

김 양식장 채취선의 운항거동과 수확조업에 관한 연구

김옥삼 · 민은비¹ · 황두진^{2*}

전남대학교 조선해양공학과 교수, ¹전남대학교 수산과학과 학생, ²전남대학교 해양기술학부 교수

A study on the harvesting process and operating behaviour of working ships for farming laver

Ok-sam KIM, Eun-bi MIN¹ and Doo-jin HWANG^{2*}

Professor, Dept. of Naval Architecture & Ocean Eng., Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

¹Student, Department of Fisheries Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

²Professor, School of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

We analyzed the cutting mechanism of laver harvesting machine in the sea area near Gooam Port in Goheung, Jeollanam-do, and investigated the change and efficiency of laver collecting operation in the working ship. The laver working ship slides uniformly from the bow to the upper part of the laver collecting machine on the deck and cuts the wet laver attached to the bottom of the net at the blade of the harvesting machine. The laver farming net, which was loaded with laver turrets on the deck by gravity and collected primitives, consisted of a ship structure that led to the stern side and into the sea. The working ship operation is in harvesting process while driving in a S-shape that is separated by one space to efficiently collect the laver net. During laver working ship operation, the speed was 0.51 m/s in the access stage, 0.56 m/s in the harvesting stage, and 0.52 m/s in the exit stage. Considering the cutting edge life and production efficiency of the laver harvesting machine, it is appropriate to harvest 1.15 to 1.26 kg/rpm by operating at a rotational speed of about 700 to 800 rpm rather than forcibly harvesting the product at high speed. On the deck of the working ship, 959.7 kg of starboard and 1048.7 kg of center were 964.7 kg of port side. Based on the starboard, 9.3% of the central part and 0.5% of the port side appeared. The reason for this was due to the difference in harvest time according to the turning direction of the working ship.

Keywords: Farming laver, Working ship, Harvesting process, Operating behaviour

서론

우리나라 서남해의 전남 고흥부터 진도에 이르는 해역에는 겨울철에 냉수대가 형성되므로 주변 바다보다 1~3℃ 정도 해수 온도가 하강하여 양식 김(laver,

Porphyra tenera) 생육과 작황에 유리한 지리적 여건을 가지고 있다. 그 결과 전남의 양식 김은 2018년 기준(MOF, 2018)으로 9천 1백만 속을 생산하여 전국의 77%를 차지하였고, 충남은 8.3%인 1천 1백만 속을 수확하여

*Corresponding author: djhwang@jnu.ac.kr, Tel: +82-61-659-7126, Fax: +82-61-659-7129

두 지역에서 1억 2백만 속(KOSIS, 2018)의 김을 생산하여 전체 85.3%를 차지하고 있다. 이와 같이 많은 양식 김을 수확하기 위해 대부분의 김 양식 어민들은 Kim (2013)이 개발한 생김 채취기계(Kim et al., 2019)를 사용한다. 원리는 채취기계 위로 김 양식 그물이 지나가도록 유도한 다음, 내부의 원통형 폴리 디스크에 부착된 스크류식 절삭 칼날이 회전하면서 김 양식 포자가 붙어서 생육하고 자라나고 있는 부착된 생김(물김)을 중력 방향으로 자동 절삭된다. 채취기계 본체는 인력 또는 유압으로 전후 이동거리를 조절하면서 작업선 갑판 전체에 고르게 김이 수확 및 적재하는 과정에서 생김 생산지에서 이루어지고 있는 양륙 작업의 현장실태를 파악하고 생김 양륙 및 중량자동 측정 시스템을 적용하여 생김의 양륙 작업 효율화와 간소화를 위한 자동화 시스템(Min et al., 2020)에 관한 연구도 이루어졌다. 그러나 생김 채취작업 과정에서 작동하는 생김 채취기계에 양식 김을 수확하는 작업선 운항과 조업효율에 관한 연구가 부족하여, 과거부터 해 내려오던 관행적 방법으로 김 채취 방법이 전남 해역부터 군산 신시도 및 경기 화성 궁평항까지 남해안과 서해안에서 광범위하게 이루어지고 있다.

