를 모터의 제어에 의하여 임의의 주기와 진폭으로 상하의 왕복운동 (이하, 상하운동) 이 되도록 하였다. 그리고 모터는 모터드라이버 (MS-100, SAWAMURA : Fig. 2-1(b)) 와

D/A 변환기 (CSI-340212, INTERFACE) 를 연결한 PC (Fig. 2-1(d)) 에 의한 프로그램 제어가 된다.

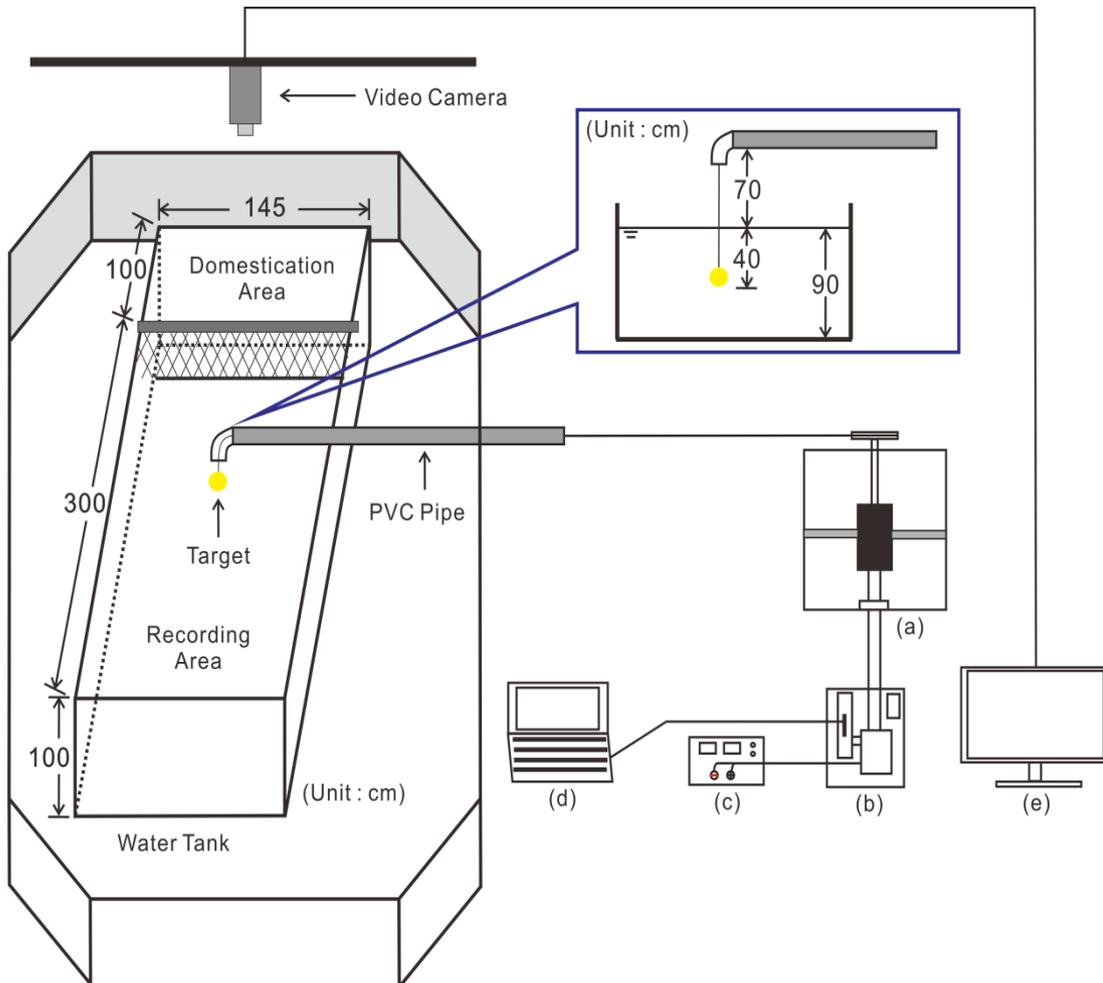


Fig. 2-1. Schematic drawing of the experimental equipment used for the water tank tests. The experimental section was divided into recording area and domestication area. The bait was controlled by a motor control system (a, b, c and d). The movements of red sea bream in the water tank were recorded by a video camera which was set on the top of the water tank. (a): motor, (b): motor driver, (c): power supply, (d): personal computer with D/A interface, (e): monitor.

모터구동에 의하여 발생하는 미끼의 연직방향의 운동 진폭은 창오징어의 대표적인 운동 진폭은 10 cm 로 했다. 행동 관측은 일반적으로 참돔이 섭식 행동을 한다고 하는 ^{18,19)} 일출부터 정오 사이에 하였다. 기록은 수조의 상부에 고정한 비디오카메라 (DCR-PC120, SONY) 로 하였고, 기록 중에는 실험어의 행동에 영향을 주지 않도록 수조로부터 충분히 떨어진 장소에 모니터 (Fig. 2-1(e)) 로 참돔의 행동을 관찰했다. 그리고 수조 내의 해수는 기록할 때에는 참돔의 행동에 영향을 주지 않도록 멈췄고, 순치 때에는 수조 내의 해수를 순환시켰다.

미끼의 운동 주기에 대한 반응 실험은 2013 년 10 월 21 일부터 10 월 26 일까지 제주도 해양수산자원연구원의 실내수조에서 실시했다. 내벽이 청색의 FRP 수조 (L 300 × B 150 × H 90 cm, 수심 80 cm) 를 2 개 사용하였다. 실험기간에 있어서의 수조 내의 수온은 21.5°C~22.8°C이었다. 수조는 참돔의 행동을 기록하는 수조 (이하, 기록수조) 와 순치를 시키는 수조 (이하, 순치수조) 의 같은 규모의 수조를 2 개 사용했다.

기록수조의 중앙상부에 나일론 낚싯줄을 통과시킨 파이프를 고정하여 수조 쪽의 끝 단에는 미끼를 반대쪽 끝 단에는 모터 (KANZ-02BF1N2, KOMOTEK : Fig. 2-2(a)) 에 끼워진 낚싯줄의 릴에 연결하여 미끼를 모터에 의한 임의의 상하운동이 되도록 하였다. 모터는 AC-Servo 드라이버 (TANGO-B02, NSSYSTEM : Fig. 2-2(b)) 와 위치 제어기 (LNC-1, NSSYSTEM : Fig. 2-2(c)) 에 의한 프로그램 제어가 된다. 모터의 구동에 의하여 발생하는 미끼의 연직운동의 운동 진폭은 물표의 형태변화에 대한 반응실험과 같이 창오징어의 대표적 운동 진폭인 10 cm 로 하였다. 행동관찰은 미끼의 형태변화에 대한 실험과 같은 시간대인 일출부터 정오의 사이에 하였다.

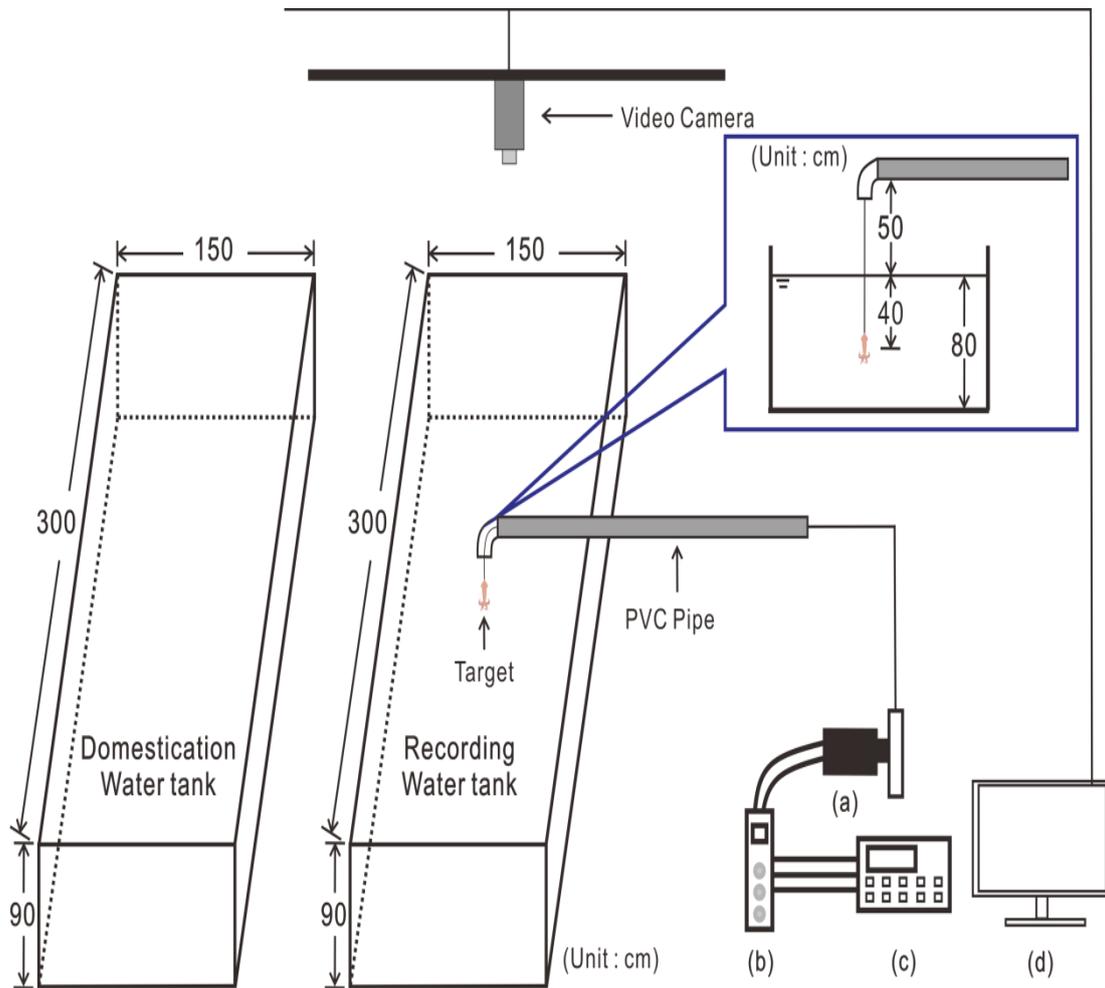


Fig. 2-2. Schematic drawing of the experimental equipment's used for the water tank tests. The bait was controlled by a motor control system (a, b and c). The movements of red sea bream in the water tank were recorded by a video camera which was set on the top of the water tank. (a): motor, (b): motor driver, (c): position control system, (d): monitor.

기록은 수조 상부에 고정된 비디오카메라 (HDR-PJ580, SONY) 로 하였고, 기록 중에는 실험어의 행동에 영향을 주지 않도록 수조로부터

충분히 떨어진 장소에서 모니터 (Fig. 2-2(d)) 로 참돔의 행동을 관찰했다. 그리고 실험수조 내의 해수는 기록 때에는 참돔의 행동에 영향을 주지 않도록 멈췄고, 순치 때에는 수조 내의 해수를 순환시켰다.

2.1.2 실험어

미끼의 형태변화에 대한 반응 실험에서는 가고시마현 이즈미군 나사시마초의 수산양식센터로부터 양식 참돔을 실험 전일의 16 시경에 입수해 실험수조의 기록구역에 약 14 시간 수용하는 것으로 실험환경에 순치시켰다. 1 일당 3 개체, 2 일간에 6 개체씩 7월과 9월에 총 12 개체 (Table 2-1) 의 행동을 기록했다.

미끼의 운동주기에 대한 반응 실험에서는 통영시에 있는 양식시설에서 실험 전일의 15 시경에 입수해 실험수조의 옆에 설치한 같은 크기의 순치수조에 약 15 시간 수용하여 실험 환경에 순치 시켰다. 1 일째에 3 개체를 다음날에 3 개체, 그 다음날에 4 개체, 3 일간에 총 10 개체 (Table 2-2) 의 행동을 기록했다.

미끼의 형태변화에 대한 반응 실험과 미끼의 운동주기에 대한 반응 실험에서 사용한 참돔은 제주도에서 어획대상이 되는 참돔과 비슷한 크기이다.

Table 2-1 Physical characteristic of the red sea breams which were used with the water tank experiments

Number of Red sea breams		Length (cm)	Weight (g)
July Experiment	1	40.1	810
	2	40.5	1230
	3	40.7	1240
	4	38.9	1080
	5	38.2	1020
	6	44.7	1120
Average		40.5	1083
October Experiment	1	42.5	1200
	2	41.8	1170
	3	43.3	1310
	4	43.5	1160
	5	43.6	1210
	6	43.2	1120
Average		43.0	1195

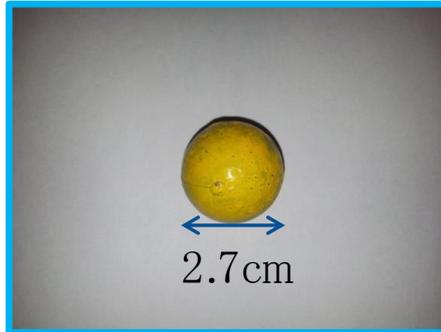
Table 2-2 Physical characteristics of the red sea breams which were used with the water tank experiments

Number of Red sea breams		Length (cm)	Weight (g)
Frequency	1	45.3	1520
Experiment	2	45.0	1520
	3	41.3	1320
	4	42.5	1350
	5	40.4	1280
	6	41.5	1300
	7	42.3	1310
	8	41.9	1300
	9	43.9	1430
	10	42.2	1340
	Average		42.6

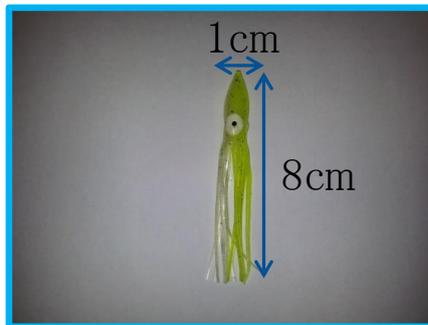
2.1.3 실험의 흐름

미끼의 형태변화에 대한 반응 섭식행동의 유발효과가 높다고 하는 노란색³⁸⁾으로 착색시킨 직경 2.7 cm의 납추 (이하, 납추) , 길이 8 cm, 폭 1 cm 및 직경 1 cm의 시판되고 있는 오징어 모양의 가짜미끼 (이하, 루어) 및 창오징어의 외투막을 루어의 크기에 맞춰 길이 8 cm, 폭 1 cm 및 두께 0.5 cm 로 자른 것 (이하, 오징어 미끼) 의 총 3 종의 미끼를 준비하였다 (Fig. 2-3) . 루어와 오징어 미끼는 수중중량이 작고, 수중에서 상하운동을 할 때에 모터의 구동에 의한 상하운동을 따라가지 못했기 때문에 5g 의 붕돌을 미끼와 낚싯줄의 연결점에 부착했다. 그리고 여기에서 설정한 미끼의 운동주기는 제 1 장에서 구해진 창오징어의 대표적인 운동 (8 초 주기, 10cm 진폭) 으로 하였다.

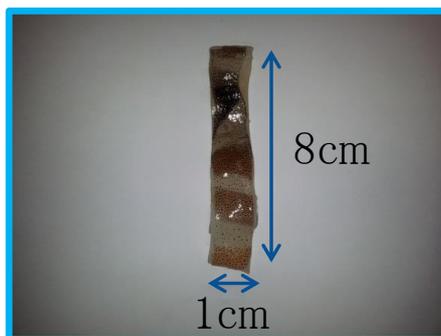
실험의 순서를 Fig. 2-4 에 나타냈다. 실험 수조에 수용한 참돔 중에 기록대상이 되는 참돔 1 개체 만을 기록구역에 이동시키고, 다른 개체는 순치구역에 이동시킨다. 기록구역에 이동한 다음에는 30 분의 순치시간을 설정한 다음 미끼 운동에 대한 행동 기록을 개시하였다. 기록은 미끼를 수중에 넣기 전인 아무것도 없는 상태 (ET) , 정지상태 (ST) 및 상하운동 (MT) 의 순으로 5 분씩 하였다. 세가지 상태의 기록이 종료되면 미끼를 교환하고, 3 종류의 미끼 모두의 기록이 끝나면 실험어를 교체하여 같은 방법으로 기록을 하였다. 미끼는 납추, 루어의 순으로 하였고, 냄새에 의한 유발효과가 기대되는 오징어 미끼는 마지막 순서로 하였다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 2-3. Photograph of targets used in the experiments.

(a): Weight, (b): Lure, (c): Squid

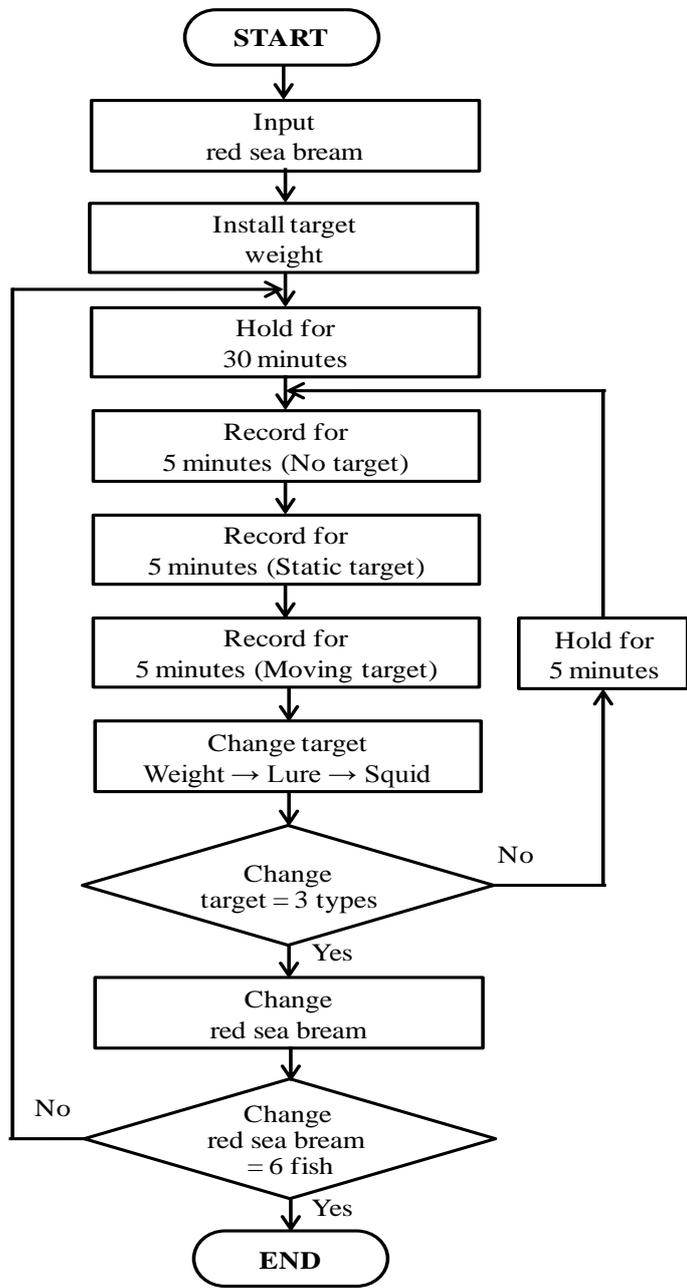


Fig. 2-4. Flowchart showing the processes of the preparation water tank experiment.

미끼의 운동주기에 대한 반응 수조중앙부에서 드리운 미끼는 예비실험에서 참돔의 반응이 나쁘게 나타난 납추를 대신하여 루어를 사용하였다. 설정주기는 제 1 장에서 밝혀내 창오징어의 대표적인 운동주기인 8 초를 기준으로 하여 전후의 7 단계인 2, 4, 6, 8, 10, 12 및 16 초로 하였다. 여기에서 최저주기를 16 초 주기로 설정한 것은 제 1 장에서 16 초 주기까지 지배적 주파수가 존재할 가능성이 있었던 것이 있어서이다. 최고주파수를 2 초로 한 것은 제어시스템에서 설정 가능한 한계의 주기이기 때문이다. 그리고 설정 진폭은 창오징어의 대표적인 운동 진폭은 10cm 로 하였다.

실험의 순서를 Fig. 2-5 에 나타냈다. 순치수조에 수용한 참돔 중에 기록대상인 참돔 1 개체를 기록수조로 이동시켜 30 분의 순치시간을 설정하여 미끼운동에 대한 행동기록을 개시한다. 전술한 2~16 초의 설정주기에서 무작위로 운동주기를 선정하여 기록은 미끼를 수중에 넣기 전인 아무것도 없는 상태 (ET) , 정지상태 (ST) 및 상하운동 (MT) 의 순으로 5 분씩 하였다. 기록 종료 후에는 실험어를 교환하여 30 분의 순치시간을 설정한 다음 같은 방법으로 기록을 계속했다. 그리고 10 개체에 대하여 7 설정주기의 기록을 하였다.

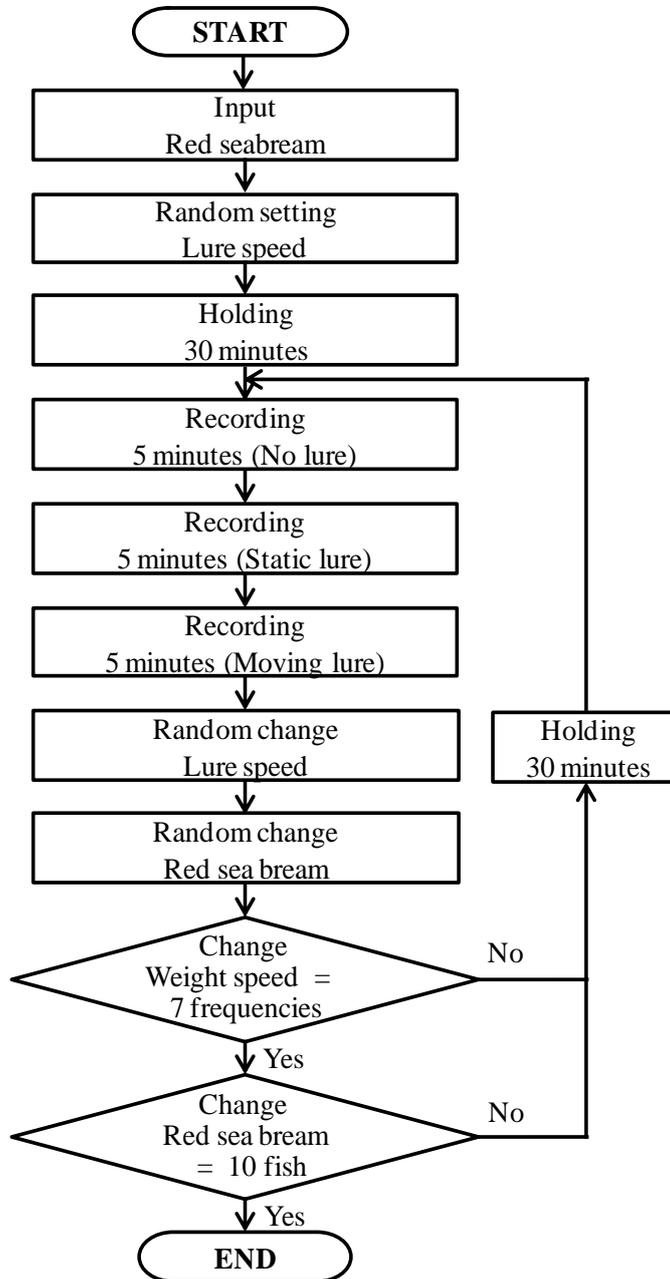


Fig. 2-5. Flowchart showing the processes of the water tank experiment.

2.1.4 섭식 행동의 평가방법

Fernö 등³⁹⁾은 대구가 낚싯바늘에 걸려 잡힐 때까지의 행동을 10 요소로 분류하여 각각의 점수를 부여 (Table 2-3), 대구의 일련의 섭식 행동에 대하여 평가 점 (이하, TS) 을 점수의 합계로 구하는 것에 의하여 미끼가 붙어있는 낚시에의 반응 강도를 평가하고 있다. Lee 등⁴⁰⁾은 어획 과정 중 명태의 행동, Akayama 등⁴¹⁾은 방어, 잣방어 등의 4 종류의 행동을 이 방법에 따라 평가하고 있다.

이 연구에 있어서의 참돔의 섭식 행동의 수치화는 Fernö 등에 따라서 10 요소 중에 Approach (이하, APP), Taste (이하, TST) 및 Incomplete bite (이하, ICB) 의 3 요소를 참돔의 섭식 행동의 분류에 사용하여 각각의 평가 점을 Table 2-3 에 나타낸 것과 같이 배점하였다. 그리고 미끼로부터 수조벽면까지의 최단거리가 참돔의 체장 (1BL) 의 약 1.8 배이였어서 미끼로부터 1 BL 을 반경으로 하는 원 (이하, 1BL 원) 의 내측에 참돔이 진입한 경우를 APP 로 했다. 더욱이 1BL 원 안에서의 유영에 있어서도 그 최단거리가 0.5 BL 이상 1BL 이하의 경우를 APP₁, 0.5 BL 이하의 경우를 APP₂ 로해서 APP₁보다 높은 1.5 점으로 하였다. 여기에서 APP₂ 에는 입 이외의 몸 또는 꼬리지느러미로 미끼를 접촉한 경우와 미끼의 아래를 통과한 경우도 포함하지만, 입으로 접촉한 경우 만을 TST 로 하였고, 입으로 무는 경우를 ICB 로 분류했다. 낚추를 사용한 경우에는 입안에 넣는 것이 불가능하기 때문에 ICB 를 나타낼 수가 없기 때문에 참돔이 입으로 낚추를 접촉한 경우에는 TST 와 ICB 의 평가 점의 중간점수인 2.5 점으로 하였다.