여기서는 전남 고흥 구암항 인근 해상에 있는 잇바디 돌김 양식장의 김 채취공정의 절삭에 대한 해석과 작업선 운항 및 수확조업 조건에 따른 생김 채취량 변화 등에 관하여 실험 결과를 통한 분석과 고찰을 하여, 향후 김 양식에 종사하는 어민들의 안전한 선박 운항요령 숙지와 채취기계의 효과적인 사용에 도움이 될 수 있는 기초 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

해상의 생김 양식발장과 채취선박

전남 고흥 인근 해역에 있는 생김 양식장은 적합한 수심 10~15 m 바다에 Fig. 1과 같이 양쪽으로 각각 2개의 앵커(anchor)를 설치한 후, 대형 부자(Φ 930 mm×L 1,500 mm, 1,000 liter)를 부착시켜 김 양식 발장의 시작과 끝(Fig. 1 (a), A와 F점)의 표식으로 위치를 알 수 있게 하였다. 그 지점으로부터 50 m 거리 중간점(Fig. 1 (a)의 B와 E점)에 직경 20 mm 로프로 결박한 후, 각각 양쪽으로 10 m 떨어진 위치(Fig. 1 (a)의 C와 D점)에 소형 부자(Φ 350 mm×L 250 mm, 240 liter)를 양측에 설치한 PE (polyethylene) 파이프를 설치하였다. 김 유생 포자가 채도된 양식발장은 Fig. 1 (b)와 같이 양쪽 10 m 위치에 내부 공기가 충전되었고 마개로 봉입되어 있는 PE파이프 5개가 있다. 중앙부에는 20 m 간격으로 4칸이 있어 생김이 바다에서 자라고 있는 발장 전체 길이는 허가 조건과 일치시켜 100 m가 된다. 길이 215 mm, 직경 40 mm, 두께 1 mm인 PE파이프는 거친 겨울바다의 파도 속에서도 김 발장의 충분하고 지속적인 부력을 확보를 해야 하므로 기밀유지를 위해 양쪽에 마개가 억지 가열 끼워맞춤으로 밀봉되어 있다. 상하 205 mm 위치에 김 양식망 전개와 고정에 필요한 직경 Φ 5 mm 구멍이 위와 아래에 천공되어 있는데 이 구멍에 포자가 부착되는 김 그물을 고박하여 조류나 파도가 거칠어도 김발장이 팽팽하게 유지되고, 넓은 해면에서 김 포자의 포집 및 생육이 활발하게 이루어지도록 펼쳐져 설치되어 있다.

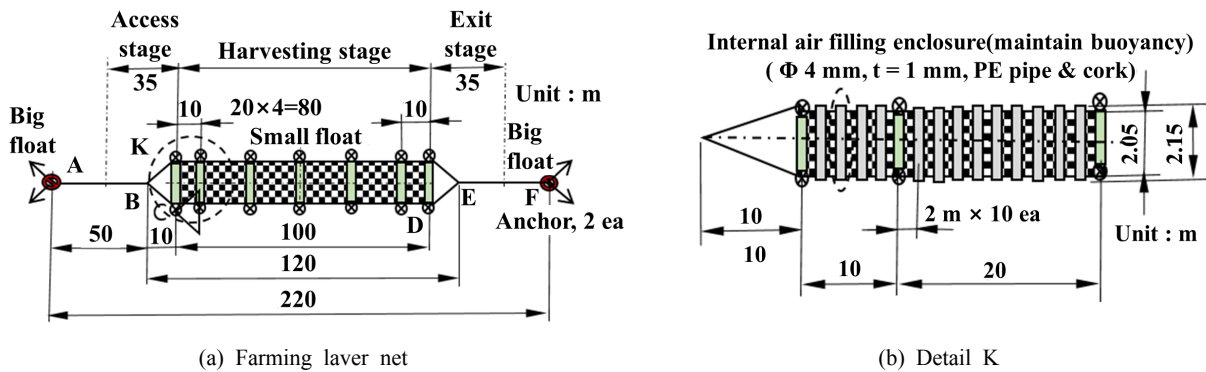
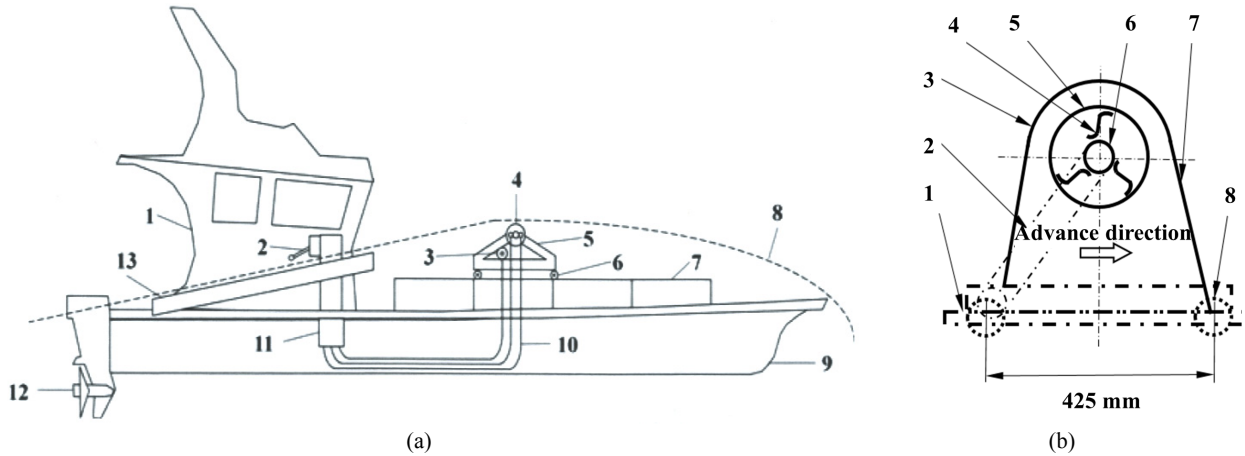


Fig. 1. Farming laver net in the sea.



(a) 1. Wheel house, 2. Lever, 3. Hydraulic motor, 4. Laver collection machine, 5. Frame of collection machine, 6. Roller, 7. Frame, 8. Net, 9. Operating ship, 10. Piping for hydraulic, 11. Hydraulic system of engine, 12. Propeller, 13. Exhaust passage of net
 (b) 1. Rail, 2. Belt, 3. Cover, 4. V-type cutter, 5. Disk with blade, 6. Rotating roller, 7. Protector of laver net, 8. Wheel

Fig. 2. A schematic diagram of the prototype installed on the operating ship and farming laver collection machine.

실험에 사용한 Fig. 2 (a)의 김 채취 작업선(전남 고흥 구암항, 해경호) 크기는 길이 15.05 m, 넓이 5.15 m, 흘수 0.86 m, 총 톤수 9.77 톤이다(Min et al., 2020). 채취선 선미에 선외기(220 PS), 엔진식 유압 유니트, 선수에는 로프 인양장치 등이 장착되어 있다. 김 채취 작업선 선수에는 바닷물 속의 김 양식 발장을 지탱해주는 Fig. 1 (a)의 A-B 또는 E-F 로프를 갑판 위로 올리는 로프 인양장치가 있다. 김 채취선(Fig. 2 (a))은 선장의 조선(操船)에 의해 유지되던 항주력으로 Fig. 1 (a)의 A-B 또는 E-F 로프를 선수 위로 올리고, Fig. 2 (a)의 8에 해당하는 김 양식 그물이 선수부터 균일하게 프레임 위에 있는 김 채취기계(Fig. 2 (b))의 상단부로 미끄러지면서 진입한다. 채취가 끝난 김 양식 그물은 선미 측으로 이송 후, 스텐레스강(STS304) 구조물을 지나 다시 해면 속으로 입수된다. 우리나라 대부분의 김 양식장에서 사용하는 Fig. 2 (b)와 같은 롤러식 생김 채취기는 회전 롤러, V형 칼날, 전동 회전유닛, 유압구동 이송 장치, 간격조정 커버 및 생김 채취기가 김 양식망을 절단방지를 위한 방호책(防護柵)이 설치되어 있다.