APP₁ 의 평가에 필요한 참돔의 운동궤적은 입의 수평면 반사좌표(x_{h_t}, y_{h_t})를 1 초 간격으로 읽어서 구했다. 그리고 APP₂, TST 및 ICB 에 대해서는 그 사이의 0.5 초 간격의 보조좌표도 읽었다. 여기에서

PC 로 읽은 입과 미끼의 수평면 반사좌표를 각각 $P_t(x_{pt}, y_{pt})$ 와 $O(x_o, y_o)$ 로하여 실제의 참돔의 입의 위치와 물표와의 수평거리 D_t 를 다음의 식으로 구했다.

$$\begin{pmatrix} x_{h_t} \\ y_{h_t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (x_{pt} - x_o)C_x \\ (y_{pt} - y_o)C_y \end{pmatrix} \quad (2-1)$$

$$D_t = \sqrt{x_{h_t}^2 - y_{h_t}^2} \quad (2-2)$$

단, C_x 와 C_y 는 각각 PC 화면에서의 수평방향 및 연직방향의 1 픽셀에 상당하는 수조 내의 거리이다.

평가 점의 평균치의 차의 검정은 먼저 모집단의 등분산성을 F 검정 ($p < 0.05$) 또는 Bartlett 의 검정 ($p < 0.05$) 으로 확인했다. 여기에서 등분산성이 확인된 경우에는 t 검정 ($p < 0.05$) 또는 분산분석 ($p < 0.05$) 을 실시하였다. 등분산성이 확인 되지 않은 경우에는 Welch 의 검정 ($p < 0.05$) 을 실시하였다.

2.1.5 수중조도와 미끼에 대한 학습

실험 시의 미끼 아래의 수중 조도는 수중조도계 (UA-002, Onset) 를 사용하여 계측했다. 실험개시부터 종료까지 미끼의 형태 변화에 대한 반응 실험에서의 수중조도는 535 lux 에서 3,272 lux 까지의 범위였다. 그리고 미끼의 운동주기에 대한 반응 실험에서의 실험개시부터 종료까지의 수중조도는 412 lux 에서 2,253 lux 까지의 범위였다.

미끼의 형태변화에 대한 반응 실험에서 수조에 미끼가 들어가 있지 않은 상태 (ET) 에서의 실험어가 30 초당 1 BL 원 안에 체재시간과 이 범위에 진입한 횟수 (이하, 접근횟수) 를 구했다. 모든 실험과 실험어에 있어서도 분산분석 ($p<0.05$) 에 의한 ET 상태에서의 평균체재시간과 평균접근횟수에는 유의한 차가 없는 것이 확인되었다.

미끼의 운동주기에 대한 반응 실험에서 수조에 미끼가 들어가 있지 않은 상태 (ET) 에서의 실험어가 30 초당 1 BL 원 안에 체재시간과 이 범위에 진입한 횟수 (이하, 접근횟수) 를 구했다. 모든 실험과 실험어에 있어서도 분산분석 ($p<0.05$) 에 의한 ET 상태에서의 평균체재시간과 평균접근횟수에는 유의한 차가 없는 것이 확인되었다.

이것으로부터 미끼의 위치의 학습과 조도변화에 의한 영향이 없는 것으로 판단했다.

2.2 결과

2.2.1 미끼에 대한 참돔의 행동 특성

수조 내에 미끼를 넣지 않은 경우에 참돔은 대부분 유영속도를 크게 변화시키지 않고 비교적 느린 속도로 수조 내를 넓게 유영했다. 이 때의 유영방향에도 큰 변화가 없었다. 이후 미끼를 투입하면 유영속도를 높여 경계를 나타냈다. 여기서부터 미끼를 확인하는 행동이 나타나 이 행동이 명확하게 물표가 없는 경우와 달라 섭식행동으로 분류되었다.

유영 행동과 섭식 행동의 흐름을 미끼의 형태 변화에 대한 반응 실험에서의 흐름을 Fig. 2-6 에 나타냈고, 미끼의 운동 주기에 대한 반응 실험의 흐름을 Fig. 2-7 에 나타냈다. 여기에서는 유영 운동의 개시 (Start) 부터 섭식 행동의 점수가 낮은 행동부터 높은 행동으로 나열하여 기록한 5 분간의 섭식 행동의 흐름을 화살표로 나타냈다. 그리고

화살표의 옆의 숫자는 행동을 나타낸 횟수이다. 그 결과, 각 개체에 따라 행동의 복잡도가 다르지만 미끼와 주기에 의하여 움직이는 경우와 움직이지 않는 경우에 행동의 차이가 확인되었다.

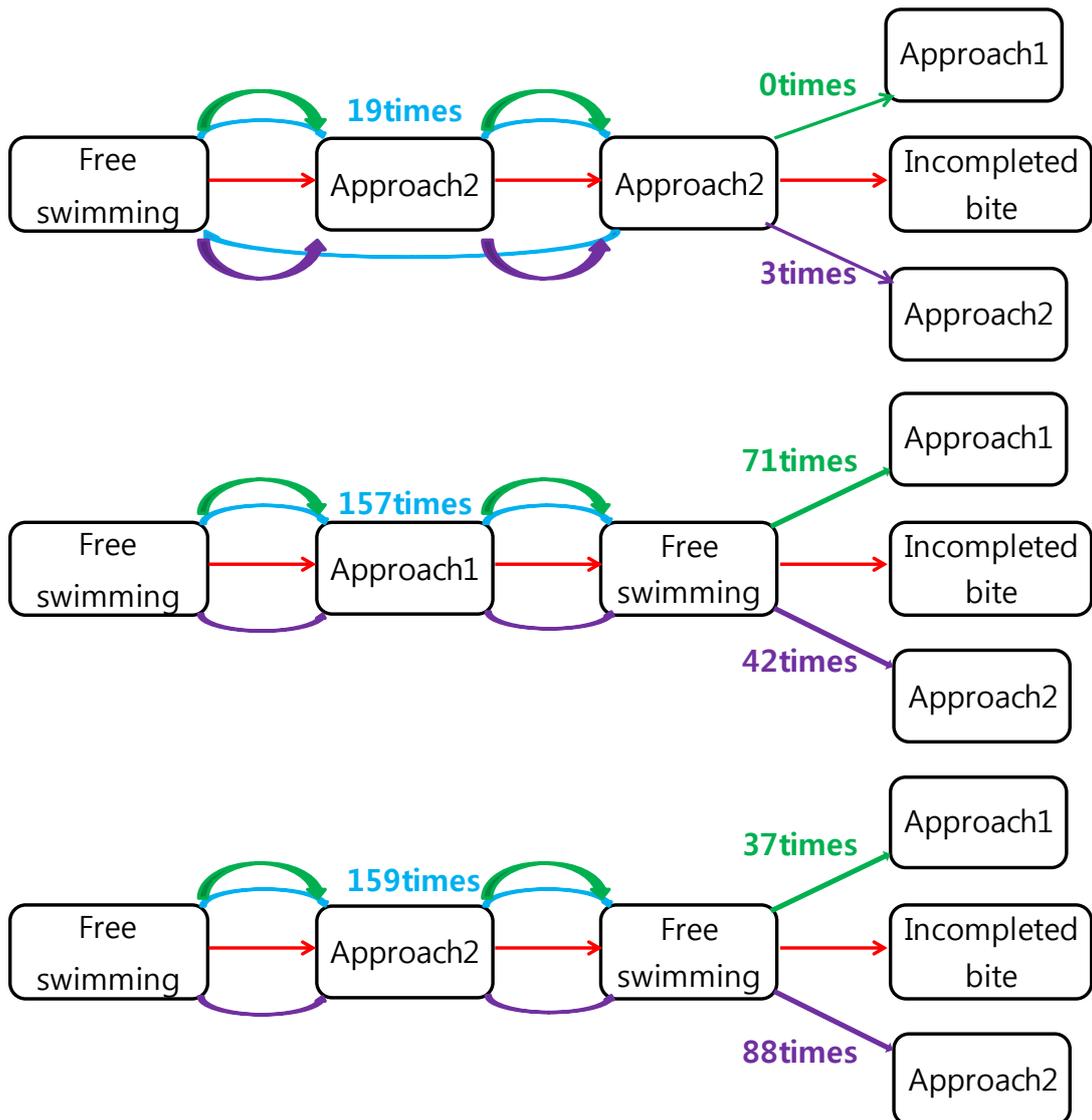


Fig. 2-6. Behavior sequence chart for red sea bream.

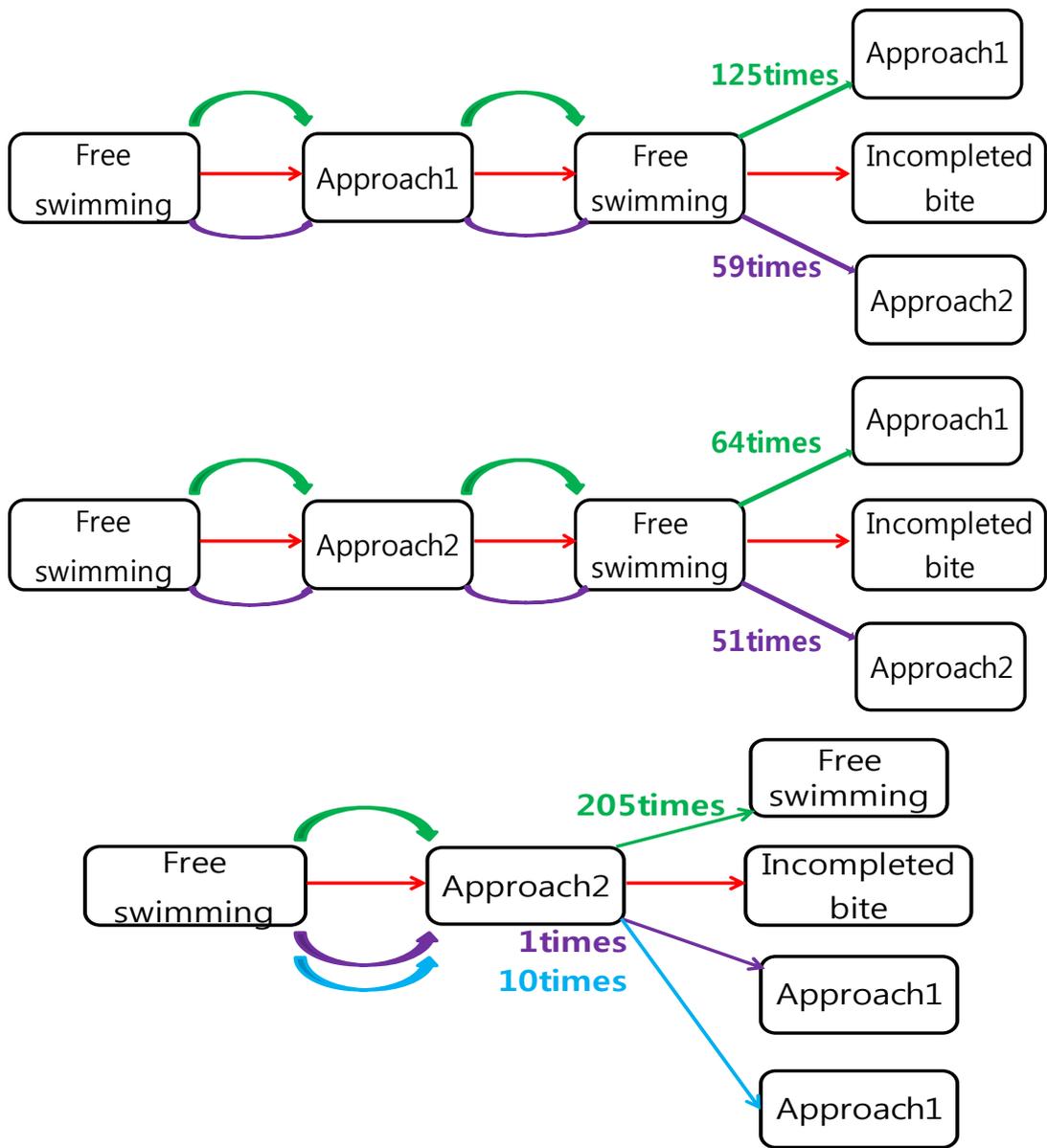


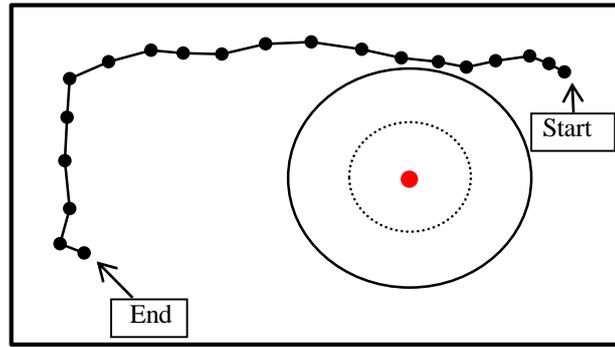
Fig. 2-7. Behavior sequence chart for red sea bream.

실험에서 얻어진 참돔의 20 초간의 운동궤적의 대표 예를 Fig. 2-8~10 에 나타냈다. 여기에서 운동궤적은 특징을 나타내는 부분을 흑색의 실선으로 나타내고, 그 전후의 보조적인 부분을 청색의 실선으로 나타냈다. 그리고 유영궤적의 개시좌표에는 Start 를 종료좌표에는 End 를 표시했다. 물표위치에서부터 1 BL 원을 실선의 원, 0.5 BL 원을 점선의 원, 물표를 적색의 원으로 나타냈다.

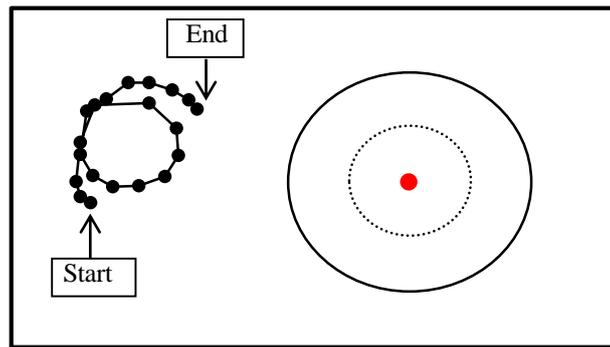
비디오 영상에서는 참돔이 미끼에 향하지 않고 유영하는 행동 (자유유영 : FSW) 도 기록되었다 (Fig. 2-8-a, b) . Fig. 2-9-a 는 APP₁ 의 예이고, 참돔이 미끼로부터 떨어진 위치에서 미끼에 향했지만 0.5 BL 원에 들어가지 않은 경우이다. Fig. 2-9-b 는 APP₂ 의 예이고, 유영을 계속하여 0.5 BL 원에 들어가 경우이다. Fig. 2-10-a 는 TST 로 분류된 예이고 참돔은 0.5 BL 원에 들어가 미끼에 입을 접촉했다. 물표의 일부를 문 다음 0.5 BL 원에 진입 경로와 다른 방향으로 유영한 Fig. 2-10-b 에 나타낸 것은 ICB 의 예이다.

참돔이 섭식행동을 한 다음에 1BL 을 떠나게 되면 FSW 이 된다. 그러나 Fig. 2-11 과 같이 참돔이 1BL 원을 떠난 다음에 1.5 BL 원을 떠나가기 전에 다시 1BL 원 안에 들어와 섭식행동을 일으킬 경우 FSW 이 아니고 연속된 섭식행동이라고 판단했다.

어느 실험에서도 미끼에 대하여 전혀 관심을 나타내지 않은 FSW 와 조금의 관심을 나타내며 접근한 APP 는 미끼의 존재와 움직임 (ST 과 MT) 또는 그 종류에 관계없이 어떠한 경우에도 관찰되었다. 이에 비하여 물표를 직접 물려고 시도한 TST 와 ICB 는 많이 관찰되지 않았다.



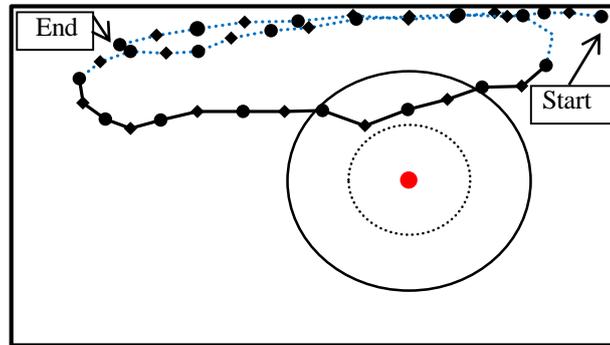
(a)



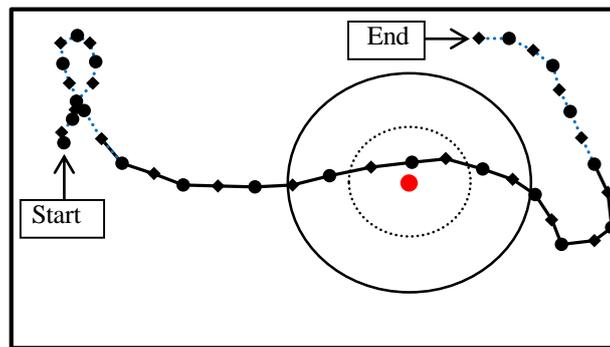
(b)

Fig. 2-8. Example of movement patterns of red seabream seen from above. In these figures, black filled circles show the position of the head of red seabream at 1 second intervals. The dotted line circle indicates the body length (0.5 BL) of the red seabream. And solid line circle indicates the body length (1 BL) of the red seabream. The red circle indicates the position of the target.

(a), (b): movement pattern of free swimming (FSW)



(a)

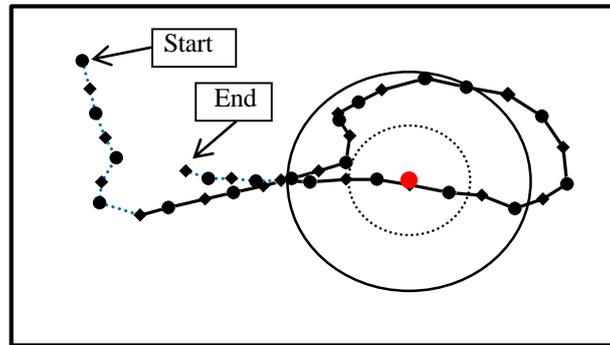


(b)

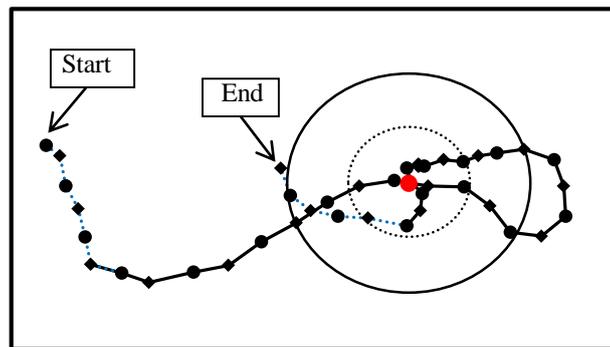
Fig. 2-9. Example of movement patterns of red seabream seen from above. In these figures, black filled circles show the position of the head of red seabream at 1 second intervals. Diamond symbols indicate the position of the head of the seabream at 0.5 second intervals. The dotted line circle indicates the body length (0.5 BL) of the red seabream. And solid line circle indicates the body length (1 BL) of the red seabream. The red circle indicates the position of the target.

(a): movement pattern of Approach1 (APP_1)

(b): movement pattern of Approach2 (APP_2)



(a)



(b)

Fig. 2-10. Example of movement patterns of red seabream seen from above. In these figures, black filled circles show the position of the head of red seabream at 1 second intervals. Diamond symbols indicate the position of the head of the seabream at 0.5 second intervals. The dotted line circle indicates the body length (0.5 BL) of the red seabream. And solid line circle indicates the body length (1 BL) of the red seabream. The red circle indicates the position of the target.

(a): movement pattern of taste (TST)

(b): movement pattern of incomplete bite (ICB)

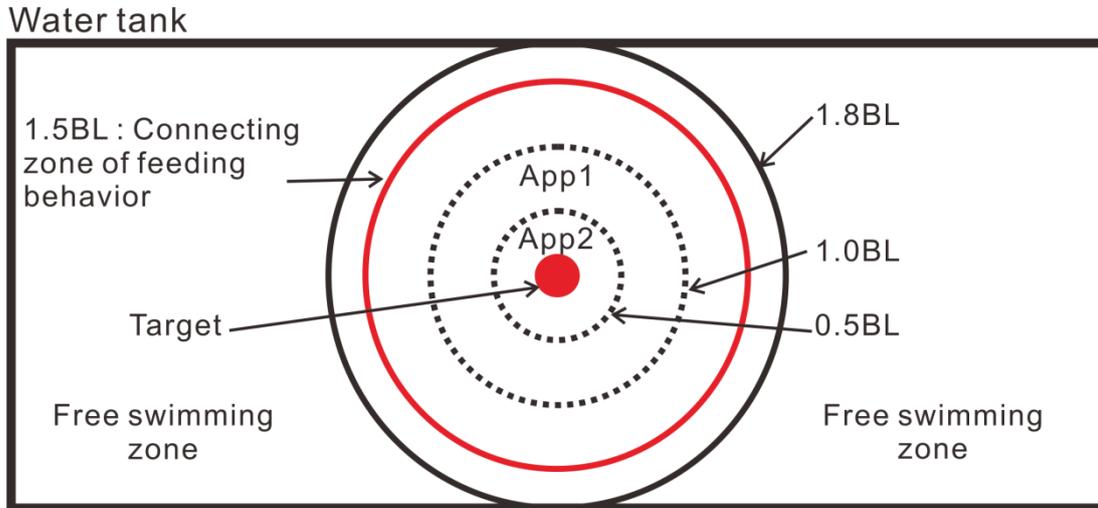


Fig. 2-11. Schematic drawing of the feeding behavior evaluation. The red circle indicates the position of the target.

2.2.2 미끼의 형태 변화에 의한 참돔의 섭식 행동

고수온기의 실험에서 6 개체의 실험어에 대하여 섭식행동으로써 평가되는 범위를 유연한 참돔의 접근 횟수와 점수를 Table 2-4 에 나타냈다.

고수온기의 실험에서 6 개체의 실험어에 대하여 미끼 별로 상하운동이 있는 MT1 과 없는 ST1 에 대한 평가점 및 양자의 차를 식 2-3 으로 구하여 Fig. 2-12 에 나타냈다. DP_{TS} 가 마이너스가 된 것으로부터 납추가 정지한 상태 (ST1) 쪽이 움직이는 상태 (MT1) 보다 섭식행동의 유발효과가 큰 경향이 있다고 판단했다.

$$DP_{TS} = MT1 - ST1 \quad (2 - 3)$$

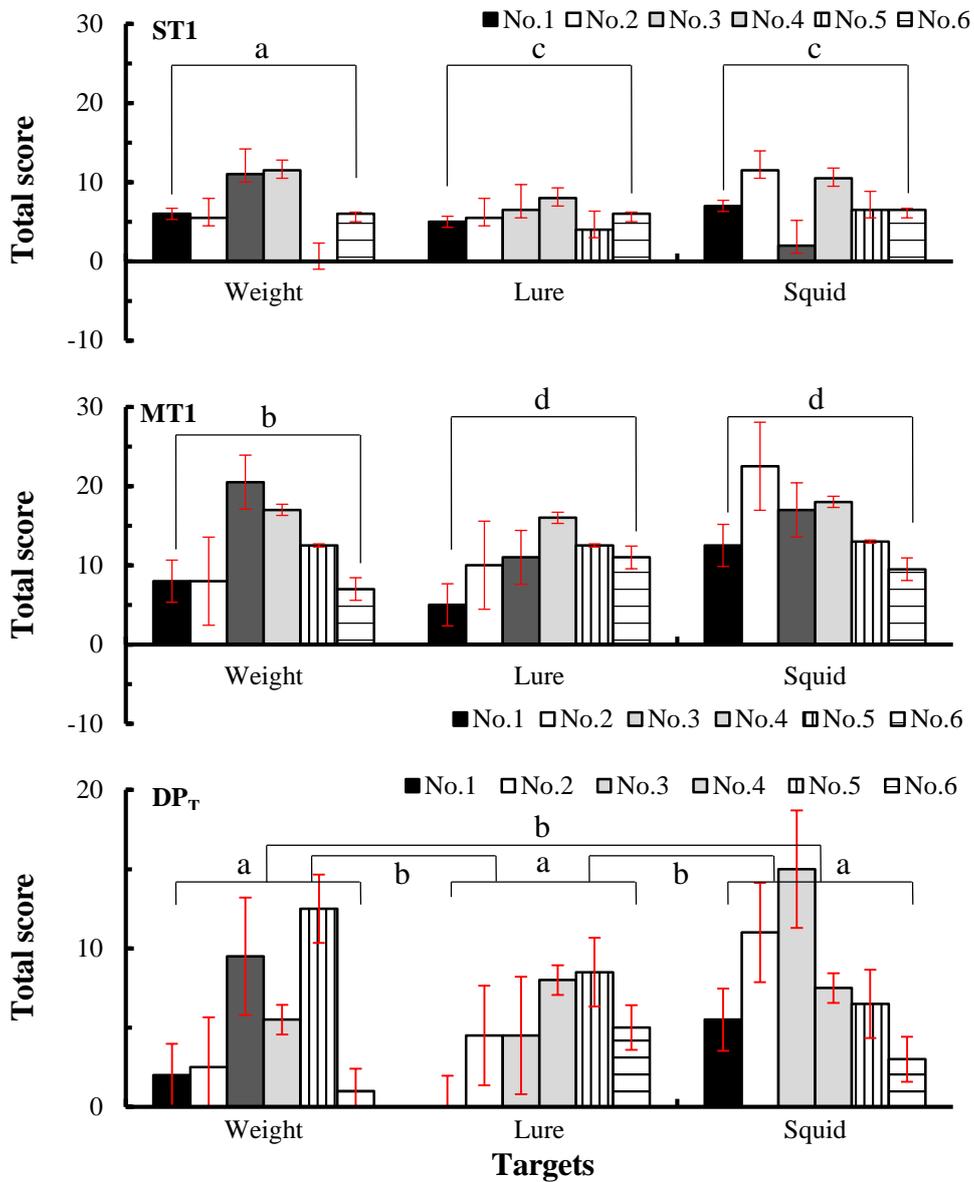


Fig. 2-12. Total score obtained of respective targets in summer experiment. MT is condition of moving target, ST is condition of static target and DP_{T1} is difference points of MT and ST. a to d indicates a significant difference (a and b: $p < 0.05$, F-test and Welch's-test, c and d: $p < 0.05$, F-test and t-test)

납추를 사용한 경우에는 Welch의 검정에 의하여 유의한 차가 확인되지 않았다 ($p > 0.05$). 루어와 오징어 미끼를 사용한 경우에는 Welch의 검정에 의하여 유의한 차가 확인되었다 ($p > 0.05$).

적수온기의 실험에서 6개체의 실험어에 대하여 섭식행동으로 평가되는 범위 내를 유영한 참돔의 접근횟수와 점수를 Table 2-5에 나타냈다.

적수온기에 있어서 6개체의 실험어에 대하여 미끼 별로 상하 운동이 있는 MT2와 없는 ST2에 대하여 평가점 및 양자의 차 ($DP_{TF} = (MT \text{ 평가점} - ST \text{ 평가점})$)을 식 2-4로 구해 Fig. 2-13에 나타냈다. DP_{TF} 는 3종류의 미끼에 1씩 마이너스가 되는 것이 있었으나 그 이외에는 모두 플러스가 된 것으로부터 납추가 정지한 상태 (ST2)보다 움직이는 상태 (MT2)가 섭식행동의 유인효과가 큰 경향이 있다고 판단했다.

$$DP_{TF} = MT2 - ST2 \quad (2 - 4)$$

납추를 사용한 경우, Welch의 검정에 의하여 유의한 차가 확인되지 않았다 ($p > 0.05$). 루어와 오징어 미끼를 사용한 경우 상하 운동이 있는 루어와 오징어 미끼에 유의하게 (t 검정: $p < 0.05$) 평가가 높은 것이 확인되었다.

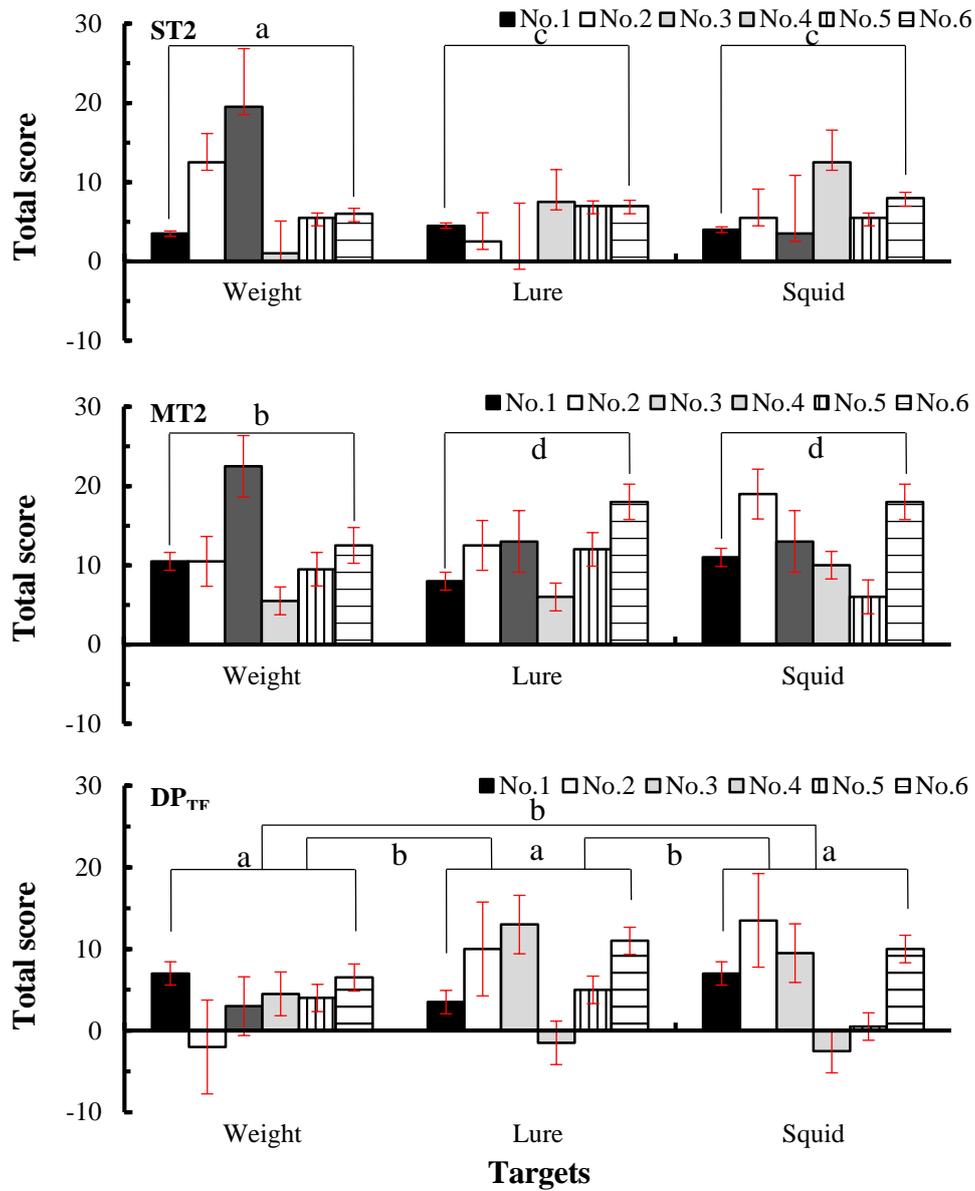


Fig. 2-13. Total score obtained of respective targets in autumn experiment. MT is condition of moving target, ST is condition of static target and DP_{T2} is difference points of MT and ST. a to d indicates a significant difference (a and b: $p < 0.05$, F-test and Welch's-test, c and d: $p < 0.05$, F-test and t-test)

수온에 의한 섭식 행동의 유발 효과에 미치는 영향은 미끼와 그 상태 별로 고수온기의 총득점과 적수온기의 총득점으로 검토를 하였다.

고수온기에 낚추가 정지한 상태 (ST1) 와 적수온기의 낚추가 정지한 상태 (ST2) 에는 유의한 차 (t 검정: $p < 0.05$) 가 확인되지 않았다. 고수온기의 낚추가 움직이는 상태 (MT1) 와 적수온기의 낚추가 움직이는 상태 (MT2) 에는 유의한 차 (t 검정: $p < 0.05$) 가 확인되지 않았다. 고수온기의 루어가 정지한 상태 (ST1) 와 적수온기의 루어가 정지한 상태 (ST2) 에는 유의한 차 (t 검정: $p < 0.05$) 가 확인되지 않았다. 고수온기의 루어가 움직이는 상태 (MT1) 와 적수온기의 루어가 움직이지 않는 상태 (MT2) 에는 유의한 차 (t 검정: $p < 0.05$) 가 확인되지 않았다. 고수온기의 오징어 미끼가 정지한 상태 (MT1) 와 적수온기의 오징어 미끼가 정지한 상태 (MT2) 에는 유의한 차 (t 검정: $p < 0.05$) 가 확인되지 않았다. 고수온기의 오징어 미끼가 움직이는 상태 (MT1) 와 적수온기의 오징어 미끼가 움직이지 않는 상태 (MT2) 에는 유의한 차 (t 검정: $p < 0.05$) 가 확인되지 않았다.

2.2.3 미끼의 운동주기에 대한 참돔의 섭식행동

실험에서의 10 개체의 실험어에 대하여 섭식행동으로 평가되는 범위 내에 유영한 참돔의 접근횟수와 점수를 Table 2-6~8 에 나타냈다.

루어의 상하운동 설정주기(2~16 초)별로 미끼에 움직임이 있는 MT3 및 움직임이 없는 ST3 의 각 평가 점 및 양자의 차를 식 2-5 로 구해 Fig. 2-14(No.1~5)와 Fig. 2-15(No.6~10)에 나타냈다.

$$DP_F = MT3 - ST3 \quad (2 - 5)$$

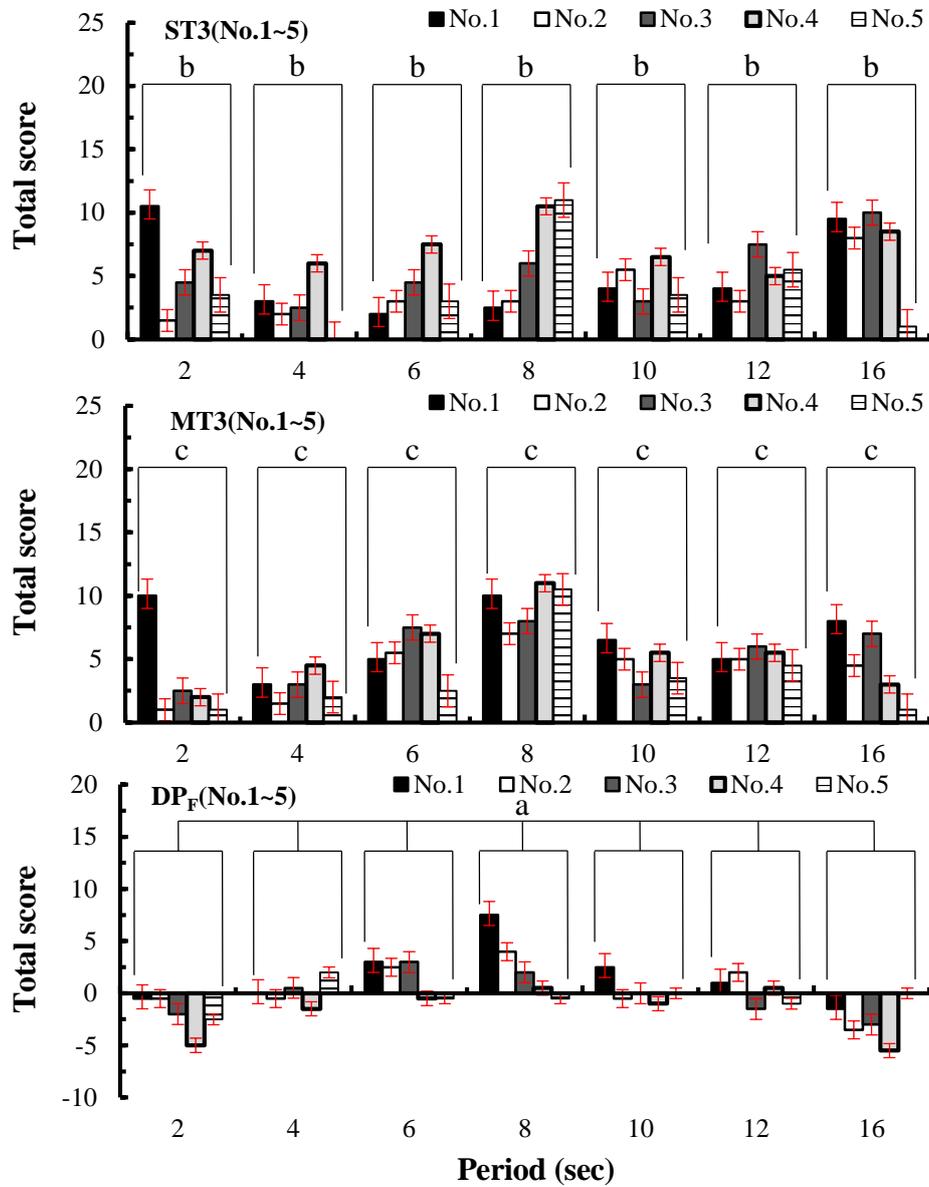


Fig. 2-14. Total scores obtained in the different lure cycles. MT is condition of moving target, ST is condition of static target and DP_{F2} is difference points of MT and ST. a to c indicates a significant difference (a: $p < 0.05$, Batlett's test and ANOVA, b and c: $p < 0.05$, F-test and t-test)

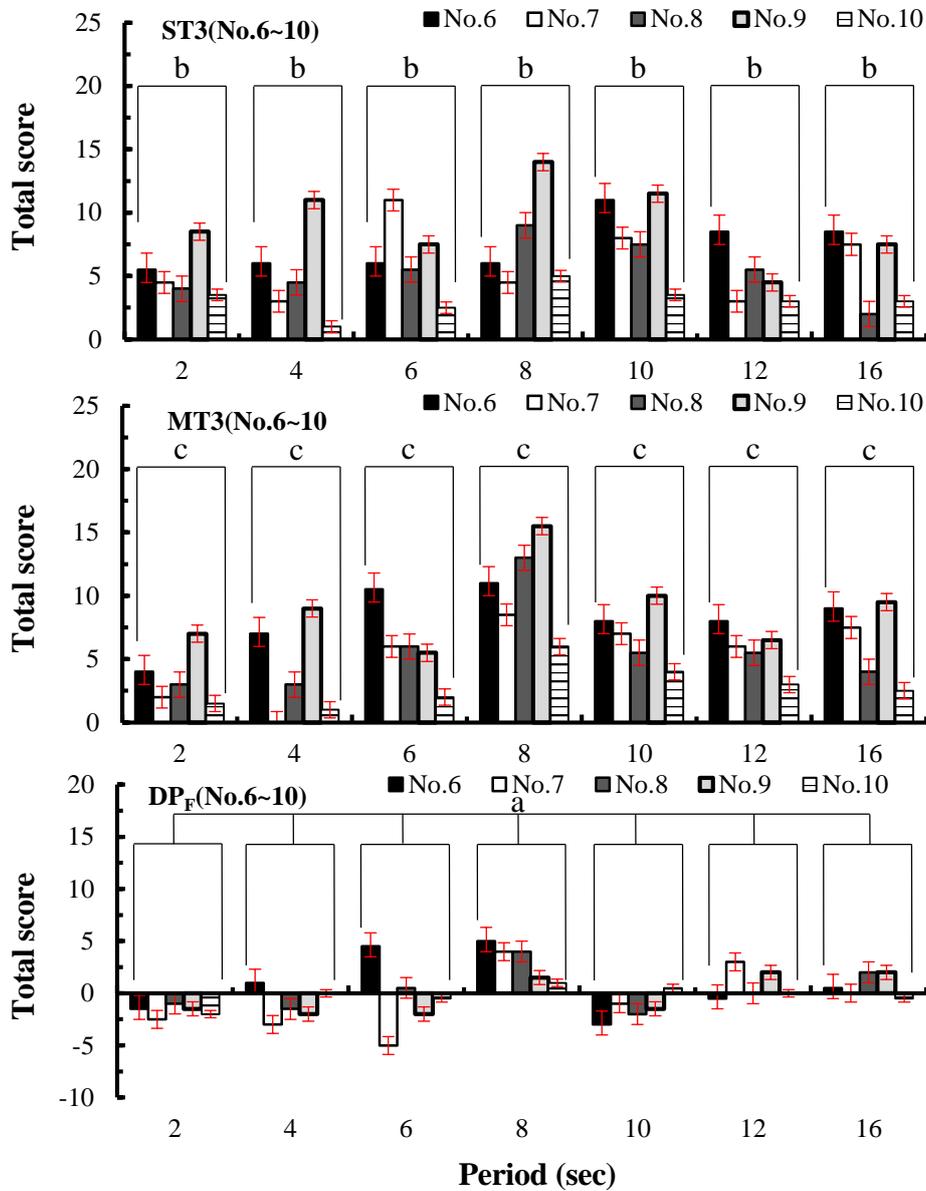


Fig. 2-15. Total scores obtained in the different lure cycles. MT is condition of moving target, ST is condition of static target and DP_{F2} is difference points of MT and ST. a to c indicates a significant difference (a: $p < 0.05$, Batlett's test and ANOVA, b and c: $p < 0.05$, F-test and t-test)

루어의 상하 운동은 모든 주기에서 10 개체간의 DP_F 에 상하운동의 주기별 평균 DP_F 사이에 유의한 차가 확인되었다 (분산분석 : $p < 0.05$) . 그리고 설정 주기 8 초 만이 MT3 의 평가 점이 ST3 의 평가 점을 유의하게 (t 검정 : $p < 0.05$) 상회하여 설정 주기들 중에서 루어가 상하운동을 하는 것이 정지상태보다 참돔의 섭식 행동의 유발효과가 높아지는 상하운동주기는 8 초의 경우만 이라고 판단되었다.

여기에서 각주기별의 MT3 과 ST3 의 검정 (t 검정 : $p < 0.01 \sim 60$) 의 유의수준을 바꾸면서 각각의 효과를 확인한 결과를 Fig. 2-16 에 나타냈다. 8 초 주기의 경우에는 유의수준 1%에서도 유의한 차가 확인되었다. 그 다음으로 낮은 유의수준에서 유의한 차가 확인된 것은 2 초 주기이었고, 그 유의수준은 10%이었다. 가장 나쁜 유의수준에서 유의한 차가 확인된 것은 6 초 주기였고, 유의수준은 60%이었다.

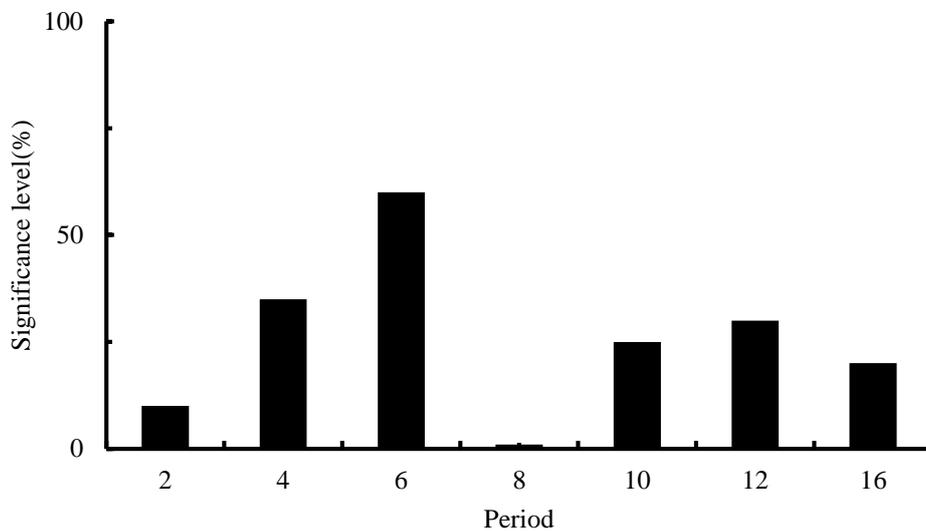


Fig. 2-16. Significance levels (t -test: $p < 0.05$) of the each moving periods.

2.3. 고찰

이 연구에서는 미끼에 움직임 전달하거나 형태를 바꾸면서 미끼에 대한 참돔의 반응행동에 평가 점을 부여하여 검증하는 것이었지만, 여기에서는 우선 참돔이 수조 내의 임의의 위치에서 미끼를 시인 할 수 있는가에 대하여 검토한다. Shiohara 등⁴²⁾은 참돔의 시력은 구하는 다음의 식으로부터 조도 500 lux 에 있어서의 시력을 0.24 로 구했다.

$$VA = \left\{ 2 \times \arctan\left(\frac{\phi}{2TD}\right) \times \frac{180}{\pi} \times 60 \right\}^{-1} \quad (2-6)$$

여기에서, VA 는 시력, ϕ 는 시각목표의 직경, TD 는 목표까지의 거리이다.

미끼의 형태 변화에 대한 반응 실험에서의 실험 시의 최저수증조도는 535 lux 이었던 것으로부터 Shiohara 등이 구한 500 lux 에 있어서의 참돔의 시력 0.24 를 사용하여 (2-6) 식의 ϕ 에 이 실험에 사용한 미끼의 하나인 납추의 직경 27 mm 을 대입하면, 시각목표까지의 거리 TD 가 2,250 mm 로 구해진다. 이 실험에서의 기록구역 (3,000 × 1,450 mm) 에서 구해지는 물표까지의 최대거리는 1,666 mm 로 참돔의 시력을 0.24 로 할 경우의 27 mm 의 미끼의 시인거리가 2,250 mm 이내라고 생각된다.

미끼의 운동주기에 대한 반응 실험에서의 실험 시의 최저수증조도는 412 lux 이었던 것으로부터 Shiohara 등이 구한 400 lux 에 있어서의 참돔의 시력 0.23 를 사용하여 (2-6) 식의 ϕ 에 이 실험에서 사용한 루어의 투영면적 80 mm 를 대입하면, 시각목표까지의 거리 TD 가 2,531 mm 로 구해진다. 이 실험에서의 실험수조 (3,000 × 1,500 mm) 에서 구해지는 물표까지의 최대거리는 1,677 mm 로 참돔의 시력을 0.23 로 할 경우의 80 mm 의 미끼의 시인거리가 2,531 mm 이내라고 생각된다.

미끼의 형태변화에 대한 반응 실험과 미끼의 운동주기에 대한 반응 실험에서도 수조 내의 어느 곳에서도 참돔은 미끼를 명확히 시인했다고 추측된다.

Lee 등⁴⁰⁾은 명태의 어획 과정 중의 행동을 이 연구에서 평가한 3 요소에 6 요소 (Jerk, Jerk series, Rush, Spitting out, Bait stolen 및 Hooking) 를 더하여 9 요소로 설명하고 있다. 여기에서는 이 연구에서 정의한 섭식행동이 아닌 통상의 자유유영 (FSW) 을 나타내지 않았지만 대구에도 존재한다고 추측되므로 9 요소에 FSW 를 더한 10 요소로 나타내는 것이 된다고 생각된다. 대구의 섭식행동은 FSW→APP→TST→ICB (이 등에서는 Bite) 에 계속하여 이 연구에서 평가하지 않은 6 요소로 나타내고 있다. 이 연구에서도 4 요소 (FSW, APP, TST 및 ICB) 로의 행동의 흐름이 관찰되었다. 그러나 이 연구에서는 기록시간이 짧고 어획의 다음의 행동의 관찰되지 않았기 때문에 4 요소의 임의의 조합으로 나타내는 것이 가능할지 Lee 등⁴⁰⁾과 같은 흐름으로 나타내는 것이 가능하지는 명확하지 않다. 이 점에 대해서는 이후의 연구에서 밝혀낼 필요가 있다.

이 연구에서는 참돔이 물표를 섭식하는 행동의 출현빈도가 많지 않았다. 이것은 실험 시간이 5분으로 짧았던 것도 하나의 이유라고 추측된다. 이렇게 추측한 근거는 APP₂의 출현빈도가 많았던 것이다. 이 연구에서 평가한 APP₂는 참돔이 미끼로부터 0.5 BL 원에 접근한 행동으로 분류되어 1.5 점으로 평가되었다. 그러나 APP₂는 접근 이외의 다음의 4 가지의 행동도 포함되어 있다. 1. 미끼의 아래를 통과하는 행동, 2. 미끼를 몸으로 접촉하는 행동, 3. 꼬리 지느러미로 미끼를 치는 행동, 4. 입을 벌려서 미끼에 접근했지만 무는 것은 실패한 행동. 이런 4 가지의 행동은 미끼의 형태변화에 대한 반응 실험에서는 낚추가 정지한 ST에서는 4 회

관측되었던 것에 비하여 상하운동을 하고 있을 때(MT)에는 12 회 관측되어 MT의 경우가 8 회 많이 관측되었다. 루어가 정지한 ST에서는 1 회 관측되었던 것에 비하여 상하운동을 하고 있을 때(MT)에는 9 회 관측되어 MT의 경우가 8 회 많이 관측되었다. 오징어 미끼가 정지한 ST에서는 5 회 관측되었던 것에 비하여 상하운동을 하고 있을 때(MT)에는 29 회 관측되어 MT의 경우가 24 회 많이 관측되었다. 미끼의 운동주기에 대한 반응 실험에서는 루어가 정지한 ST에서는 11 회 관측되었던 것에 비하여 상하운동을 하고 있을 때(MT)에는 9 회 관측되어 ST의 경우가 2 회 많이 관측되었다.