통상적으로 약 500~1,100 rpm으로 회전하는 롤러의 바깥 둘레에, 같은 간격으로 설치한 3개의 V형 스크류 칼날이 순차적으로 회전을 하면서 중력방향으로 수하(垂下)된 생김 원초를 절삭한다. 실험에 사용된 생김 채

취기계의 롤러 길이는 3,300 mm, V형 칼날의 회전반지름은 725 mm, 칼날 1회전 당 최대 유효 절단각이 30°인 김 채취기계를 이용하여, 절삭 칼날의 회전속도(rpm)와 채취선의 운항속도와 갑판 적재장소에 따른 생김 수확량 변화를 고찰하였다.

채취 선박의 전후, 좌우 방향 및 위치와 속도제어를 위한 장치는 선교(bridge)에 있는 조이스틱(joy stick)이나 스티어링(steering)으로 선장이 조종할 수 있는데, 해황의 좋고 나쁨, 선박 조종 및 조작 숙련도 등에 따라 생김 수확에 소요되는 시간은 달라진다. 김이 생육되던 발장 아랫면에 붙어 있는 생김 원초를 채취기계의 스크

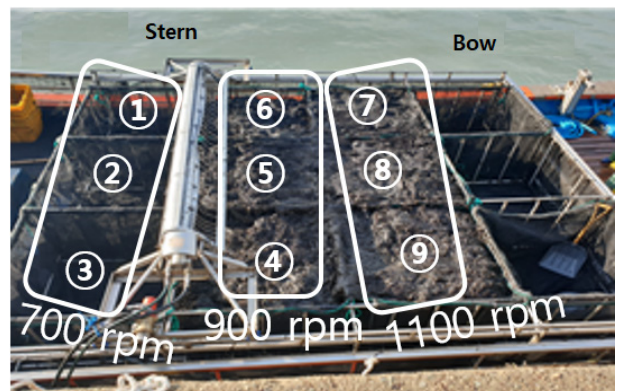


Fig. 3. Loading situation of deck on operating ship.

류식 칼날부에서, 절삭시커 중력으로 갑판 위 적재포대로 집결시킨다.

생김을 수확 후 적재하는 Fig. 3. 작업선 갑판에, 생김 적재포대를 쉽게 양륙할 수 있도록 스테인레스(STS 304) 파이프로 구간이 나누어진 프레임 칸은 총 9칸(①~⑨)의 구역으로 1칸 크기는 W 1,300×L 1,300×H 900 mm이며, 직경 25 mm, 두께 2.5 mm로 제작하였으며 프레임 9칸의 구역 1칸마다 같은 크기 생김 수거용 포대자루를 위로부터 삽입하고 플라스틱 클립(plastic clip)으로 사방을 고정하였다. 선미방향 3칸(①~③)에는 700 rpm으로, 중앙부 3칸(④~⑥)에는 900 rpm, 선수측 3칸(⑦~⑨)에는 1,100 rpm으로 절삭하여 수확한 생김을 적재하였다. 채취기구는 작업선 갑판의 좌우현에 위치한 프레임 위에 레일과 바퀴로 설치하였고, 유압제어 시스템을 연결하여 밸브 개폐여부에 따라 레일을 따라 선수(bow)와 선미(stern)방향으로 왕복이송을 할 수 있도록 하였다.

결과 및 고찰

생김 채취선의 운항과 조업거동

생김 채취선의 운항거동을 살펴보면, Fig. 1 (a)에 나타난 것과 같이 발장 진입단계(access stage) 35 m, 중앙부

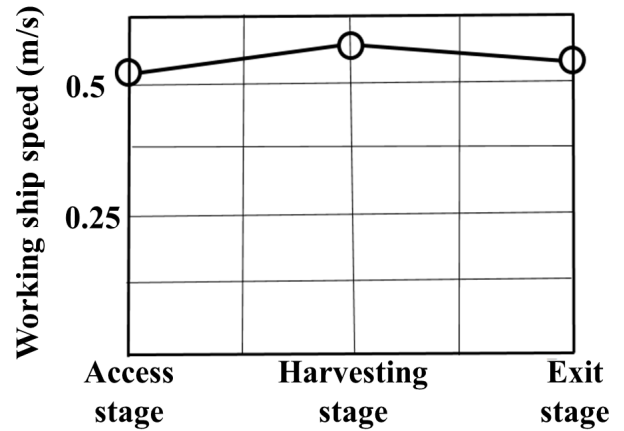


Fig. 4. Speed of working ships in the laver harvesting process.