그리고 ICB의 출현시간에서는 물표의 형태변화에 대한 반응 실험에서는 12 회 관측되었고, 그 중에서 가장 빨리 관찰된 시간은 실험개시로부터 2분 2초였고, 가장 늦게 관찰된 시간은 4분 27초 이었다. 그 평균은 3분 19초±58였다. 미끼의 운동주기에 대한 반응 실험에서는 7 회 관측되었고, 그 중에서 가장 빨리 관찰된 시간은 실험개시로부터 1분 2초였고, 가장 늦게 관찰된 시간은 4분 52초 이었다. 그 평균은 3분 32초±92였다.

일반적으로 어류는 몸의 감각이 발달되었다고 알려져 있다. 이 행동이 섭식하기 위하여 접근하는 행동보다 강한 섭식행동인 가능성이 있지만 이 연구에서는 이 점에 대해서는 명확하지 않다. 그리고 ICB의 관측시간대도 평균 3분 정도로 참돔이 미끼를 경계하여 섭식을 하는데에는 시간이 필요했다고 생각되지만 이 연구에서는 명확하지 않다. 이후 이 점에 대하여 검토할 필요가 있다고 생각된다.

Tamura¹²⁾는 미끼를 주기적으로 왕복 운동시킬 경우와 등속도 운동을 시킬 경우의 농어의 반응에 대하여 검토하여 특히 1.5 cm/s 이상의 속도로 왕복 운동할 경우에 섭식 행동의 유발에 효과가 있었다고 보고하였다.

이에 비하여 이 연구에서는 참돔은 미끼가 정지한 ST에서도 섭식행동이 유발되는 것도 있었지만 미끼가 2.5 cm/s 의 속도 (8 초 주기) 로 주기적으로 왕복운동을 할 때(MT) 만이 정지상태 (ST) 보다 명확한 반응행동을 나타냈다. 참돔이 특정주기에 왕복 운동하는 미끼에 대한 것만 섭식행동을 일으킨다고 하면, 인공적인 미끼를 제어하는 것으로 참돔을 선택적으로 어획하는 것이 가능하다는 것을 시사한다. 반면 이 실험에서는 운동진폭을 10 cm 로 고정했기 때문에 속도와 주기의 어느 것이 행동을 일으키는 트리거가 되었는지는 명확하지 않다. 이것에 대해서는 더욱 검토할 필요가 있다고 생각된다.

미끼의 형태변화에 대한 반응 실험에서 사용한 수조의 벽은 백색으로 섭식행동이 나타나기 어려운 조건이었다⁴³⁾. 미각과 후각을 자극하는 것이 없이 형태도 가장 단순한 형태인 납추의 경우, 움직이는 경우 (MT) 가 정지상태 (ST) 보다 섭식행동의 유발효과가 당연히 높았으나, 다른 자극요인과 미끼와의 차이는 확인되지 않았다. 납추를 미끼로 한 경우에는 미끼의 종류에 의한 실험에서의 미끼가 움직임이 있는 MT와 움직임이 없는 ST 의 각 평가 점과의 차의 평균은 3.8 ± 3.2 로 루어의 6.8 ± 5.5 및 오징어 미끼의 평균 6.3 ± 6.1 보다 작았다. 이것은 납추의 평균이 비교적 큰 것이 영향을 하고 있어 납추를 노란색으로 착색한 것에 의하여 섭식행동을 유발하는 효과가 있었다고 추측된다. 단, 미끼의 색에 의한 섭식행동의 유발효과에는 개체별의 차이가 있었다고 추측된다.

냄새의 효과가 기대되었던 오징어 미끼에 대해서는 미끼의 움직임이 있는 MT 및 움직임이 없는 ST 의 각 평가 점과의 차의 평균이 냄새가 없는 납추보다 높았다. 그리고 움직임이 없는 ST 의 평가 점이 루어보다 높아, 오징어 미끼의 냄새에 의한 섭식행동의 유발효과는 없었다고 추측된다.

참돔을 인공적인 미끼를 가지고 어획을 시도하는 경우, 미끼의 왕복운동주기를 8 초 정도로 설정하는 것으로 섭식행동을 유발하는 가능성이 높다고 추측되지만, 미끼의 색의 영향에 대해서는 이 연구에서는 밝혀내지 못하여 실용화에 있어서는 해결할 필요가 있다. 반면 멈춰있는 미끼에 있어서도 착색을 시키는 것으로 섭식행동의 유발효과가 기대되므로 미끼의 색에 관한 효과도 명확히 할 필요가 있다고 생각된다.

이 실험에서는 창오징어의 대표적인 운동과 참돔의 섭식행동과의 관계를 명확히 하기 위해 창오징어의 대표적인 운동주기를 포함한 7 종류의 운동주기를 참돔에게 전달하였다. 그러나 운동진폭에 대해서는 이 실험에서 사용한 수조의 수심이 80cm 와 90cm 이어서 창오징어의 대표적인 운동진폭인 10cm 이외의 진폭을 재현하는 것은 무리가 있었다. 실제의 조업에서는 창오징어가 참돔의 서식하고 있는 곳의 위에 설치되기 때문에 실험에서의 미끼의 아래에 참돔이 자유롭게 유영할 공간이 필요하였기 때문이었다. 이후 창오징어의 대표적인 운동진폭 이외의 진폭에 대해서도 검토가 필요하다고 생각된다.

이 실험에서의 미끼의 운동주기에 의한 섭식행동의 유발효과는 운동주기가 2 초일 경우에 루어가 멈춘 상태 (ST3) 의 쪽이 움직이는 상태 (MT3) 보다 섭식행동의 유발효과가 유의 (t 검정 : $p < 0.05$) 하게 상회하여 이것으로부터 루어가 정지상태인 경우가 상하운동보다 참돔의 섭식행동을 유발시키는 효과가 높다고 판단되었다. 이것은 실험에서 2 초 주기의 운동이 빨랐기 때문에 참돔이 위협되어 있는 것으로 관찰된 것과 일치한다. 이것으로부터는 미끼의 빠른 운동이 시각적으로 강한 자극이 되기 쉽다고 생각되었지만 위협이 되는 것도 있다는 것이 시사된다.

창오징어의 대표적인 운동이 참돔의 시각자극이 되어 섭식행동을 유발시키는 것의 가능성을 검토했다. 그 결과 창오징어의 대표적인 운동으로 참돔의 섭식행동을 유발시키는 것이 가능하다는 것을 확인하였다. 그러나 이 연구에서는 미끼의 형태변화에 대한 반응실험에서는 미끼를 무는 경우가 11 회, 미끼의 운동주기에 대한 반응실험에서는 9 회 밖에 관찰되지 않았다. 이것은 참돔의 섭식행동의 유발의 가능성은 확인되지만 최종목표인 참돔의 어획에는 도달하지 못했다고 판단된다. 그 원인은 미끼에 대한 참돔의 경계심에 있다고 생각된다. 미끼의 운동주기에 대한 반응 실험에서의 2 초 주기의 경우 참돔이 미끼에 대한 경계를 하는 행동이 많이 관찰되었다. 다른 운동주기에서도 처음에는 경계를 하지만 시간이 경과함에 따라 관심을 나타내어 섭식행동을 나타냈다. 실제의 조업환경에서는 창오징어를 살리기 위하여 조업시간을 설정하는데 참돔의 어획에 필요한 시간은 명확하지 않다. 실험에서는 5 분간의 관측을 하였지만 미끼를 물기까지에는 그 이상의 시간이 필요하지 않나 생각된다. 그리고 실험에 사용한 미끼가 원인이 아닌지도 생각된다. 조업환경에서는 죽은 창오징어와 다른 연승어업에서의 미끼를 사용하여 어획을 시도하였지만 실패했다. 어민들은 참돔이 창오징어의 형태를 인식하고 있는 것이 아닌가라고 이야기 하고 있다. 죽은 창오징어와 창오징어의 외투막을 잘라 참돔의 어획을 시도하였지만 실패한 것과 참돔이 창오징어를 문흔적이 눈의 상부에 집중하고 있기 때문이라고 설명하고 있다. 그래서 어민들은 수온이 상승하여 창오징어를 사용하지 못하는 경우에도 이전에 어획하여 냉동 보관하여 둔 창오징어를 사용하여도 움직여주지 않으면 어획으로 연결이 안 된다고 주장한다. 실험에서도 미끼의 형태에 따라 섭식행동의 유발효과에 차이가 있다는 것이 확인되었다. 이 참돔의

경계심에 의하여 섭식행동까지의 시간과 미끼의 형태에 대하여 이후 실제의 조업환경에서의 검토로부터 명확히 할 필요가 있다.

제 1 장에서는 FFT 에 의하여 창오징어의 운동을 분석한 결과, 8 초 (데이터 수 32 개의 경우) 에 지배적 주파수가 존재하였고, 데이터 수를 2 배로한 경우에는 16 초에 지배적 주파수가 존재하였다. 그래서 제 2 장에서는 최저주파수를 16 초로 하여 실험을 실시하였다. 그 결과, 16 초 주기는 참돔의 반응이 나쁘게 된다는 것이 확인되었다. 이것으로부터 제 1 장에서 분석한 FFT 에 의한 결과는 적절했다고 생각된다. 만약 창오징어의 운동에 8 초 이상의 늦은 주기에 지배적 주파수가 존재하여도 이 연구의 목적인 참돔의 섭식 행동의 유발에는 적절하지 않은 주기라고 생각된다.

Table 2-3 Numerical values assigned to behaviors

Behavior patterns in this study	Description	Value
Approach1	Swimming towards the bait. The approach area ranges from more than 1/2BL to and less than 1BL from a target.	1
Approach2	Swimming towards the bait. The approach area is less than 1/2BL from a target. The bait is touched by body.	1.5
Taste	Touching the bait with the lips.	2
Incomplete bite	Sucking the bait into the mouth. But the whole bait is never within the closed mouth.	3
Behavior pattern by Fernö	Description	Value
Approach	Swimming towards the bait while looking at it and turning before touching the bait.	1
Taste	Touching the bait with the trailing barbel or lips. If tasting was followed by bite or incomplete bite, it had to last at least two seconds in order to be recorded.	2
Incomplete bite	Differs from bite in that the whole bait is never within the closed mouth, either because the fish takes only a part of the bait in the mouth or because the mouth is not completely closed.	3
Bite	Sucking the bait into the mouth.	4
Jerk	A rapid movement of the head with the bait in the mouth, typically directed to the side.	5
Pull	Swimming around with stretched snood with the bait in the mouth.	5
Chew	Manipulating the bait in the mouth with chewing movements.	5
Shake	Several rapid lateral movements with head and body while the bait is in the mouth. Cod show this behavior pattern when separating the softer part of a mussel from the shell.	5
Rush	Swimming rapidly forward with bait in mouth.	6
Hooking	The hook is retained in the mouth for at least 20s while the fish fights violently.	7

Table 2-4 Appearance frequency of the respective movement patterns of red sea bream (Summer Experiment)

Case Number	Appearance times (total score)					Case Number	Appearance times (total score)				
	APP ₁	APP ₂	TST	ICB	Total		APP ₁	APP ₂	TST	ICB	Total
No.1(SW)	3(3)	2(3)	-	-	5(6)	No.1(MW)	2(2)	4(6)	-	-	6(8)
No.2(SW)	4(4)	1(1.5)	-	-	5(5.5)	No.2(MW)	5(5)	2(3)	-	-	7(8)
No.3(SW)	2(2)	6(9)	-	-	8(11)	No.3(MW)	1(1)	13(19.5)	-	-	14(20.5)
No.4(SW)	4(4)	5(7.5)	-	-	9(11.5)	No.4(MW)	8(8)	6(9)	-	-	14(17)
No.5(SW)	-	-	-	-	-	No.5(MW)	8(8)	3(4.5)	-	-	11(12.5)
No.6(SW)	6(6)	-	-	-	6(6)	No.6(MW)	7(7)	-	-	-	7(7)
No.1(SL)	2(2)	2(3)	-	-	4(5)	No.1(ML)	2(2)	2(3)	-	-	4(5)
No.2(SL)	4(4)	1(1.5)	-	-	5(5.5)	No.2(ML)	4(4)	4(6)	-	-	8(10)
No.3(SL)	2(2)	3(4.5)	-	-	5(6.5)	No.3(ML)	8(8)	2(3)	-	-	10(11)
No.4(SL)	5(5)	2(3)	-	-	7(8)	No.4(ML)	4(4)	8(12)	-	-	12(16)
No.5(SL)	4(4)	-	-	-	4(4)	No.5(ML)	8(8)	3(4.5)	-	-	11(12.5)
No.6(SL)	6(6)	-	-	-	6(6)	No.6(ML)	5(5)	4(6)	-	-	9(11)
No.1(SS)	7(7)	-	-	-	7(7)	No.1(MS)	5(5)	5(7.5)	-	-	10(12.5)
No.2(SS)	4(4)	5(7.5)	-	-	9(11.5)	No.2(MS)	6(6)	11(16.5)	-	-	17(22.5)
No.3(SS)	2(2)	-	-	-	2(2)	No.3(MS)	2(2)	6(9)	-	2(6)	10(17)
No.4(SS)	3(3)	5(7.5)	-	-	8(10.5)	No.4(MS)	3(3)	10(15)	-	-	13(18)
No.5(SS)	2(2)	1(1.5)	-	1(3)	4(6.5)	No.5(MS)	7(7)	4(6)	-	-	11(13)
No.6(SS)	5(5)	1(1.5)	-	-	6(6.5)	No.6(MS)	8(8)	1(1.5)	-	-	9(9.5)
Total	65(65)	34(51)	-	1(3)	100(119)	Total	93(93)	88(132)	-	2(6)	183(231)

SW: Static weight, SL: Static Lure, SS: Static squid. MW: Moving weight, ML: Moving Lure, MS: Moving squid.

Table 2-5 Appearance frequency of the respective movement patterns of red sea bream (Autumn Experiment)

Case Number	Appearance times (total score)					Case Number	Appearance times (total score)				
	APP ₁	APP ₂	TST	ICB	Total		APP ₁	APP ₂	TST	ICB	Total
No.1(SW)	2(2)	1(1.5)	-	-	3(3.5)	No.1(MW)	3(3)	5(7.5)	-	-	8(10.5)
No.2(SW)	8(8)	3(4.5)	-	-	11(12.5)	No.2(MW)	5(5)	2(3)	1(2.5)	-	8(10.5)
No.3(SW)	12(12)	5(7)	-	-	17(19.5)	No.3(MW)	12(12)	7(10.5)	-	-	19(22.5)
No.4(SW)	1(1)	-	-	-	1(1)	No.4(MW)	3(3)	-	1(2.5)	-	4(5.5)
No.5(SW)	4(4)	1(1.5)	-	-	5(5.5)	No.5(MW)	8(8)	1(1.5)	-	-	9(9.5)
No.6(SW)	6(6)	-	-	-	6(6)	No.6(MW)	11(11)	1(1.5)	-	-	12(12.5)
No.1(SL)	3(3)	1(1.5)	-	-	4(4.5)	No.1(ML)	5(5)	2(3)	-	-	7(8)
No.2(SL)	1(1)	1(1.5)	-	-	2(2.5)	No.2(ML)	3(3)	5(7.5)	1(2)	-	9(12.5)
No.3(SL)	-	-	-	-	-	No.3(ML)	10(10)	2(3)	-	-	12(13)
No.4(SL)	-	5(7.5)	-	-	5(7.5)	No.4(ML)	3(3)	2(3)	-	-	5(6)
No.5(SL)	7(7)	-	-	-	7(7)	No.5(ML)	12(12)	-	-	-	12(12)
No.6(SL)	7(7)	-	-	-	7(7)	No.6(ML)	18(18)	-	-	-	18(18)
No.1(SS)	4(4)	-	-	-	4(4)	No.1(MS)	11(11)	-	-	-	11(11)
No.2(SS)	4(4)	1(1.5)	-	-	5(5.5)	No.2(MS)	1(1)	8(12)	-	2(6)	11(19)
No.3(SS)	2(2)	1(1.5)	-	-	3(3.5)	No.3(MS)	13(13)	-	-	-	13(13)
No.4(SS)	2(2)	5(7.5)	-	1(3)	8(12.5)	No.4(MS)	4(4)	4(6)	-	-	8(10)
No.5(SS)	4(4)	1(1.5)	-	-	5(5.5)	No.5(MS)	6(6)	-	-	-	6(6)
No.6(SS)	8(8)	-	-	-	8(8)	No.6(MS)	13(13)	2(3)	1(2)	-	16(18)
Total	75(75)	24(36)	-	1(3)	101(114.5)	Total	141(141)	41(61.5)	4(9)	2(6)	188(217.5)

W: Static weight, SL: Static Lure, SS: Static squid. MW: Moving weight, ML: Moving Lure, MS: Moving squid

제 3 장 미끼의 운동을 고려한 연승어업의 어획시스템 개발

제 1 장에서는 아릿줄에 매달린 창오징어의 대표적인 운동을 밝혀냈고, 제 2 장에서는 이 창오징어의 대표적인 운동이 참돔의 섭식행동의 유발에 효과적인 것을 확인했다. 여기까지의 연구에서는 창오징어의 대표적인 운동이 참돔의 섭식 행동의 유발에 효과가 있는 것을 수조실험에서 밝혀냈지만 실용화를 위해서는 실제 조업 조건에서의 창오징어의 대표적인 운동의 재현이 필요하며, 이것을 고려한 연승어업의 새로운 어획시스템 개발이 필요하다. 그래서 이 장에서는 새로운 어획시스템의 개발에 필요한 미끼의 운동을 재현하기 위한 제어 모델의 확립을 목적으로 한다.

제어 모델의 확립은 파도에 의한 제어시스템의 강제적인 운동과 이에 따른 미끼의 강제적인 운동과의 관계를 밝혀내고, 이 결과로부터 제어 모델을 제작하여 파도의 영향이 있어도 창오징어의 대표적인 운동의 재현의 가능성을 확인한다.

여기에서는 1. 새로운 어획시스템을 구상, 2. 어획시스템 모형을 제작하여 파도의 영향과 미끼의 운동과의 관계를 검토하는 조파수조 실험 실시, 3. 제어 모델 확립, 4. 제어 모델을 적용한 조파수조 실험을 실시하여 제어 모델의 적합성을 검토한다.

3.1 재료 및 방법

3.1.1 새로운 어획시스템의 구상

제주도의 참돔 연승어구는 제 1 장의 Fig. 1-2 에 나타낸 것과 같이 50m 의 모릿줄에 13 가닥의 아릿줄을 매단 구조이다. 이 어구의 아릿줄에 매달린 창오징어는 아릿줄의 길이로 한정된 범위에서 주기적인 상하운동을 하는

것으로 참돔의 섭식 행동을 유발하고 있다. 이러한 참돔 연승어구의 미끼를 창오징어를 대신하여 루어를 아릿줄의 낚시에 매달아 강제적으로 운동시키는 어획시스템을 개발하는 것을 고안하였다. 강제적으로 운동시키는 방법에는 이전의 연구에서 뜸줄을 상하로 움직여 아릿줄을 움직이도록 시도하였으나 모릿줄의 중앙부까지만 움직임이 전달되는 것이 확인되었다. 그래서 Fig. 3-1 과 같이 모릿줄과 아릿줄의 연결 부에 제어장치를 부착하여 직접적으로 아릿줄을 움직여주는 방법을 고안하였다. 그러나 이 방법으로는 제어장치를 소형화하고 방수기능이 필요하며, 아릿줄의 개수만큼 제어장치가 필요하여 어민들이 사용하기에는 제품 비용이 높아 부담이 되는 문제점이 있다. 그래서 Fig. 3-2 와 같이 선상에 기계를 설치하는 방법으로 결정하였다. 이 장치는 Fig. 3-1 에 비하여 제품 제작은 쉬우나 파도의 영향 등으로 선박이 움직이기 때문에 제어 방법은 복잡하게 된다. 한편, 제품 제작비용이 저렴하고, 5 톤 정도의 어선 1 척에 4~6 대까지 설치가 가능하며 기존의 연승어업에서 사용하는 정도의 낚시의 개수로 조업을 할 수 있어 어획량은 보장이 될 것이다. 그리고 연승어구는 투승과 양승 작업에 상당한 시간이 소요되어 조업 횟수가 적은 단점이 있으며, 다수의 노동력이 필요하기 때문에 조업 경비가 상승하게 된다. 이에 비하여 이 장치는 선상에 설치하므로 투승과 양승 작업이 불필요하게 되고, 연승어구는 1회 조업에서 낚싯바늘 1개에 어획 가능한 어류가 1마리뿐이지만 이 장치는 어획 직후 다시 어획 작업이 가능하기 때문에 어획량 증가가 예상된다.

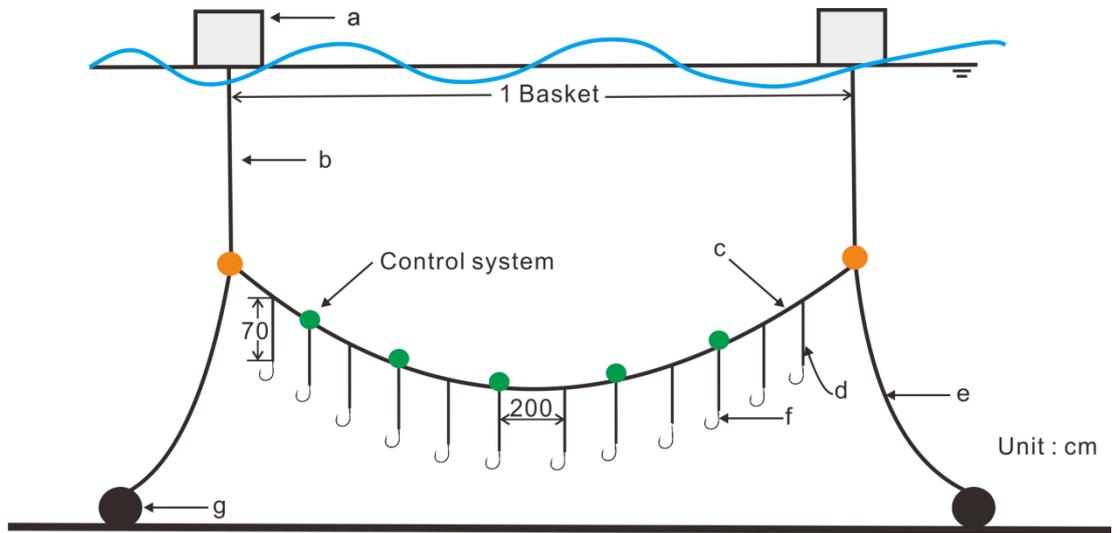


Fig. 3-1. Concept figures of fishing system.

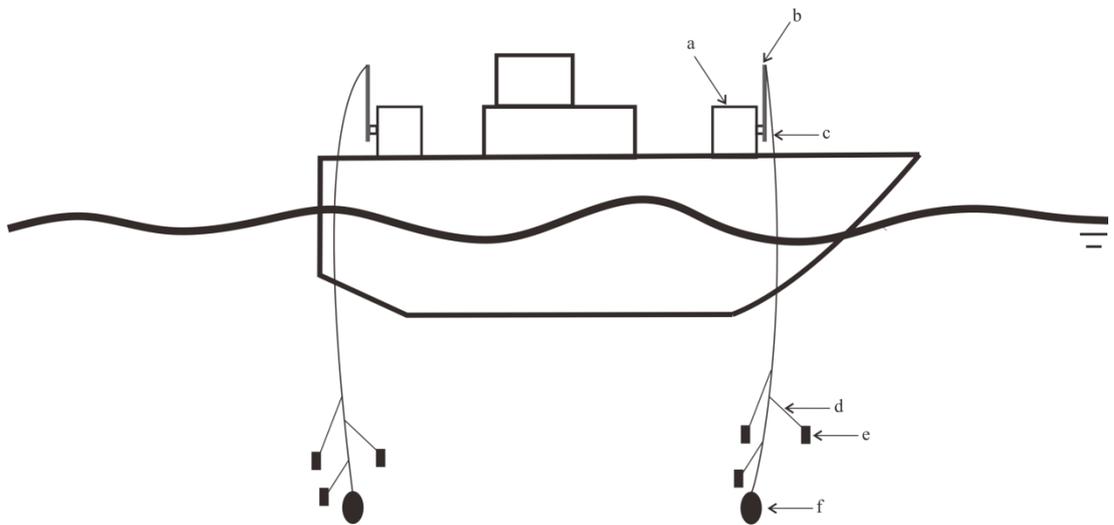


Fig. 3-2. Concept figures of the new fishing system.

a: fishing machine, b: pole, c: fishing line, d: branch line, e: bait, f: weight

3.1.2 파도의 영향을 고려한 미끼의 제어 모델

Fig. 3-2 와 같이 구상한 참돔의 어획시스템은 선상에 설치하기 때문에 파도의 영향을 받으므로 제어 모델을 확립하기 위하여 파도가 있을 때의 미끼의 운동의 특성을 관측하였다. 실험은 2010 년 12 월 14 일부터 12 월 20 일까지 북해도대학 수산학부 내의 대형의 콘크리트 수조(L 5,000 × B 3,000 × H 1,800 cm, 수심은 120cm)에서 실시하였다. 모형제어시스템은 모터 (SS40E20-L1-50, SAWAMURA : Fig. 3-3 (a)) 의 구동 축에 끼운 낚싯줄의 털에 연결하여 미끼를 모터제어에 의하여 임의의 주기와 진폭으로 왕복운동이 되도록 하였다. 그리고 모터는 드라이버 (MS-100, SAWAMURA : Fig. 3-3 (b)) 와 D/A 변환기 (CSI-40212, INTERFACE) 를 연결한 PC (Fig. 3-3 (d)) 에 의하여 제어가 된다. 여기에서의 모터의 제어는 회전 수, 회전 속도 및 반복 횟수로 구성되어 있다. 실험에 사용한 조파수조 내의 중앙의 수면 위에 모형제어시스템을 띄워 미끼의 제어를 실시하였으며, 실험 중에 파도에 의하여 떠내려가지 않도록 로프로 가볍게 고정하였다.

미끼의 운동은 수조 전면의 관측창의 앞에 고정된 삼각대에 설치한 비디오카메라 (DCR-PC120, SONY) 로 기록하였다. 실험 때의 파도는 파고계를 모형제어시스템의 후방 약 20 cm의 곳에 설치하여 계측하였다. 모형제어시스템의 움직임은 모터를 고정한 철제 프레임에 가속도계 (AS-TG, KYOWA) 부착하여 계측했다. 그리고 모터와 미끼를 연결한 낚싯줄의 장력은 모터의 아랫부분에 장력계 (RMGZ100, NORMAN G. CLARK) 를 부착하여 계측하였다. 실험에서 계측한 파고, 가속도 및 장력 데이터는 소형 레코더 (EDS-400A, KYOWA) 로 동시에 기록하였다.

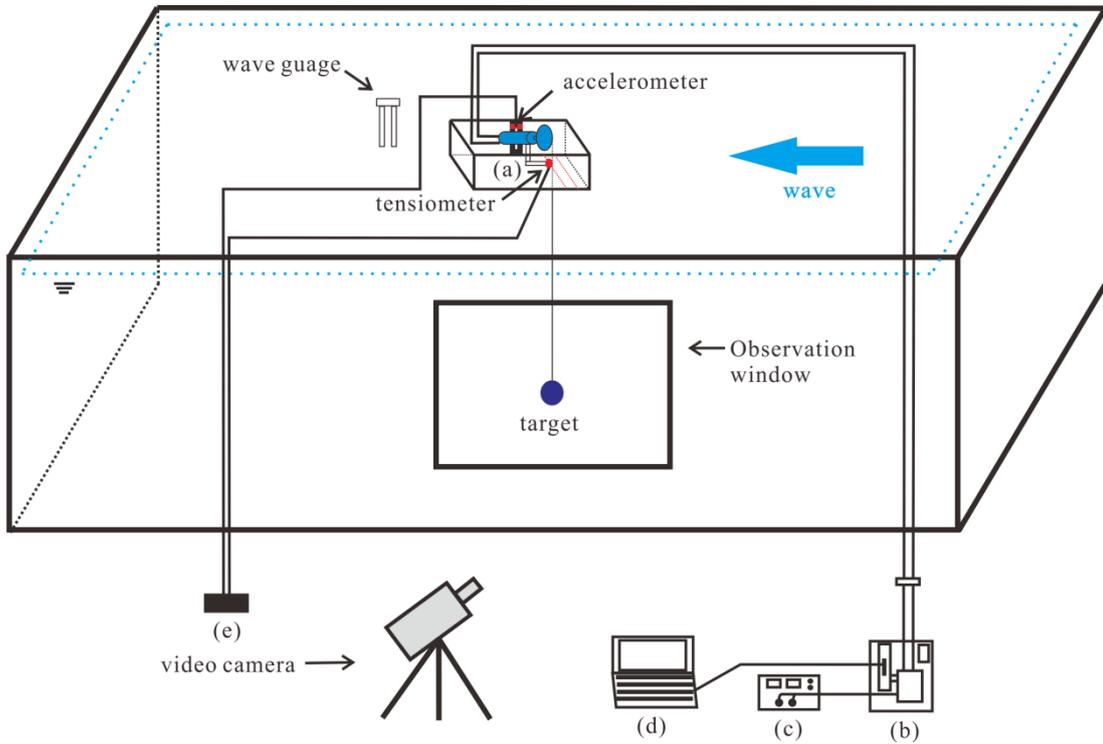


Fig. 3-3. Schematic drawing of the experimental equipment used for the water tank tests (motion model tests). The bait was controlled by a motor control system (a, b, c and d). The movements of target in the water tank were recorded by a video camera which was set on the front of the water tank. (a): motor, (b): motor driver, (c): power supply, (d): personal computer with D/A interface, (e): recorder.

실험 조건은 Table 3-1 에 나타난 것과 같이 14 가지의 조건이었으며, 미끼의 운동이 수심과 낚싯줄의 길이에도 영향이 있을 것으로 예상되어 미끼의 수심을 10cm와 45cm의 두 종류로 설정하였다. 파고와 파의 주기는 Polypropylene 재질의 모형제어시스템의 케이스의 높이가 20 cm이었는데 예비실험에서 파고가 10 cm를 넘으면 케이스 안으로 물이 들어왔기 때문에 10 cm를 한계치로 하였다. 그리고 파의 주기는 1.2 초 보다 짧은 경우에는

모형제어시스템이 견디지 못한 것과 1.6 초 이상에서는 파도의 영향의 거의 없어 1.2 초, 1.4 초 및 1.6 초의 3 단계로 설정했다. 그리고 실험과 실험의 사이에는 수조의 수면이 안정될 때까지 30 분간의 대기시간을 설정했다.

Table 3-1 Control experiment conditions of wave tank (movement model tests)

Number of experiment	Wave period (sec)	Wave height (cm)	Depth of target (cm)	control
1	1.2	10	10	0.25Hz, 5cm
2	1.4	10	10	0.25Hz, 5cm
3	1.6	10	10	0.25Hz, 5cm
4	1.2	10	45	0.25Hz, 5cm
5	1.4	10	45	0.25Hz, 5cm
6	1.6	10	45	0.25Hz, 5cm
7	×	10	10	0.25Hz, 5cm
8	×	10	45	0.25Hz, 5cm
9	1.2	10	10	×
10	1.4	10	10	×
11	1.6	10	10	×
12	1.2	10	45	×
13	1.4	10	45	×
14	1.6	10	45	×

실험에 사용한 미끼는 Fig. 3-4 에 나타난 것과 같이 충분한 침강력이 있도록 구형의 탁구공 안에 실리콘을 주입하여 42g 의 무게의 것을 사용했다. 창오징어의 대표적인 운동 (8 초 주기, 10.8cm 진폭) 의 재현은 발생시킨 파도가 돌아오는 반사파가 약 1 분 정도로 짧았기 때문에 절반인 4 초 주기, 5cm 진폭으로 하였다.

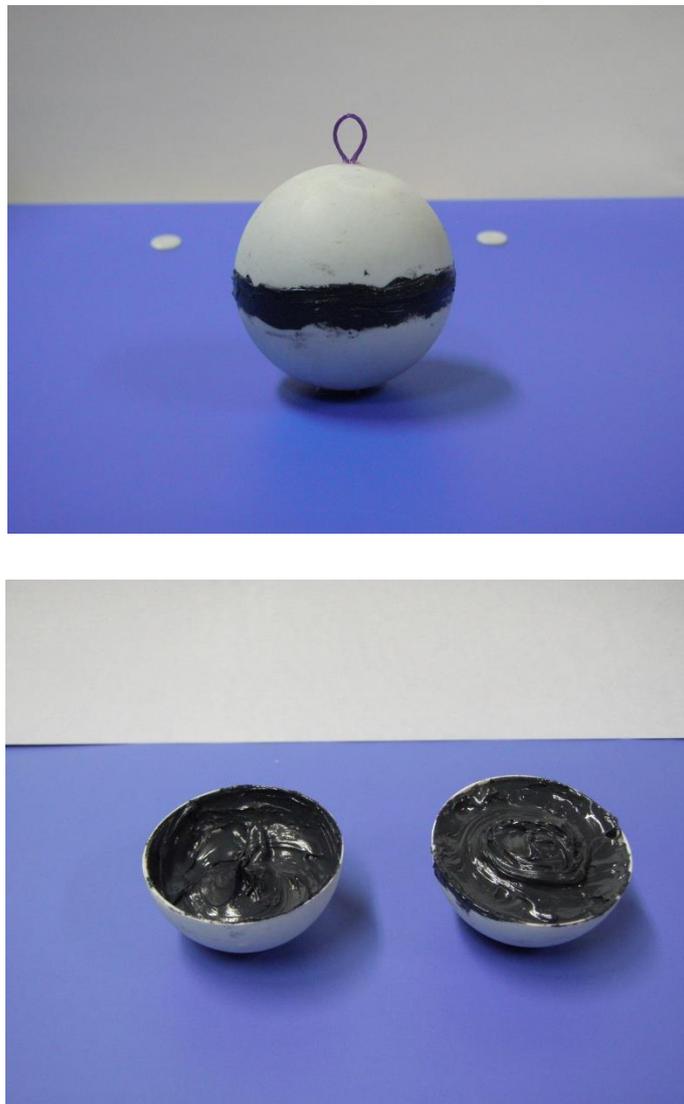


Fig. 3-4. Photograph of the target was used in the water tank experiment.

3.1.3 미끼 제어 모델의 수조 실험

파도의 영향을 고려하여 제작한 제어 모델의 적합성을 확인하기 위하여 파도에 따라 위치를 제어하는 장치를 제작하여 운동 특성을 관찰하였다. 실험은 2013년 12월 2일부터 12월 5일까지 제주대학교 해양과학대학 내의 철재의 조파수조(L 2,500 × B 100 × H 150 cm, 수심은 100cm)에서 실시했다. 조파수조 내에 제작한 모형위치제어시스템을 띄워, 파도에 떠내려가지 않도록 로프로 가볍게 고정하였다. 모형위치제어시스템은 모터 (KANZ-02BF1N2, KOMOTEK : Fig. 3-5 (a))의 구동 축에 끼운 낚시줄의 털에 연결하여 미끼를 모터 제어에 의하여 임의의 주기와 진폭으로 상하 왕복 운동이 되도록 하였다. 그리고 모터는 AC-Servo 드라이버 (TANGO-B02, NSSYSTEM : Fig. 3-5 (b))와 위치 제어기기 (LNC-1, NSSYSTEM : Fig. 3-5 (c))에 의하여 프로그램 제어된다.

미끼의 운동은 수조 전면의 관측창 앞에 삼각대에 고정한 비디오카메라 (HDR-PJ580, SONY)로 기록하였다. 실험 때의 파도는 파고계를 모형위치제어시스템의 전방의 약 20 cm의 위치에 설치하여 계측하였다. 미끼의 수심은 이전의 실험에서 수심에 따른 운동의 차이가 없어 45 cm의 한단계로 설정하였다. 실험 조건은 Table 3-2에 나타낸 것과 같이 15가지의 조건이었으며, 파의 주기는 이전의 실험보다 짧은 1.0 초, 1.2 초 및 1.4 초의 3 단계로 설정하였다. 실험과 실험의 사이에는 수조의 수면이 완전히 안정될 때까지 20분간의 대기시간을 두었다.

실험에 사용한 미끼는 제어 모델의 실험과 같은(Fig. 3-4) 42g의 구형의 탁구공을 사용하였다. 창오징어의 대표적인 운동 (8 초 주기, 10.8 cm 진폭)의 재현은 발생시킨 파도의 반사파가 약 45 초 정도에 돌아와 짧았으나, 위치 제어장치가 계산하여 제어하는데 충분한 시간이 필요했기

때문에 8 초 주기로 했다. 그리고 진폭은 수조의 수심을 고려하여 창오징어의 대표적인 운동의 절반인 5cm 로 했다.

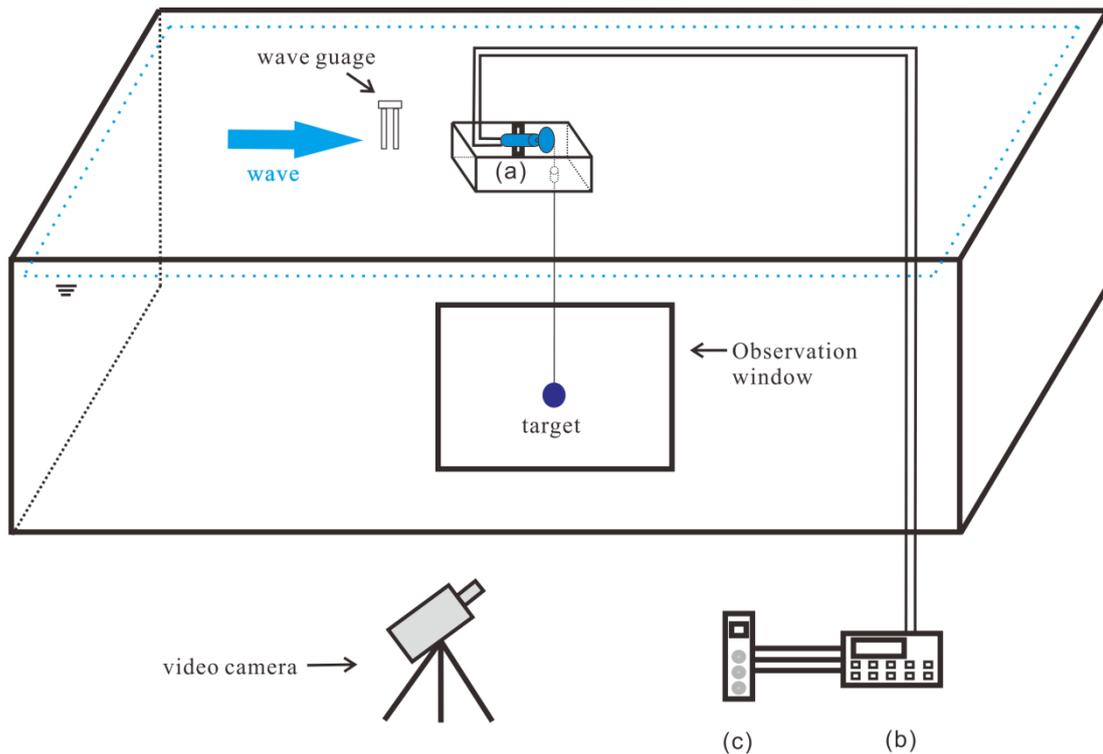


Fig. 3-5. Schematic drawing of the experimental equipment's used for the water tank tests (control model tests). The bait was controlled by a motor control system (a, b and c). The movements of target in the water tank were recorded by a video camera which was set on the front of the water tank. (a): motor, (b): motor driver, (c): position controller.

Table 3-2 Position control experiment conditions of wave tank (control model tests)

Number of experiment	Wave period (sec)	Wave height (cm)	Depth of target (cm)	control
1	1.0	3	45	0.125Hz, 5cm
2	1.2	3	45	0.125Hz, 5cm
3	1.4	3	45	0.125Hz, 5cm
4	1.0	5	45	0.125Hz, 5cm
5	1.2	5	45	0.125Hz, 5cm
6	1.4	5	45	0.125Hz, 5cm
7	1.0	7	45	0.125Hz, 5cm
8	1.2	7	45	0.125Hz, 5cm
9	1.4	7	45	0.125Hz, 5cm
10	1.0	9	45	0.125Hz, 5cm
11	1.2	9	45	0.125Hz, 5cm
12	1.4	9	45	0.125Hz, 5cm
13	1.0	11	45	0.125Hz, 5cm
14	1.2	11	45	0.125Hz, 5cm
15	1.4	11	45	0.125Hz, 5cm

3.2 결과

3.2.1 과도 영향을 고려한 미끼 제어 모델

미끼의 위치를 제어하지 않으며 모형시스템에 과도가 없을 경우에 수심을 10 cm와 45 cm로 설정하여 4 초 주기, 5cm 진폭으로 미끼를 움직였을 경우의 결과를 Fig. 3-6 에 나타냈다. 미끼의 수심이 10cm 의

경우에는 제어되는 미끼의 위치가 평균 4.76cm 이었고, 미끼의 수심이 45cm 의 경우에는 제어되는 미끼의 위치가 평균 4.79cm 이었다. 양자 모두 0.25Hz 의 주기의 1/4 주기 정도 느린 결과 이었다.

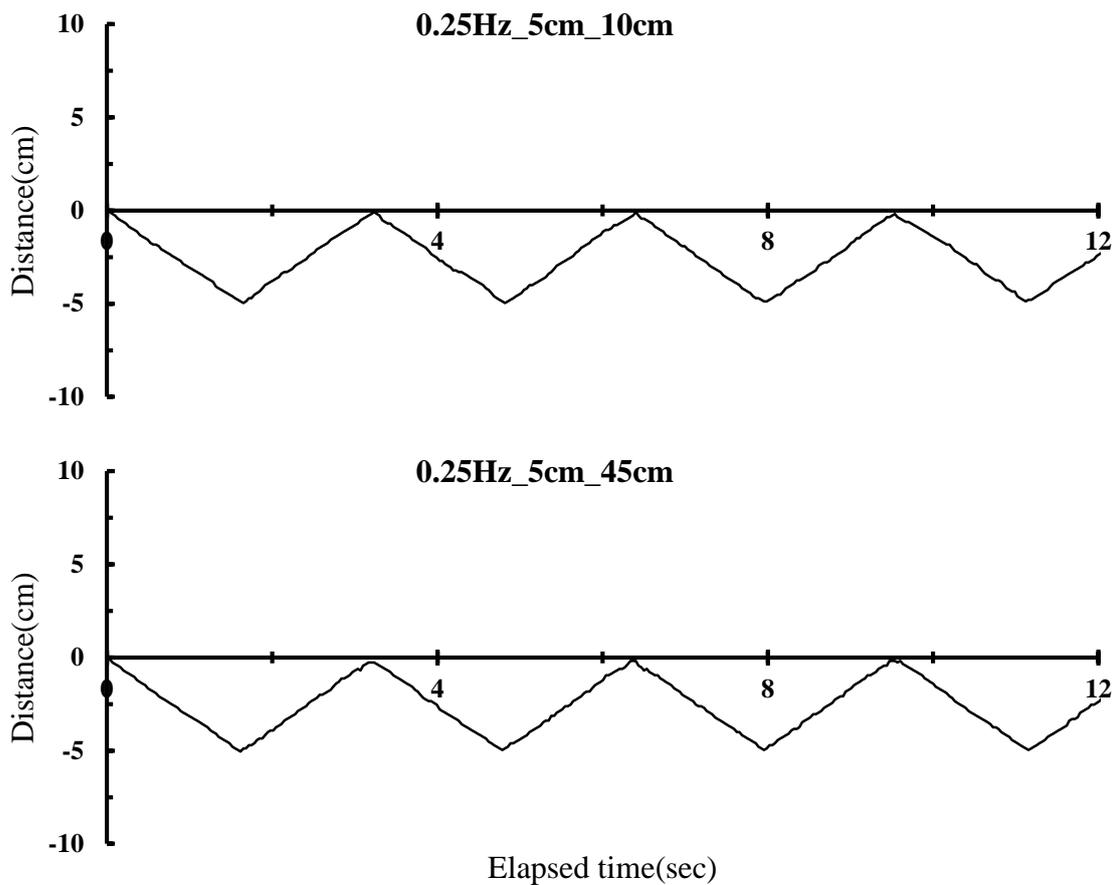


Fig. 3-6. Position change in the part of bait when do not controlled.

모형 위치 제어시스템에 파도를 전달하였을 경우 미끼의 수심을 10 cm와 45 cm로 설정하여 4 초 주기, 5cm 진폭으로 미끼를 움직였을 경우의 결과를 Fig. 3-7 과 3-8 에 나타냈다. 그리고 실험에서 측정된 가속도를 Fig. 3-9 와 Fig. 3-10 에 장력을 Fig. 3-11 과 3-12 에 나타냈다.

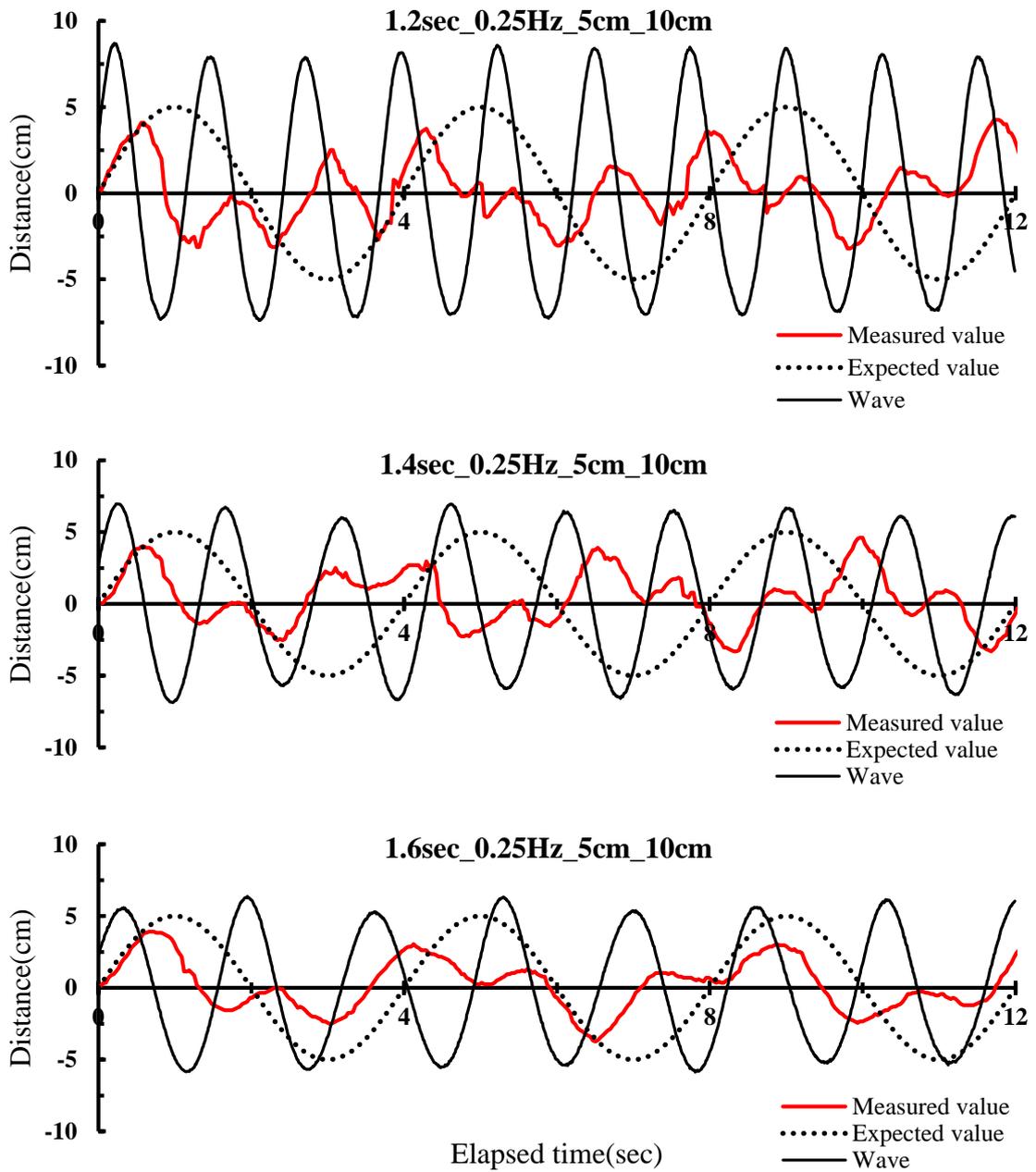


Fig. 3-7. Position change in the part of bait when depth of bait is 10cm.