Table 1. Required time of working ship in the laver harvesting process

Case	No.	Access time (s)	Harvesting time (s)	Exit time (s)	Total time (s)
I (700 rpm)	1	20.0	268.0	12.0	300.0
	2	15.3	214.0	14.0	243.0
	3	13.0	218.0	7.0	238.0
	4	14.0	220.0	8.0	242.0
	5	12.0	166.0	8.0	186.0
	6	11.0	164.0	7.0	182.0
	7	11.0	217.0	8.0	236.0
	8	12.0	160.0	7.0	179.0
	sum	108.0	1627.0	71.0	1806.0
av.	13.5	203.4	8.9	225.7	
II (900 rpm)	9	9.0	168.0	7.0	184.0
	10	11.0	209.0	8.0	228.0
	11	12.0	216.0	7.0	235.0
	12	14.0	168.0	8.0	190.0
	13	11.0	170.0	7.0	188.0
	14	13.0	210.0	10.0	233.0
	15	8.0	173.0	7.0	188.0
	16	10.0	161.0	8.0	179.0
	sum	88.0	1475.0	62.0	1624.8
av.	11.0	184.4	7.8	203.1	
III (1,100 rpm)	17	12.0	208.0	8.0	228
	18	12.0	215.0	9.0	236
	19	10.0	166.0	8.0	184
	20	11.0	172.0	9.0	192
	21	14.0	204.0	10.0	228
	22	11.0	213.0	8.0	232
	23	12.0	204.0	10.0	226
	24	13.0	162.0	9.0	184
	sum	95.0	1544.0	61.0	1700
av.	11.9	193.0	7.6	213.8	

의 채취단계(harvesting stage) 100 m 및 마지막 이탈단계(exit stage) 35 m를 항주하게 되는데, 중앙부의 채취단계는 처음부터 끝까지 모두 통과하지만, 진입단계와 이탈단계는 다음 채취할 발장위치에 따라 다소 달라질 수 있다. 채취선 운항 항로는 생김 생육발장을 효율적으로 채취하기 위해 한칸 거른 ⇌ 또는 S자 모양으로 변침하면서 이루어진다. 24회의 채취작업을 하는 동안 1회 유턴(u-turn)에 걸리는 평균 소요시간은 96초였다. 김 수확작업을 하는 동안 해저에 초음파를 보내 도플러효과로 멀어지는 소리와 가까워지는 소리와 의 파장 차이를 검출하여 선속을 계산하는 스피드 로그(speed log)로 측정된 채취선 평균속도는, Fig. 4와 같이 진입단계에서 0.51 m/s, 채취단계에서 0.56 m/s 및 이탈단계에서 0.52 m/s 였으며 발장 1개당 평균 항주속도는 0.53 m/s였다.

해황의 차이, 선박조종 및 운항 조작 숙련도에 따라 달라지겠지만, Table 1에 나타난 것과 같이 24개 발장을 수확하는데 필요한 전체 소요시간을 측정된 결과, 발장 진입시간 291초, 수확시간 4,646초 김발장 이탈시간 194초가 필요하였으며, 진입단계는 소요시간이 5.6%, 절삭단계 소요시간이 90.5%, 발장 이탈 소요시간이 3.9% 정도를 차지하고 있었다. Case I~Ⅲ와 같이 생김 채취기계의 회전속도(rpm)을 다르게 하였을 때 생김수확에 필요한 시간 차이가 발생하는 것은 작업선 운항과정에서 생김 채취과정 이외의 부속적인 선박거동으로 작업시간 편차가 발생했기 때문이다. 채취기계 칼날의 회전속도가 900 rpm인 Case II가 가장 짧은 작업시간인 전체 1,624.8초, 평균 203.1초가 소요되었는데, Case I과 Ⅲ에 비교하여 5~10%의 오차 범위를 나타내고 있다.