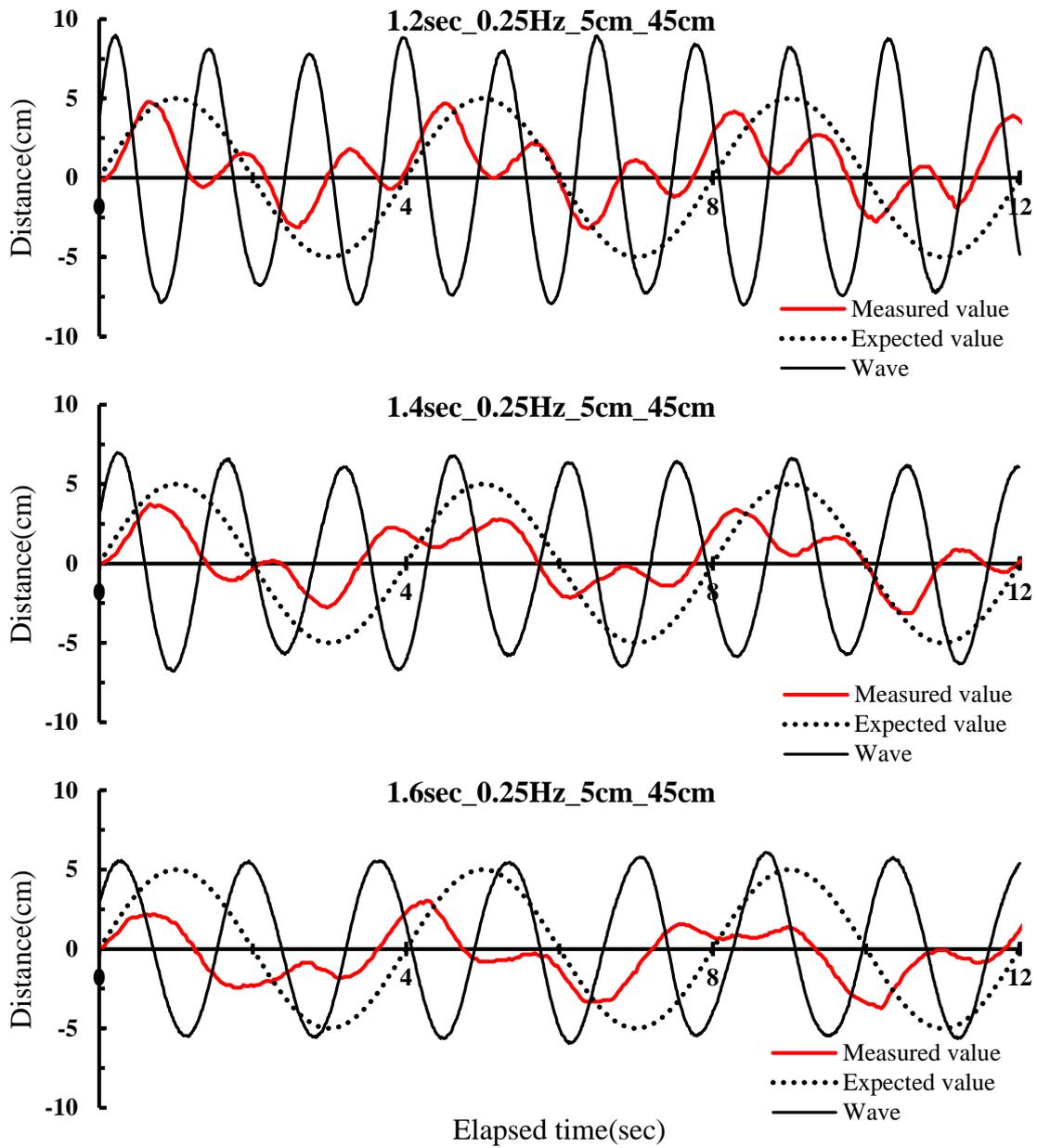


Fig. 3-8. Position change in the part of bait when depth of bait is 45cm.

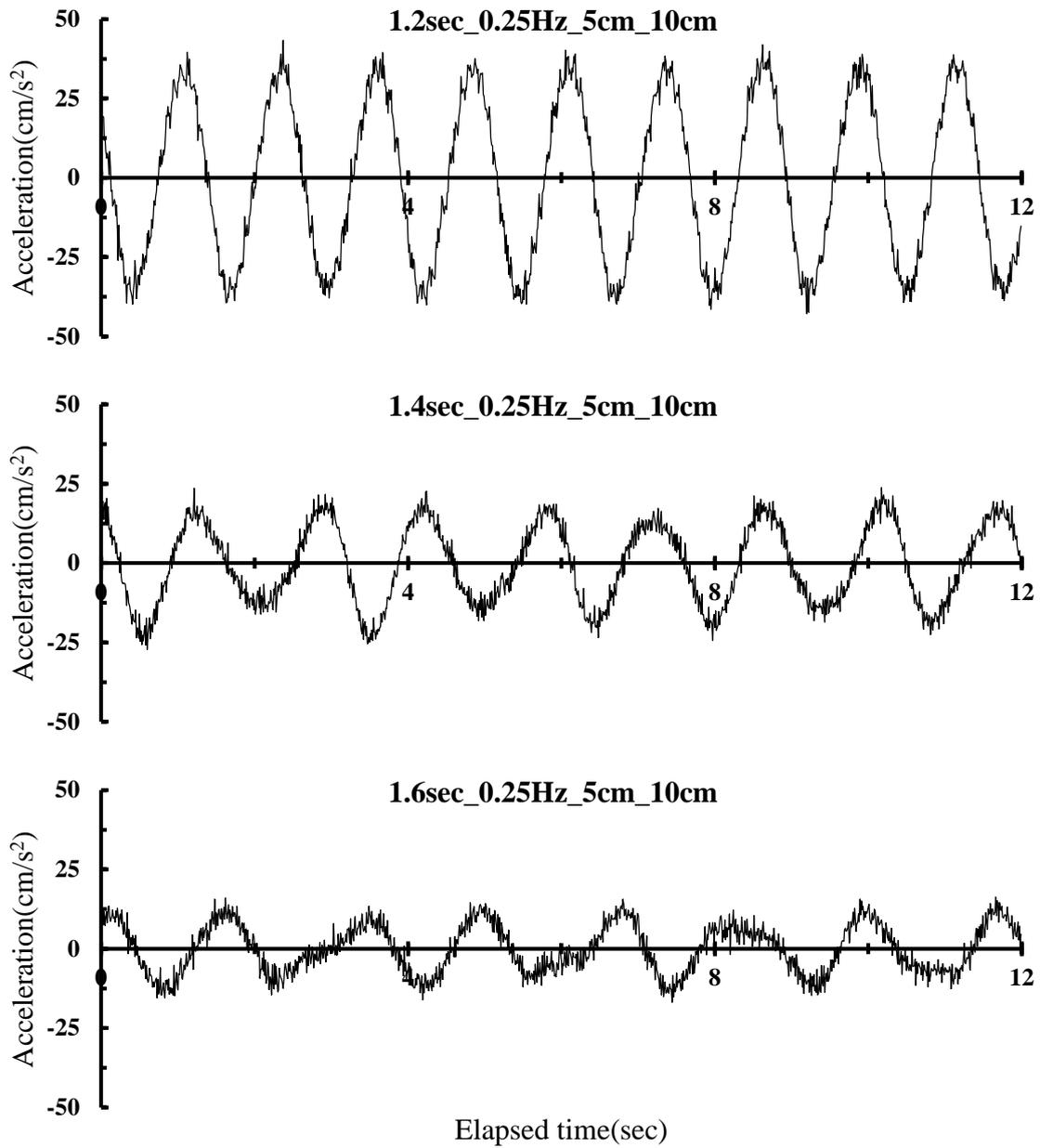


Fig. 3-9. Acceleration change in the case of control system when depth of bait is 10cm.

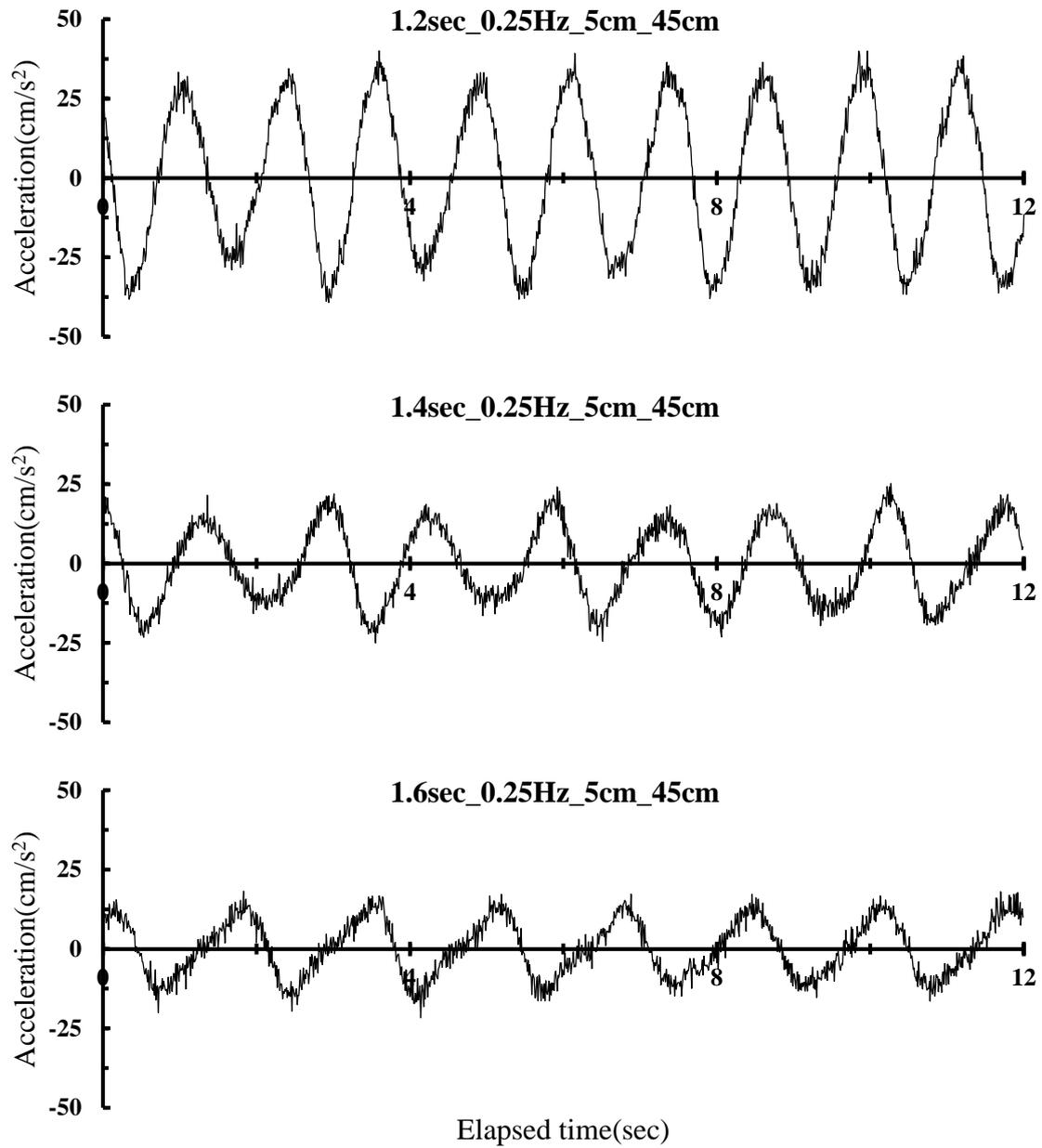


Fig. 3-10. Acceleration change in the case of control system when depth of bait is 45cm.

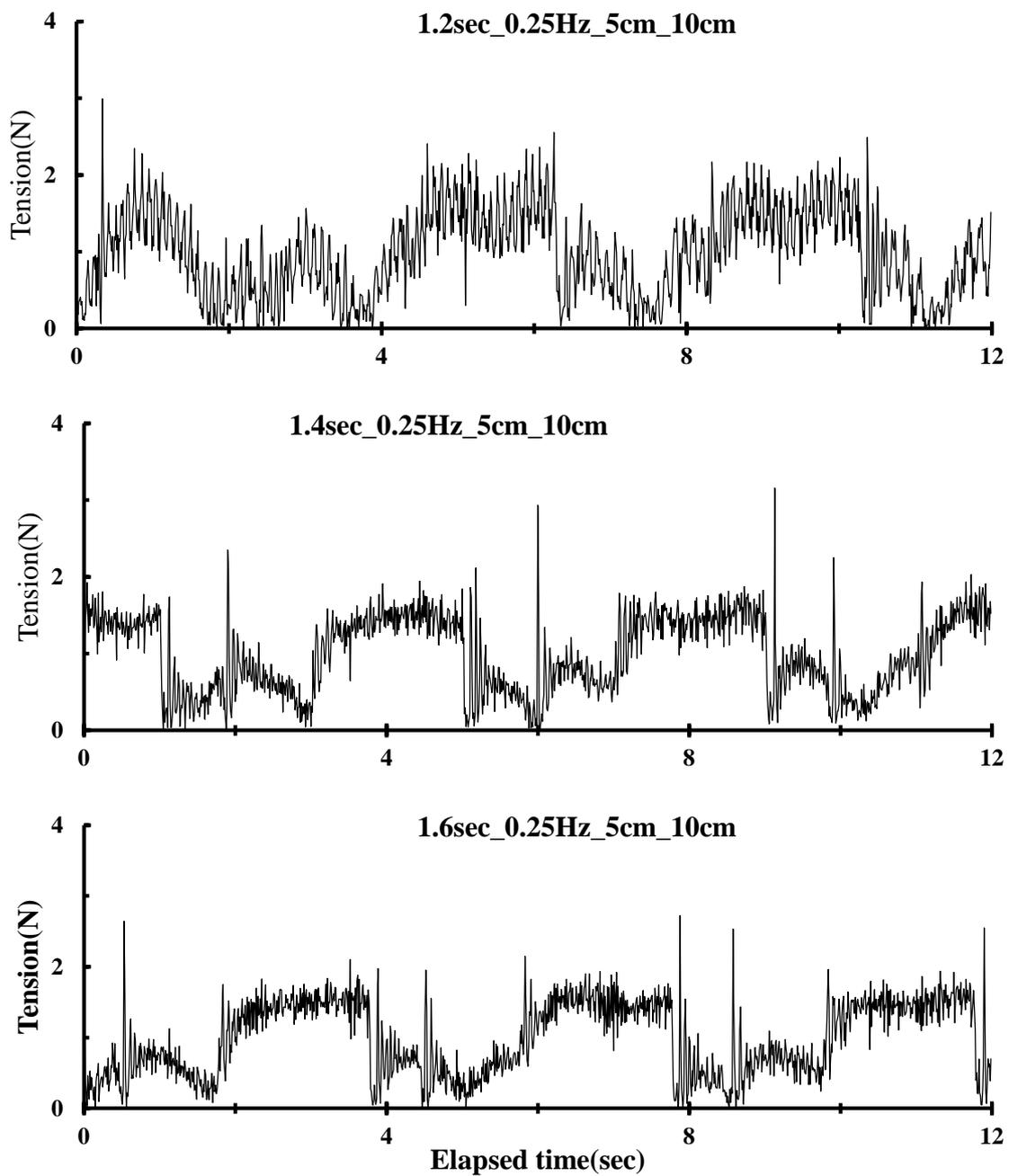


Fig. 3-11. Tension change in the case of control system when depth of bait is 10cm.

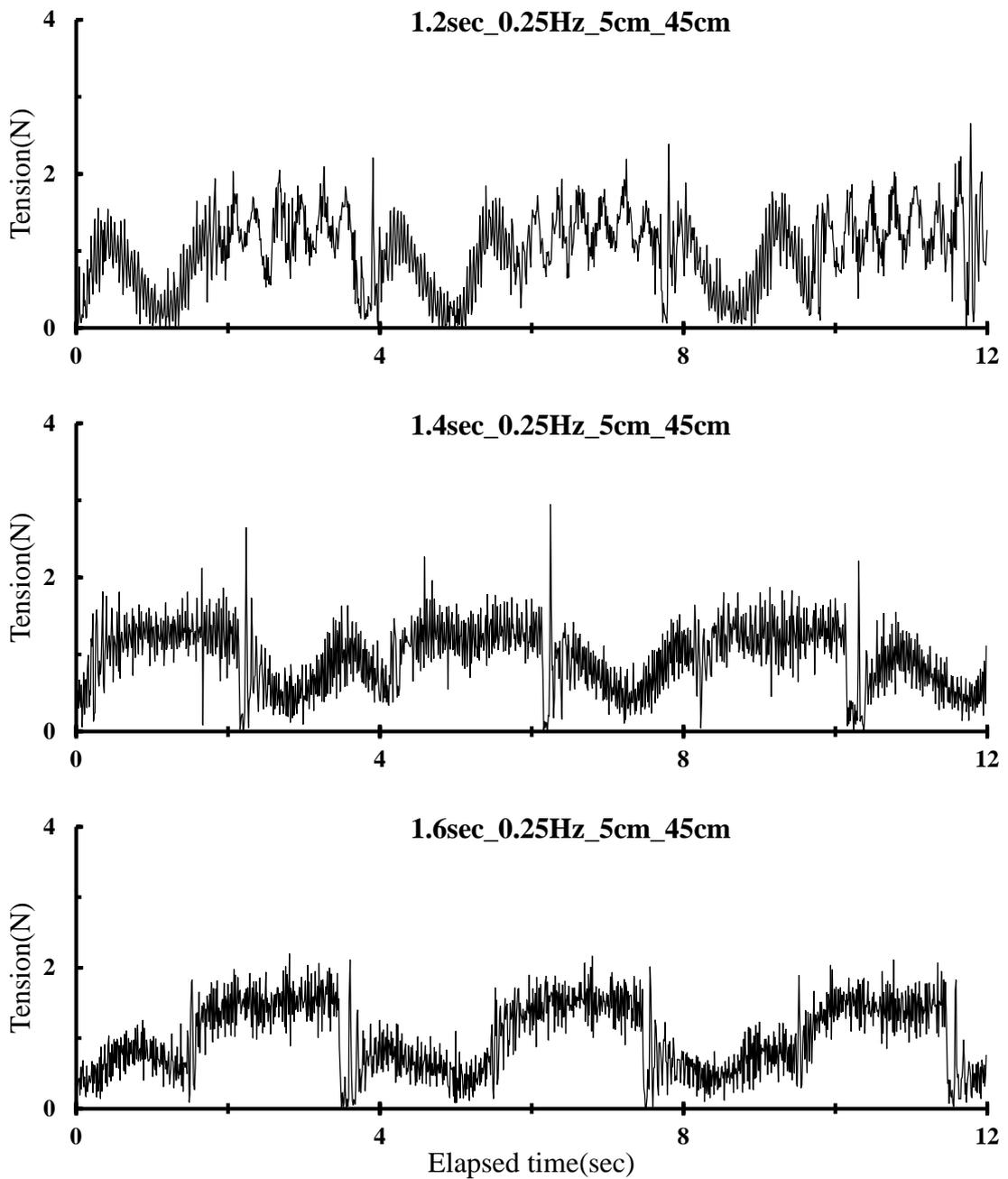


Fig. 3-12. Tension change in the case of control system when depth of bait is 45cm.

과도의 상하운동을 함에 따라 모터를 넣은 케이스가 운동을 하여 모든 실험결과에서 기대한 주기와 진폭으로 제어가 되지 않았다. 실험에서 확인된 제어에 영향을 미치는 내용을 정리하면 아래와 같이 된다.

1. 제어목표 수심과 낚싯줄의 길이가 맞는 부분
2. 미끼는 위쪽으로 제어되지만 제어시스템 자체가 하강하여 미끼가 강제적으로 하강하는 부분
3. 미끼는 아래쪽으로 제어되지만 제어시스템 자체가 상승하여 미끼가 강제적으로 상승하는 부분

이러한 결과를 종합하여 Fig. 3-13 과 같은 제어 모델을 확립하였다.

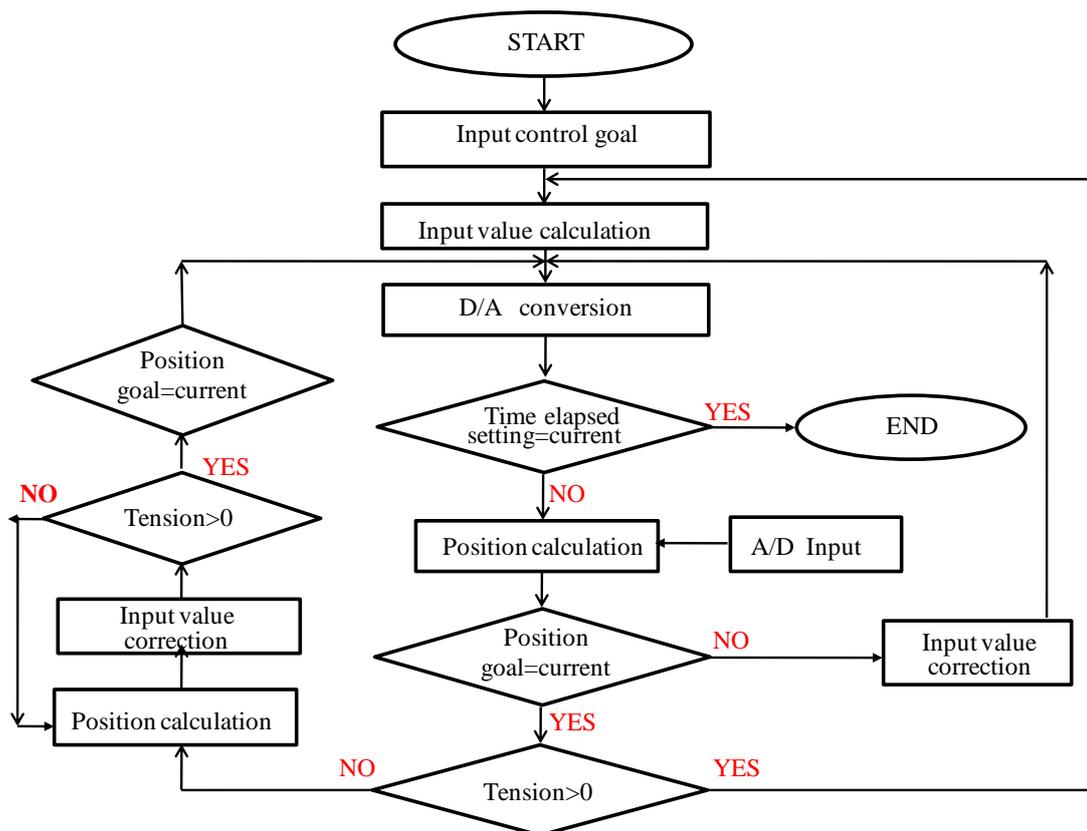


Fig. 3-13, Concept diagram of the control model.

제어 모델은 미끼의 위치를 계산하여 낚싯줄을 풀어주거나 감아주는 것으로 위치를 수정한다. 또한, 실험결과에서 밝혀낸 것과 같이 제어시스템 자체가 미끼의 운동방향과 반대방향으로 이동하는 경우에는 장력이 작용하지 않기 때문에 이것을 측정하여 위치를 수정한다.

3.2.2 미끼 제어 모델의 적합성

모형위치제어시스템에 파도를 전달하였을 경우 파고가 3 cm 의 경우의 결과를 Fig. 3-14, 5 cm 의 경우의 결과를 Fig. 3-15, 7 cm 의 경우의 결과를 Fig. 3-16, 9 cm 의 경우의 결과를 Fig. 3-17, 11 cm 의 경우의 결과를 Fig. 3-18 에 나타냈다. 여기에서는 목표 값인 창오징어의 대표적인 운동을 파란색 실선으로 나타냈고, 실제 측정된 미끼의 운동을 붉은색 실선을 나타냈다.

파고가 3 cm 부터 11 cm 로 높아지는 것과 파의 주기가 1.4 초부터 1.0 초로 짧아지면 미끼의 움직임이 복잡하게 되었다. 파고가 3 cm, 5 cm, 7 cm, 9 cm 및 11 cm 일 때의 파의 주기가 1.0 초의 경우에 관찰된 진폭의 평균은 각각 8.7 cm, 9.2 cm, 10.1 cm, 11.3 cm 및 13.1 cm 이었다. 파고가 3 cm, 5 cm, 7 cm, 9 cm 및 11 cm 일 때의 파의 주기가 1.2 초의 경우 관찰된 진폭의 평균은 각각 9.5 cm, 8.6 cm, 10.0 cm, 10.1 cm 및 14.8 cm 이었다. 파고가 3 cm, 5 cm, 7 cm, 9 cm 및 11 cm 일 때의 파의 주기가 1.4 초의 경우 관찰된 진폭의 평균은 각각 8.7 cm, 9.3 cm, 10.3 cm, 11.1 cm 및 11.7 cm 이었다.