작업선 출발 항구(전남 고흥 구암항)에서 김 양식장까지 출항과 귀항에 34분 걸려서, 전체 144분(2시간 24분)이 소요되었고, 김 채취가 완료된 이후 90분 정도의 물 빠짐 시간이 경과한 다음 물김 자동 중량측정 시스템으로 측정한 잇바디 돌김 9포대(Fig. 3의 ①~⑨)의 전체 무게는 8,724 kg이었다.

채취기계의 칼날 회전속도에 따른 김 채취량 변화

김 엽체가 넓고 두터우며, 형체가 구불구불한 엽체가 많은 잇바디 돌김(일명, 곱창 김)에 대한 채취 및 수확량 측정실험을 물김 자동 중량측정 시스템(Min et al., 2020)으로 하였다. 채취기계의 칼날을 부착하고 있는 풀

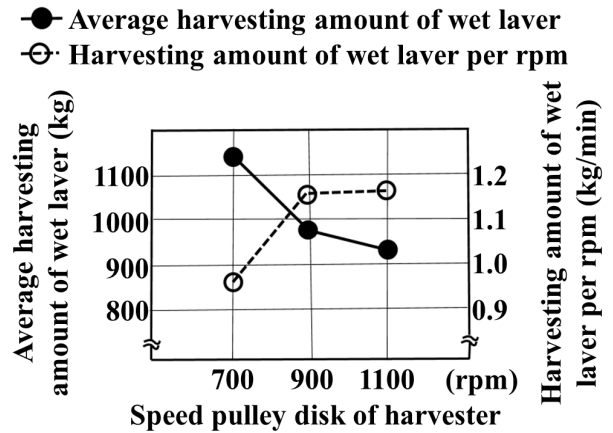


Fig. 5. Harvesting amount according to the cutter rotation speed (rpm).

리 디스크(pulley disk) 회전속도에 따라 생김 평균 수확량과, 회전속도의 단위시간 당 생김의 수확 무게를 나타내는 Fig. 5는 풀리 디스크가 분당 700회를 돌때 879.7 kg, 900회를 회전할 때 1,041.3 kg 및 1,100회 회전할 때 1,052 kg을 채취하였다. 회전수를 700회에서 900회로 증가시켰을 때 161.6 kg (18.4%) 수확량이 많아졌으나 900회에서 1,100회 구간은 10.7 kg (1%)의 소폭으로 늘었다. 각각의 풀리 디스크 회전속도에서 1회전당 물김 수확무게를 분석한 결과, 700회 회전에서는 회전당 1.26 kg, 900 회전에서는 1.08 kg 그리고 1,100회 회전에서는 1.03 kg인 것을 알 수 있었다.

채취선 갑판 적재위치에 따른 채취량 변화

Fig. 6은 생김 채취 작업선의 복원성과 운항과정의 횡경사(heeling)을 분석하기 위해, 선체 갑판 상의 우현(starboard), 중앙(center) 및 좌현(port)의 생김 적재위치에 따른 생김 수확량 차이를 나타낸 것이다. Fig. 2 (b)에서 우측이 선수 방향, 좌측이 선미방향일 때, 갑판 상 생김 채취 후 적재위치가 좌측(port)은 ①, ⑥, ⑦번 칸이고 중앙부(center)는 ②, ⑤, ⑧번 칸, 우측(starboard)은 ③, ④, ⑨번 칸이다. 여기서 ①, ②, ③ 구역은 700 rpm, ④, ⑤, ⑥ 구역은 900 rpm 및 ⑦, ⑧, ⑨ 구역은 1,100 rpm의 생김 채취 회전수로 수확하였다. 풀리 디스크의 채취 칼날 회전수가 700 rpm의 경우, 우현측에 893 kg, 중앙이 954 kg 좌현측이 792 kg이 수확되어 있으므로, 우현 기준으로 중앙부는 7% 증가하였고, 좌현은 11%