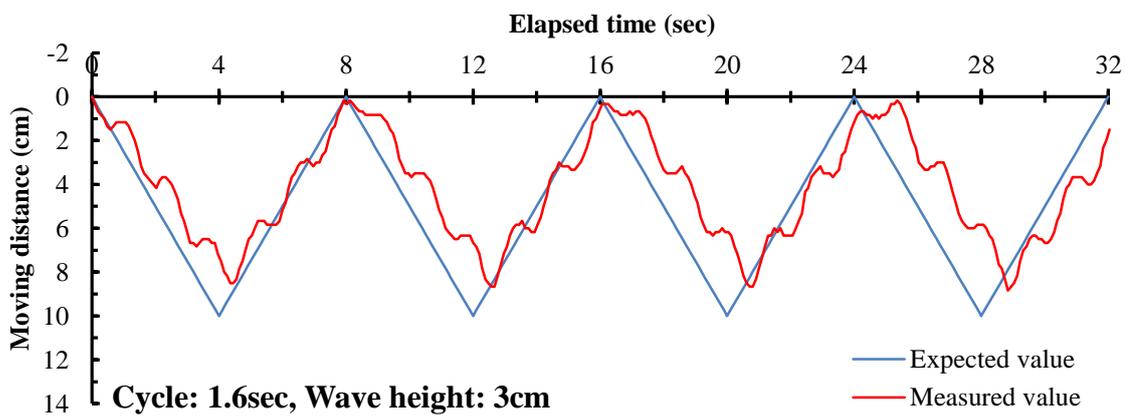
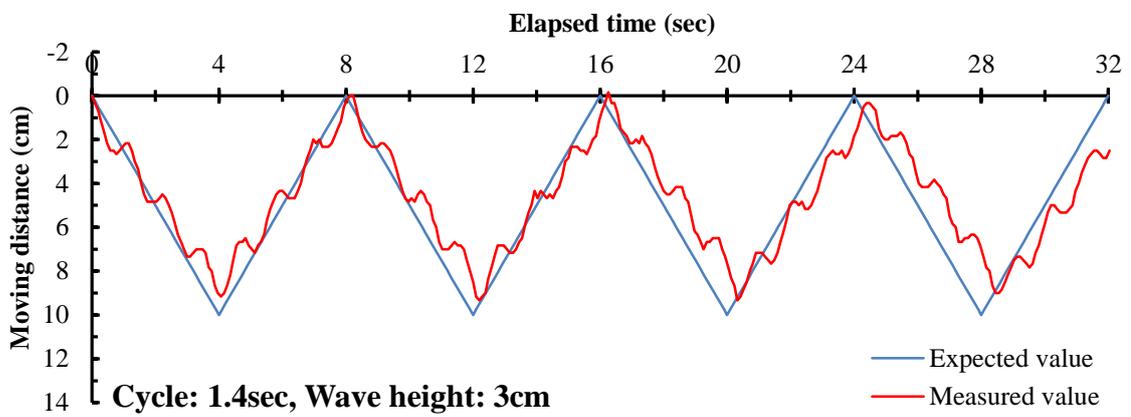
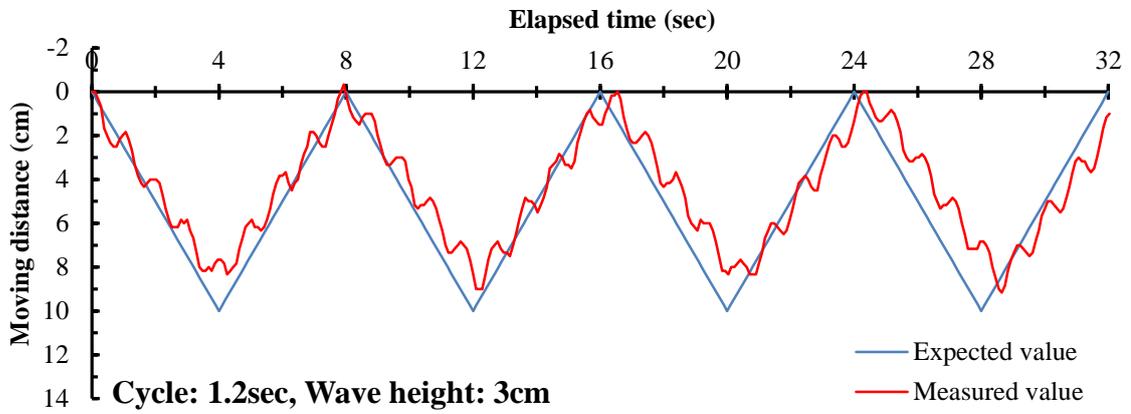


Fig. 3-14. Position change in the part of bait when the motor was controlled by position control system.

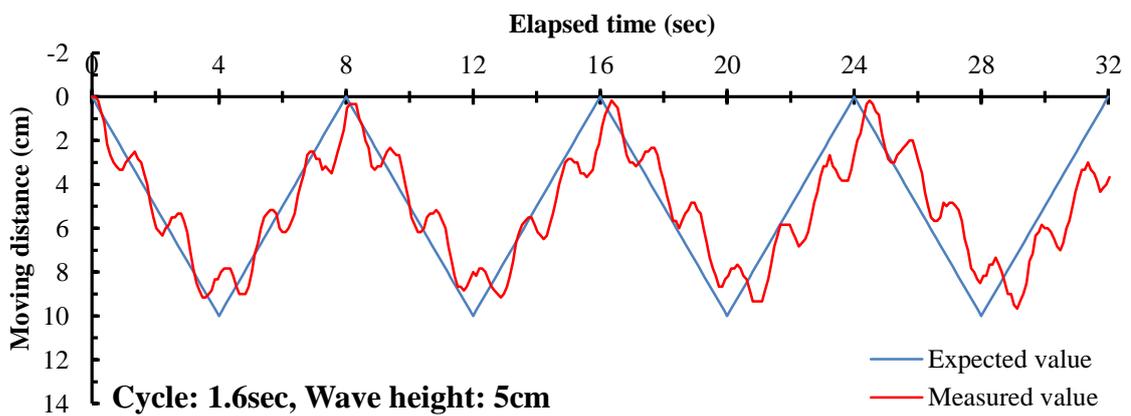
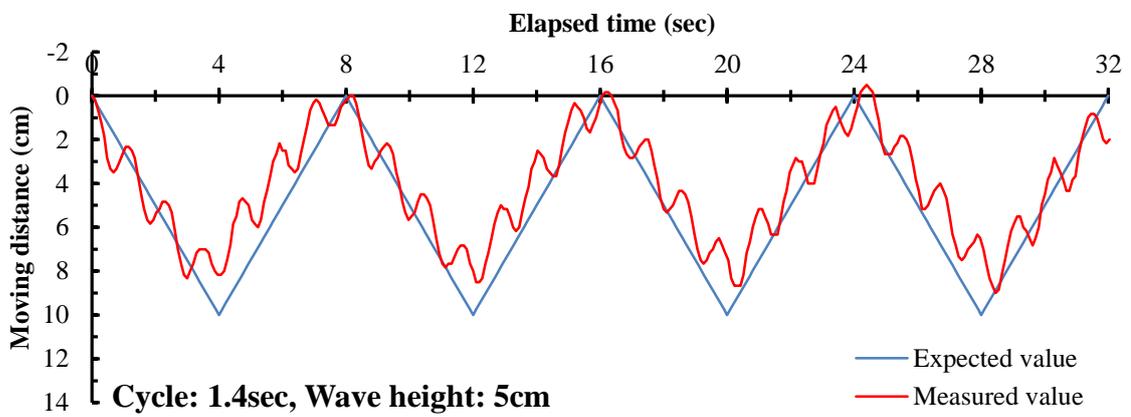
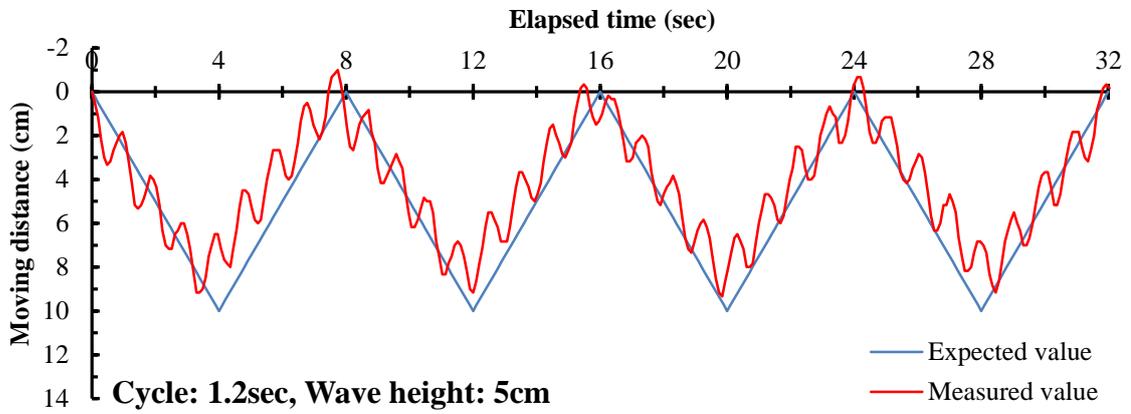


Fig. 3-15. Position change in the part of bait when the motor was controlled by position control system.

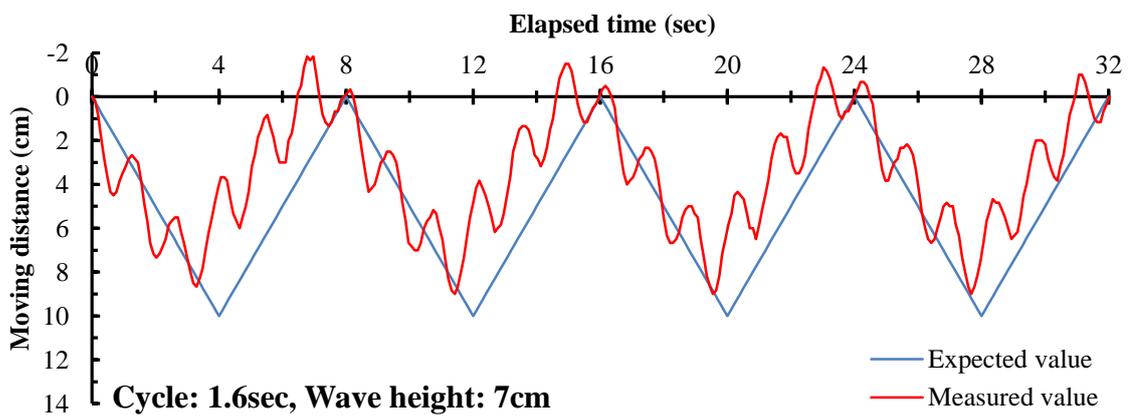
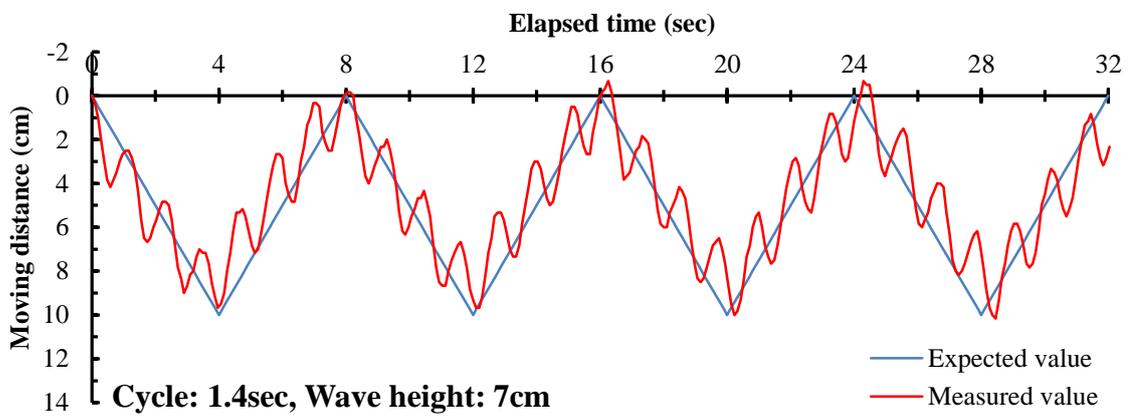
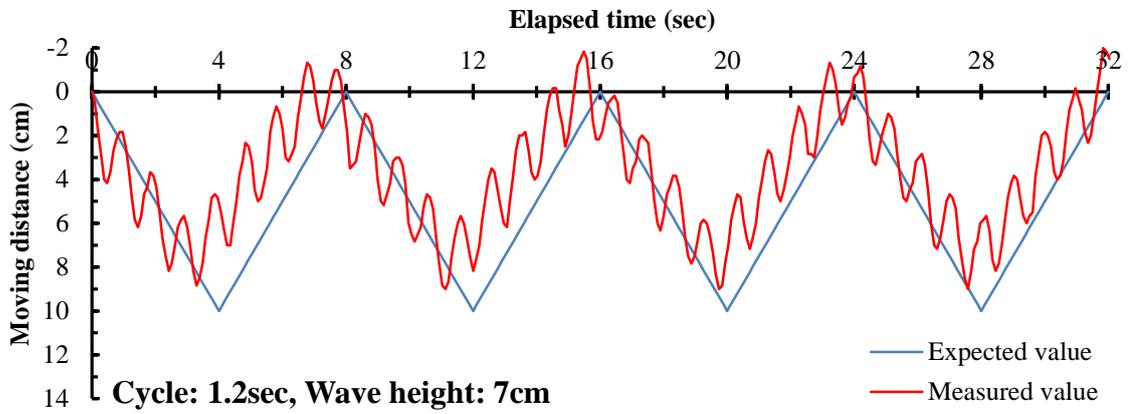


Fig. 3-16. Position change in the part of bait when the motor was controlled by position control system.

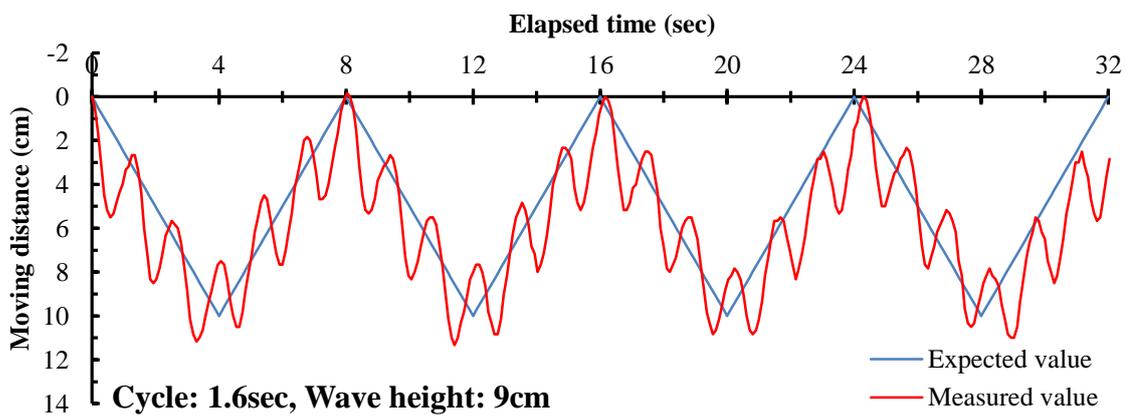
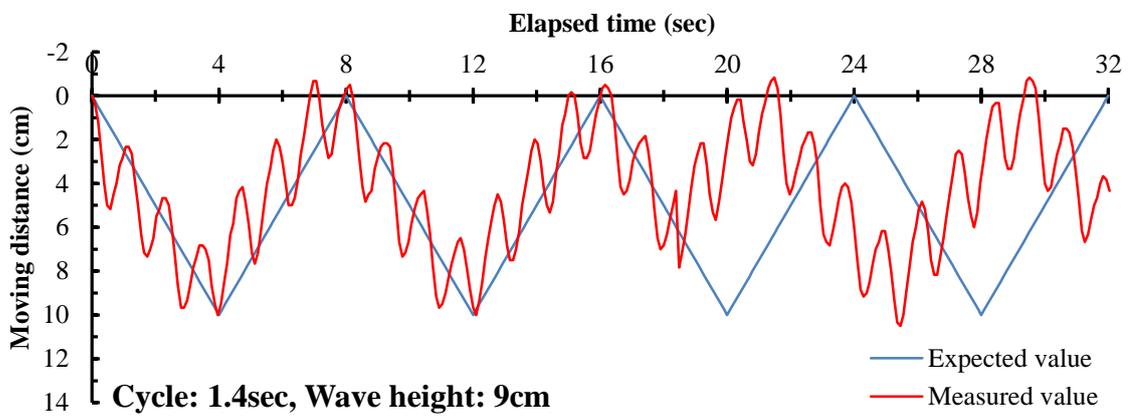
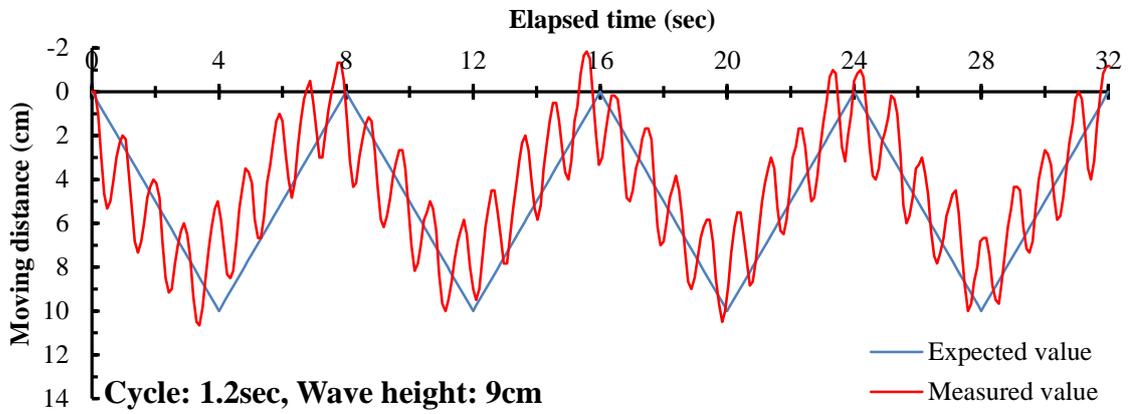


Fig. 3-17. Position change in the part of bait when the motor was controlled by position control system.

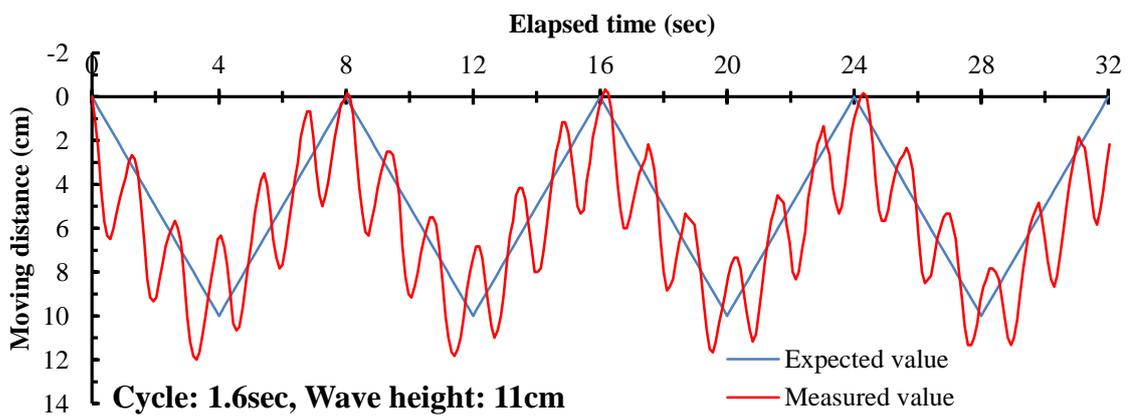
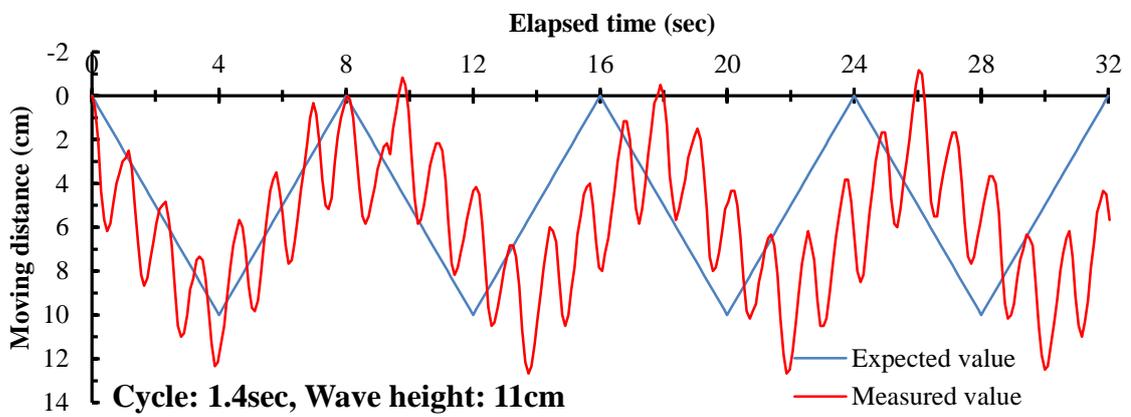
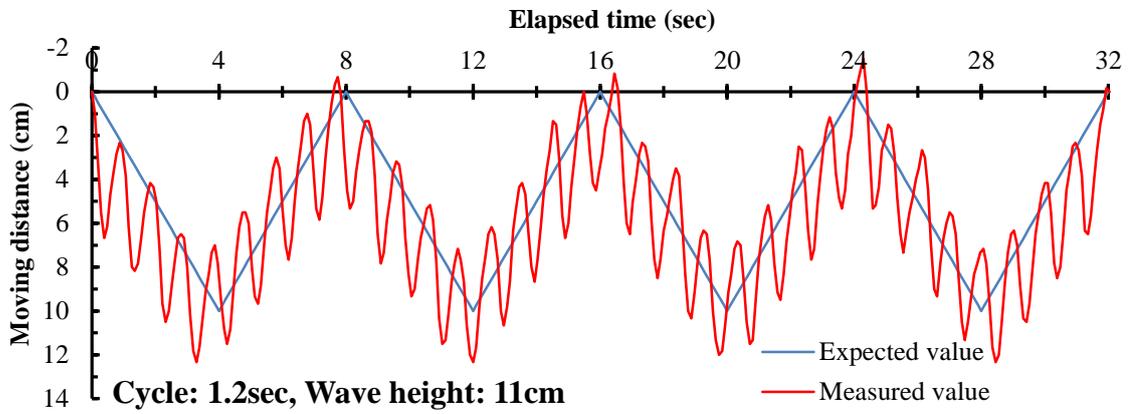


Fig. 3-18. Position change in the part of bait when the motor was controlled by position control system.

3.3 고찰

모형 제어시스템을 제작하여 모터에 의한 미끼의 제어를 실시하여 비디오카메라로 촬영하고, 컴퓨터로 좌표를 읽은 결과 미끼의 운동에서 상승과 하강의 사이에 설정한 목표 값과는 방향의 전환에서의 차이가 발생했다. 이것은 모터가 낚싯줄을 감을 때와 풀어줄 때의 사이에 시간의 지연이 있는 것과 미끼의 저항에 의한 속도의 차이에 의한 것이라고 생각이 된다. 그리고 위치 제어를 하지 않았을 때와 했을 때에는 후자의 성능이 우수하여 이러한 시간이 지연되는 현상이 줄어들었다. 이후 이 시간이 지연을 수정하여 가속 또는 감속 등을 하는 방법을 검토하여 추가할 필요가 있다고 생각된다.

조파수조의 실험에서는 모형제어시스템과 미끼를 연결하는 낚싯줄에 작용하는 장력이 제어에 중요한 요소라는 것이 밝혀졌다. 이 연구에서의 피드백 제어가 아닌 제어시스템에서는 장력이 작용하는 경우에는 어느 정도 제어가 되었지만 장력이 작용하지 않는 경우에는 제어가 불가능했다. 피드백 제어시스템을 제작할 때에도 이 장력이 가장 중요한 요소가 될 것이라고 예상된다. 이것은 낚싯줄이 유연한 소재이고, 낚싯줄에 작용하는 장력과 미끼에 작용하는 장력이 반대 방향이 되는 것이 많기 때문이다. 이후 실용화를 할 때에는 낚싯줄의 소재 등에 관한 고려도 필요할 것이라고 생각된다.

파고가 3 cm 부터 11 cm 로 높아지는 것과 파의 주기가 1.4 초부터 1.0 초로 짧아지면 미끼의 움직임이 복잡하게 되어 목표로 하는 진폭과는 차이가 발생하였다. 파의 주기가 1.0 초의 경우에 파고가 3 cm, 5 cm, 7 cm, 9 cm 및 11 cm 일 때의 관찰된 진폭의 목표 값과의 차이는 각각 1.3 cm, 0.8 cm, 0.1 cm, 1.3 cm 및 3.1 cm 이었다. 파의 주기가 1.2 초의 경우에 파고가 3 cm, 5 cm, 7 cm, 9 cm 및 11 cm 일 때의 관찰된 진폭의 목표

값과의 차이는 각각 0.5 cm, 1.4 cm, 0.0 cm, 0.1 cm 및 4.8 cm 이었다. 파의 주기가 1.4 초의 경우에 파고가 3 cm, 5 cm, 7 cm, 9 cm 및 11 cm 일 때의 관찰된 진폭의 목표 값과의 차이는 각각 1.3 cm, 0.7 cm, 0.3 cm, 1.1 cm 및 1.7 cm 이었다. 파의 주기가 1.0 초의 경우의 목표 값과의 차이는 평균 1.32 cm 이었고, 파의 주기가 1.2 초의 경우의 목표 값과의 차이는 평균 1.36 cm 이었으며, 파의 주기가 1.4 초의 경우의 목표 값과의 차이는 평균 1.02 cm 이었다. 이와 같이 파도의 영향으로 목표로 하는 창오징어의 대표적인 운동 주기와 운동 진폭이 재현되지 않았다. 실제의 조업 환경을 생각하면 조파수조와 같이 규칙적인 파도가 아닌 불규칙적인 파도가 예상되어 더욱 거친 환경에서의 제어가 필요하다고 생각된다. 그러나 실제의 제어시스템의 제작에는 창오징어의 상승속도가 하강속도보다 빠른 불규칙적인 운동인 것을 고려할 필요가 있다고 생각된다. 그리고 실제의 조업 환경에서는 파도 이외의 조류 및 지형적인 영향에 의한 불규칙한 파도 등의 외력이 많이 작용할 것으로 예상된다. 이것도 고려하여 외력의 영향을 받아도 자동적으로 미끼의 위치를 제어 시키는 시스템을 제작할 필요가 있다.

연승어업에 이 연구에서의 시스템을 적용하기 전에는 연승어구의 구조를 고려하여 제어시스템을 소형화 할 필요가 있다. 실험에 사용한 모형시스템의 형태로는 조업 현장에 적용이 불가능하다고 판단된다. 따라서 어민들의 의견을 청취하고 제품의 제작에 반영할 필요가 있다고 생각된다.

여기에서의 결과로 새로운 어획시스템의 제작의 가능성이 확인되었고, 이 제품으로 참돔의 어획 가능성이 기대된다. 그러므로 실용화를 위해서는 시제품을 제작하여 실제 조업 현장에서의 어획 시험을 통하여

실용화의 여부를 최종 판단할 필요성이 있다고 판단된다. 또한 이 연구의 흐름을 활용하여 다른 어종에 적용하게 된다면 어업 현장에서 폭 넓게 활용이 될 것이 기대된다.

제 4 장 종합고찰

어업은 과거에서 현대로 오는 과정에서 어선과 어구의 규모가 대형으로 되면서 조업과정에서의 첨단장비의 도입으로 발전해왔다. 그러나 제주도 연안의 연승어업의 경우는 어선의 척수가 적고 영세적이어서 다른 어업에 비하여 첨단장비의 도입이 늦어지고 있다. 이 제주도의 연승어업은 지금까지는 어족자원이 풍부하여 종래의 어구와 어법으로도 어류의 어획에 큰 문제점은 없었다. 그렇지만 자연환경의 변화, 인력난, 조업경비의 증가 및 어류의 남획에 의한 자원감소 등의 문제에 직면해 있다. 이 때문에 연승어업의 현장에서는 이러한 여러 가지의 문제점을 해결해 주기를 바라는 제안이 많이 있었다.

이러한 실정으로 이 연승에서는 제주도에서 중요한 산업으로 위치하고 있는 소규모의 참돔 연승어업을 대상으로 하여 조업에 참여하여 전반적인 실태에 대한 조사를 실시하였다. 여기에서는 창오징어의 생사에 따라 어기가 한정되는 문제점이 있는 것이 확인되어 그 문제점을 해결하는 방법을 검토하였다.

제 1 장에서는 연승어구가 수중에 투승된 상태를 모식적으로 재현하여 창오징어의 움직임을 분석하여 대표적인 운동을 밝혀냈다. 여기에서는 창오징어의 행동이 6 개의 패턴으로 구성되었고, 이 중에서도 연직방향의 규칙적인 주기운동이 대표적인 운동이라는 것이 확인되었다. 이 대표적인 운동을 주파수분석방법 (FFT) 으로 분석한 결과 창오징어는 8 초 주기, 10.8 cm의 진폭으로 상하운동하고 있었다. 이 분석결과는 이 연구의 최종목표인 새로운 어획시스템의 개발에 미끼의 재현목표 값으로써 활용한다.

제 2 장에서는 제 1 장에서 밝혀낸 창오징어의 대표적인 운동의 적합성을 검토할 필요가 있다고 판단해 참돔의 섭식행동의 유발효과를 밝혀냈다. 이에 의해 창오징어의 대표적인 운동이 참돔에 대한 시각자극이 되어 물체가 움직이지 않을 때에 비하여 움직일 때에 참돔의 섭식행동의 유발에 효과적이라는 것이 확인되었다. 새로운 어획시스템에서 창오징어의 대표적인 운동을 재현하는 것으로 참돔의 어획이 가능할 것이라고 생각된다. 그리고 창오징어를 대신하여 루어를 물체로 사용한 경우에도 섭식행동의 유발효과가 있었다. 냄새가 나는 오징어 미끼보다 섭식행동의 유발효과는 좋지 않을 것이라고 가정한 루어에도 효과가 있는 것이 밝혀졌다. 생 미끼를 사용하고 있어 조업 경비의 부담되고 있지만 이후 루어를 개발하여 조업 경비를 줄이는 방법에 대한 검토도 필요하다고 생각된다.

제 3 장에서는 창오징어의 대표적인 운동을 기계적으로 제어하는 방법과 실용화의 가능성을 확인했다. 연승어구를 대신하여 선상에 설치하는 모형 어획시스템을 제작하여, 수조 실험을 통하여 제어 모델을 제작하였다. 그 결과, 미끼의 위치 제어가 가능하였지만, 등속도운동이 아닌 불규칙한 운동이었다. 그러나 파도 등의 외력이 있을 때에도 창오징어의 운동이 가능할 것이라고 판단되었다.

참돔의 어획에 대해서는 제 1 장에서 창오징어의 운동의 하강속도보다 상승속도가 빠른 등속도 운동이 아니고 약 63°방향의 운동이었다는 것과 제 2 장에서는 창오징어의 운동 (0.125Hz 주기, 10cm 진폭) 을 등속도 운동으로 재연한 경우에 참돔의 섭식운동이 유발되는 것이 확인 되었지만, 어획으로는 연결되지 않았다. 어민들은 지깅 동작을 할 때에 참돔의 반응을 손으로 느끼면서 속도를 조절하거나 멈추는 것으로 어획효율을 높이고 있고, 주기적인 등속도 운동으로는 참돔의 어획이 어렵다고

말하고 있다. 이것은 제 1 장과 제 2 장의 결과와 일치한다. 이것은 이후의 실용화에 있어서는 과제로 남는다.

새로운 어획시스템의 형태와 규모는 이 연구를 시작할 즈음에 연승어구의 규모가 다른 어구에 비하여 작고, 가는 낚싯줄과 로프로 구성되었기 때문에 어구의 운용에 방해가 되지 않도록 어구의 규모에 맞춘 형태와 규모를 고려하여 제작할 필요가 있다고 생각했다. 이후 연구를 진행하며 시작품의 제작과정에서 참돔을 어획하는 힘을 내기 위한 기계를 수중에 설치하는 것은 기술적인 부분과 비용적인 부분에서 현실적으로 곤란하다는 것을 알게 되었다. 따라서 실용화의 과정에서는 5 톤 정도의 어선에 4~6 대의 설치가 가능하도록 하여 연승어구에 설치하는 것보다 운용이 간단하고 제작 비용이 저렴하게 하는 것이 바람직하다고 생각된다.

새로운 어획시스템에 사용하는 어구는 현재 사용하고 있는 참돔을 어획하기 위한 외줄낚시를 그대로 사용한다. 여기에는 낚싯바늘 3 개를 매달아서 새로운 어획시스템을 4 대 사용하게 되면 낚싯바늘 12 개의 사용이 가능하다. 이렇게 하게 되면 이 연구의 대상으로 하였던 기존의 참돔 연승어구의 1 광주리의 낚싯바늘의 개수와 비슷하게 된다.

조업방법의 개선에서는 지금까지의 참돔 연승어업의 조업방법이 저녁에 미끼로 사용할 창오징어를 어획할 필요가 있었는데 새로운 어획시스템은 살아있는 창오징어 대신에 루어나 죽은 창오징어를 사용하기 때문에 조업 전에 미끼를 어획할 필요가 없어진다. 이렇게 되면 아침과 저녁 하루 두 번의 조업이 가능하게 된다. 이러한 것으로부터 조업시간의 단축과 조업횟수가 증가되어 조업의 효율이 높아질 것이라고 생각된다.

이 연구의 성과로써 개발되는 새로운 어획시스템은 참돔 연승어업만이 아니라 넓은 범위에서 활용될 것이 기대된다. 이 어획시스템을 응용하는

것으로 다른 어종을 대상으로 하는 연승어업에도 활용이 가능할 것이라고 생각된다. 대부분의 연승어업에서는 움직이지 않는 미끼를 사용하여 조업을 하고 있는데 이 방법에 의하여 제 2 장에서 밝혀낸 것과 같이 어획효율이 높아질 수 있을 것이라고 생각된다. 그래서 개발할 새로운 어획시스템을 활용하여 다른 어획 대상어종의 어획에 가장 좋은 운동주기와 진폭으로 미끼를 강제적으로 움직여주는 것으로 타 어종에도 사용이 가능할 것으로 생각된다.

어법의 개량에는 지금까지 한국의 어업에서는 일반적으로 대상어를 어획하는 방법이 종래의 방법 하나밖에 없다고 생각해왔다. 그래서 다른 어법의 개발에는 소극적이었으나 이 연구에 의하여 적극적인 어법의 개발이 이루어질 것이 기대된다. 연승어업 이외에도 새로운 어획시스템을 도입하는 것으로 적극적으로 어류를 어획하는 방법으로서의 개량의 가능성이 이 연구에서 시사되었으므로 넓은 범위의 어업에 적용이 될 것이라고 생각된다.

참고문헌

- 1) 朴正埴 : 濟州道海域における延縄漁具の構成に関して. 濟州大, 1979 ; 11 : 105-109.
- 2) 水産業中央会 : 2012年度漁業經營調査報告書. 2013 ; <http://www.kmi.re.kr/Contents.do?command=Detail&MENUID=dongt106>
- 3) 濟州特別自治道, 2013海洋水産現況. 2013, pp.46-56.
- 4) 国立水産科学院, 1995. 人工魚礁施設実績(1971-1990). pp.1-143.
- 5) 国立水産科学院, 2005. 人工魚礁施設実績(1971-2004). pp. 127.
- 6) 国立水産科学院濟州水産研究所, 2007濟州道人工魚礁漁場管理. 2008, pp.275-327.
- 7) Statistics Korea. 2013. 漁業總生産調査. http://kosis.kr/statisticsList/statisticsList_01List.jsp?vwcd=MT_ZTITLE&parentId=F.
- 8) 濟州特別自治道統計年報, 水産物販売高. <http://www.jeju.go.kr/contents/index.php?mid=01090514>.
- 9) National Fisheries Research & Development Institute (NFRDI). 2000. Commercial mollusks from the fresh water and continental shelf in Korea. Kudeok, Busan, 176.
- 10) Lee BG, Park SE and Kim JK. 1985. An introduction to coastal fishery. Taehwa, 108-111.
- 11) 濟州水産研究所, 2008濟州道人工魚礁漁場管理報告書. 2009, pp.18-31.
- 12) 田村保: スズキ幼魚の摂餌感覺. 日水誌, 1952 ; 17 : 296-300.
- 13) 高山剛, 長谷川誠三, 桜井泰憲, 稲田博史, 有元貴文 : 暗環境下の飼育水槽中におけるスルメイカの行動觀察. 日水誌, 201

- 3 ; 79 : 960-967.
- 14) 四方崇文, 持平純一, 三木智宏, 渡部俊広 : イカ釣り操業船周囲におけるスルメイカの行動特性. 日水誌, 2014 ; 80 : 9-15.
- 15) Bong Seong Bae, Eui Cheol Jeong, Hae Hoon Park, Dae Soo Chang, Yong Su Yang : Behavioral characteristic of Japanese flying squid, *Todarodes pacificus* to LED light. 韓国漁業技術学会誌, 2008 ; 44 : 294-303.
- 16) Young Il An, Hak Geun Jeong, Bong Man Jung : Behavioral reaction of common squid *Todarodes pacificus* to different colors of LED Light. 韓国漁業技術学会誌, 2009 ; 45 : 135-143.
- 17) 工藤孝也, 山岡耕作 : 天然マダイおよびチダイ稚魚のなわばり形成場所と摂食行動. 日水誌, 1998 ; 64 : 16-25.
- 18) 島本信夫, 渡辺淳 : 瀬戸内海東部海域におけるマダイの食性とその季節変化. 日水誌, 1994 ; 60 : 65-71.
- 19) 岡田啓介 : 黄海産若齢マダイの摂餌生態について. 日水誌, 1965 ; 31 : 999-1005.
- 20) Sung Hoi Huh, Ha Won Kim, Gun Wook Baeck : Feeding habit of red sea bream, *pagrus major* in the coastal waters of busan, Korea. Korean J. Ichtyol, 2006 ; 18 : 216-222.
- 21) 首藤宏幸, 東幹夫, 畔田正格 : 志々伎湾におけるマダイとヨコエビ類との食う-食われる関係の日周変化. 日水誌, 1987 ; 53 : 1567-1575.
- 22) 小島隆人, 岩下亜記, 水野薫, 添田秀男 : ナイロンテグスで締め付けられた魚の心拍変動の自己回帰解析による生体負担度推定. 日水誌, 1998 ; 64 : 999-1005.

- 23) 三浦汀介：FFT法による擬餌鉤の振動解析．日水誌，1980；4
6：925－928.
- 24) Taeg-Yun Oh, Hyung-Kee Cha, Dae-Soo Chang, Choul-Hee Hwang,
Yun-Ju Nam, Seok-Nam Kwak, Min-Ho Son：Seasonal variation and
species composition of fishes communities in artificial reef unit at
marine ranching area in the coastal waters off Jeju island, Korea.
韓国漁業技術学会誌，2010；46：139－147.
- 25) Jae-Bong Lee, Taeg-Yun Oh, In-Ja Yeon, Byung-Yeob Kim, Hyeon-
Ok Shin, Bo-Kyu Hwang, Kyung-Hoon Lee, Yoo-Won Lee：
Estimation of demersal fish biomass using hydroacoustic and catch
data in the marine ranching area (MRA) of Jeju. 韓国漁業技術学会
誌，2012；48：128－136.
- 26) 末広恭雄．漁撈．「水産ハンドブック」 東洋経済新報社，東
京．1978；264.
- 27) 石崎宗周，北岡宏，西隆明，不破茂，江幡恵吾：キャンバスカ
イトを用いた曳網漁具の水深制御に関する模型実験．鹿児島大
学，2002；51：11-18.
- 28) 矢野和成，阿部寧：小型メモリー式水深計を用いたマグロ延縄
漁具の深度測定．日水誌，1998；64：178－188.
- 29) Dong-Gun Jeong, Hong-Kil Rho：済州道沿近海漁業の実態と
問題点および発展方向．済州大，1997；21：199-216.
- 30) 南茂夫：科学計測のための波形データ蝶理処理，CQ出版社，
東京，1986，pp. 86-165.
- 31) 小川智哉，渋谷道雄，渡邊八一：Excelで学ぶフーリエ変換，
東京，2002，pp.192-196.

- 32) トランスショナル・カレッジ・オブ・レックス：フーリエの冒険，東京，1988，pp.2-138.
- 33) 日野幹雄．「スペクトル解析」 朝倉書店，東京．1977；193-210.
- 34) 藤井光昭：時系列解析，東京，1974，pp.141-178.
- 35) 志賀未知瑠，胡夫祥，伊東功道，塩出大輔，東海正：中立ブイ装着まぐろ延縄漁具の水中形状に及ぼす流れの影響．水産工学，2008；44：185-195.
- 36) 幅野明正，安楽和彦，松岡達郎，東政能，清水弘文，井上喜洋：マグロ延縄の表層付近での沈降運動．日水誌，2004；70：48-53.
- 37) 胡夫祥，志賀未知瑠，横田耕介，塩出大輔，東海正，酒井久治，有元貴文：まぐろ延縄の釣針沈降特性に及ぼす枝縄構成の影響．日水誌，2005；71：33-38.
- 38) 伊奈和夫，領木決一，東久美．マダイ (*Chrysophrys major*) の色に対する反応性．日水誌 1979；45：1-5.
- 39) Fernö A, Huse I. The Effect of Experience of the Behavior of COD (*Gadus Morhua L.*) Towards a Baited Hook. *Fish. Res* 1983；2：19-28.
- 40) 李春雨，五十嵐脩蔵，見上隆克，山下成治．スケトウダラの餌と餌付き釣針に対する行動と釣針形状．日水誌 1989；55：1553-1558.
- 41) 秋山清二，安田浩二，有元貴文，田原陽三．曳縄漁具に対する魚の行動の水中観察．日水誌 1995；61：713-716.
- 42) 塩原泰，有元貴文．マダイの視力の照度による変化と網膜順応状態．日水誌 2003；69：632-636.

- 43) 畑中宏之.トラフグ稚魚の成長と尾鰭の形状に及ぼす飼育水槽の色, 照度及び飼育密度の影響. 日水誌 1997 ; **63** : 734-738.
- 44) Fernö A, Solemdal P and Tilseth S. Field studies on the behaviour of whiting (*Gadus merlangus* L.) towards baited hooks. *Fiskeridirektoratets Skrifter Serie Havundersøkelser* 1986;18:83-95.
- 45) 岡田啓介.黄海産若齢マダイの摂餌生態について. 日水誌 1965 ; 31 : 999-1005.
- 46) 有元貴文. 「魚はなぜ群れで泳ぐか」大修館書店, 東京. 2007.
- 47) Kawamura G, Miyagi M, Anraku K. Retinomotor Movement of All Spectral Cone Types of Red Sea Bream *Pagrus major* in Response to Monochromatic Stimuli and UV Sensitivity. *Fish. Sci.* 1997; 63: 233-235.
- 48) Shiobara Y, Akiyama S, Arimoto T. Developmental Changes in the Visual Acuity of Red Sea Bream *Pagrus major*. *Fish. Sci.* 1998; 64: 944-947.
- 49) Petrell RJ, Shi X, Ward RK, Naiberg A and Savage CR. 1997. Determining fish size and swimming speed in cages and tanks using simple video techniques. *Aquaculture Engineering* 16, 63-84.
- 50) Kazutaka Miyahara, Jun Hatayama, Yasushi Mitsunaga : Observation on the behavior of vertical longline gear used in the Japanese diamond squid(*Thysanoteuthis rhombus*)fishery using small depth loggers. *Fisheries Engineering*, 2007 ; 44 : 21-25.
- 51) 工藤孝也, 山岡耕作 : 天然マダイおよびチダイ稚魚のなわばり形成場所と摂食行動. 日水誌, 1998 ; 64 : 16-25.

- 52) 山岡耕作, 高木基裕, 山田徹生, 谷口順彦: 人工種苗放流マダイに見られるなわばり行動. 日水誌, 1991; 57: 1-5.
- 53) 岡本峰雄: マダイ音響馴致漁場における魚群の行動について. 日水誌, 1984; 50: 211-218.
- 54) 田村保: 視覚.魚類生理.恒星社厚生閣, 東京, 1970, pp.435-440.
- 55) Ik-Hyo Lee: A study on the installing condition of artificial fish reefs. Bull. yosu Nat'l. Univ., 1998; 13: 209-226.
- 56) 見上隆克, 山下成治, 管木清治. 2001. 自動いか釣機の巻上げドラム形状と釣針速の制御. 日水誌, 67(3), pp. 481-488.
- 57) 九州, 山口水試. 1972. 一本釣漁業. 恒星社, 東京, pp. 247-250.
- 58) 九州, 山口水試. 1977. 曳縄釣漁業. 恒星社, 東京, pp. 30-33.
- 59) 嶋村哲哉, 添田秀男. 1979. マグロ延縄漁業における漁具の浸漬時間, 浸漬時間帯と漁獲について. 日水誌, 45(9), pp. 1081-1084.
- 60) 不破茂, 石崎宗周, 橋口博仁, 今井健彦. 1999. アオリイカ擬餌針の漁具特性. 日水誌, 35(3), pp. 283-291.
- 61) 不破茂, 石崎宗周, 新屋敷, 宮本昌治, 今井健彦. 1996. アオリイカ擬餌針の運動. 日水誌, 33(2), pp. 97-103.
- 62) 小倉通男, 有元貴文, 井上喜洋. 1980. 沿岸底延縄漁業における浸漬時間と釣獲率. 日水誌, 46(8), pp. 963-966.
- 63) 奥谷喬司. 1980. 新.世界有用イカ類圖鑑. 全国いか加工業協同組合. pp. 26-37.
- 64) 奥谷喬司. 2005. 世界有用イカ類圖鑑. (株)成山堂書店, 東京, pp. 103-192.
- 65) 有元貴文, 小倉通男, 井上喜洋. 1983. 沿岸底延縄漁業における

- 漁具の浸漬時間日の影響. 日水誌, 49(5), pp. 705-709.
- 66) 有元貴文, 岩崎俊彦. 1983. 沿岸底延縄漁業における釣獲の垂直分布. 日水誌, 49(5), pp. 1479-1486.
- 67) 有元貴文. 1983. 沿岸底延縄漁業における枝縄間の釣獲水平分布. 日水誌, 49(12), pp. 1797-1802.
- 68) 坂詰博, 金盛浩吉. 1971. 曳縄釣漁業の研究-Ⅲ, 操業中に鉤にかかった魚の引きの強さについて. 日水誌, 37(10), pp. 953-959.
- 69) 平山信夫. 1969. マグロ延縄の漁獲機構に関する研究. IV. 漁獲作用の理論的取り扱い. 日水誌, 35(7), pp. 635-640.
- 70) 荒川久幸, 崔浙珍, 有元貴文, 中村嘉彦. 1996. 小型イカ釣り漁船の集魚燈光の海中放射照度分布. 日水誌, 62(3), pp. 420-427.
- 71) 稲田博史. 1988. イカ釣り操業船下の水中分光放射照度. 東水大研究報告, 75, pp. 487-798.
- 71) 김용익, 명정구, 김영변, 한경호, 강충배, 김진구, 유정화. 2005. 한국해산 어류도감. 도서출판 한글, 부산, pp. 190-191.
- 72) 국립수산과학원. 2010. 연근해주요어업자원의 생태와 어장, 국립수산과학원, pp. 256-267.
- 73) 國立水産振興院. 1967. 韓國漁具圖鑑. 亞成出版社, 부산, pp. 389-391.
- 74) 國立水産振興院. 1987. 漁具分類 및 各部名稱. 太和出版社, 부산, pp. 65-67.
- 75) 金盈蕙, 姜龍柱, 白哲仁. 1997. 韓國海域에 分布하는 오징어의 系群分析. 2. 形態學的 分析. 한수지, 30(5), pp 903-905
- 76) 金盈蕙, 姜龍柱. 1995. 韓國海域에 分布하는 오징어의 系群分析. 1. 群의 分離. 한수지, 28(2), pp. 163-173.

- 77) 김무상, 정우건. 2003. 수산동물의 생태. 아카데미서적, 서울, pp. 252-256.
- 78) 김석중, 김병엽. 2015. 수산법규해설. 제주대학교출판부, pp. 170-171.
- 79) 박용석, 김문관. 2000a. 연속식 갈치 채낚기 어구 개발에 관한 연구. 제주도 해양수산자원연구소 연구사업보고서, 창간호, pp. 33-46.
- 80) 박용석, 김문관. 2000b. 낚시의 침지시간에 의한 갈치 채낚기의 조획률 및 미끼탈락율. 제주도해양수산자원연구소연구사업보고서, pp. 6-16.
- 81) 박용석, 김문관. 2001. 갈치 채낚기용 양승기 개발. 제주도해양수산자원연구소연구 사업보고서, pp. 4-15.
- 82) 박용석, 이창현, 김고환, 김석중, 서두옥. 2000. 갈치 채낚기의 연속식 자동어구어법개발, 연속식 자동어구의 모형실험. 2000년도 추계학술대회, 한국어업기술학회, pp. 50-51.
- 83) 朴正植, 徐斗玉. 1982. 自動 曳繩釣 漁具에 試作. 濟州大學校 海洋資源, 6, pp. 41-46.
- 84) 朴正植, 林琦瑋, 徐斗玉. 1984. 自動 曳繩釣 漁具에 關한 研究. 國립수산진흥원연구보고, 32, pp. 41-50.
- 85) 徐斗玉, 鄭龍晉. 1985. 방어 自動 曳繩釣 漁具. 濟州大學校論文集, 21, pp 49-54
- 86) 徐斗玉. 1988. 濟州道沿岸의 갈치 채낚기 漁業에 있어서 集魚燈의 水中照度. 濟州大學校 海洋研究所 研究報告, 15, pp. 1-7.
- 87) 이병기, 박승원, 김진건. 1983. 연근해 어업개론. 태화출판사, 부산, pp. 105-106.

- 88) 제종길, 유재영, 손민호. 1990. 한국산 두족류에 관한 연구(I)
- Preliminary.
- 89) 국립수산과학원, 2006. 세계 유용 두족류도감. pp85-108, 155.
- 90) 제주도. 2015. 제주도 수산현황. p. 42.
- 91) 국립수산과학원, 2006. 수산자원회복대상종 생물정보DB자료
집. pp63-66
- 92) 催浙珍, 荒川久幸. 2001. 소형 오징어 채낚기 어선의 낚시 깊
이별 釣獲量과 수중 조도. 한수지, 34(6), pp. 624-631.
- 93) 催浙珍. 2002. 일본 소형 오징어 채낚기 어선의 톤수 및 집어
등 광원 출력과 어획량과의 관계. 한수지, 35(6), pp. 644-653.
- 94) 추해대, 안희춘. 1998. 오징어 채낚기 어업에 음향 이용시 어
획효과. 수진연구보고, 54, pp. 169-179.
- 95) 玄允基, 金鎮乾, 權炳國, 安熙璿. 1998. 오징어 채낚기 漁船用
물돛의 形態에 따른 水中抵抗. 韓國漁業技術學會誌, 34(4), pp.
39-45.
- 96) 안희춘, 추해대. 1993. 오징어 채낚기 집어등 광력 변화에 따
른 어획효과. 수진연구보고, 48, pp. 179-186.
- 97) 안희춘. 1997. 오징어 채낚기 어업의 Sea Anchor 개량 및 투양
묘 방법 기계화에 관한 연구. 농림수산특정연구사업 최종 연
구보고서, p. 208.
- 98) 안희춘. 2000. 오징어 채낚기 어선의 물돛 개발 및 유체역학
적 특성 연구. 부경대학교 대학원 박사학위논문, p. 86.
- 99) 서두옥, 정공훈, 김진건, 김삼곤, 김동수. 1995. 가청 수중음에
대한 오징어 어군의 위집. 어업기술학회, 31(3), pp. 220-227.
- 100) 서두옥, 정용진, 김석중, 이창현, 김고환, 박용석. 2000. 제주

도 연안 갈치 채낚기 어구의 생력화. 1. 연속식 채낚기 어구의 모형 실험. 濟州大學校 海洋研究所 研究論文集, 25, pp. 37-42.