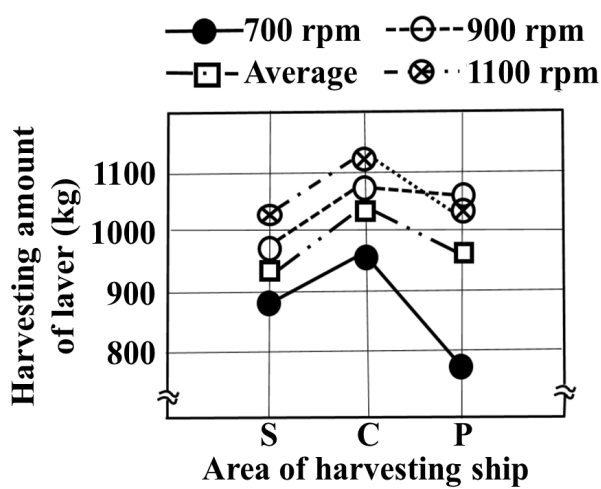


Fig. 6. Collection amount according to the operating speed of the harvesting ship.

감소하여 생김 작업선 좌우현 수확량 편차 최대값이 선박 횡경사(heeling)의 최대를 유발할 수 있으므로, 선장은 작업선의 조선(操船)에 신중을 기해야 한다. 칼날 회전수가 900 rpm일 때 우현측이 974 kg, 중앙부가 1,088 kg, 좌현측이 1,062 kg의 생김이 수확되었는데, 이 결과는 우현 기준으로 중앙부는 11.7%, 좌현은 9% 정도 채취량이 많은 것을 의미한다. 1,100 rpm 경우 우현이 1,012 kg, 중앙부가 1,104 kg 좌현이 1,040 kg의 생김이 수확되어 중앙부는 우현보다 9%, 좌현은 2.7% 증가하였다. 이와 같은 결과는 작업 채취선의 운항 경로에서 선회 회전방향에 따른 채취시간 차이에 기인하는 것과, 수확된 생김을 적재하는 프레임 길이보다 채취기계의 횡방향 길이가 길어서 채취된 생김의 좌우 유동이 발생한 것으로 사료되며, 향후 채취기계의 회전 속도를 고정하고 채취 횟수(실험 횟수)를 확대하여 결과를 분석하는 시도가 필요한 것으로 판단된다. 아울러 생김 채취선의 규모가 더 커지거나 채취량이 더 많아지는 경우는, 채취선 복원력 관리와 선폭방향 좌우 횡경사 편차저감 위해 계획하였던 생김 채취 작업량의 절반 정도가 진행되면, 채취선 선회방향을 반대로 바꾸어 수확을 계속하여 채취선 갑판위치에 따른 적재무게 차이를 줄이는 것이 겨울바다의 거친 파도 속에서 채취선 전복을 방지하고 안전한 생김 수확조업을 하는데 도움이 될 것이다.

결론

전남 고흥 구암항 인근 해역에 있는 잇바디 돌김 양식장의 롤러식 김 채취기계 절삭에 대한 해석과 작업선 운항조업에 따른 생김 수확량 변화 등에 관하여 규명하였다. 생김 채취선은 양식생김이 부착되어 있는 그물망을 채취선 선수부터 균일하게 채취기계 상단부로 미끄러지면서 진입시켜, 발장 아랫면에 붙어 있는 생김 원초를 채취기계 칼날부로 절삭하여 양륙용 운반포대에 적재시키고, 원초채취가 끝난 생김 양식망은 선미 측으로 이동시켜 바다로 입수되는 구조가 합리적이다.

생김 생육발장을 효율적으로 채취하기 위해 채취선 운항경로는 한칸 거른 S자 모양으로 변침하면서 수확하는데, 김 채취선 항주속도는 진입단계에서 0.51 m/s, 채취단계에서 0.56 m/s 및 이탈단계에서 0.52 m/s였고, 발장 1개당 평균 항주속도는 0.53 m/s였다. 김 채취기계의 칼날 수명과 수확량 생산효율 면을 고려하여 채취선 갑판상에서 수확된 생김의 적재 위치에 따른 수확 무게를 분석한 결과, 우현 959.7 kg, 중앙 1,048.7 kg 좌현 964.7 kg으로 나타났다. 우현을 기준으로 중앙부는 9.3%, 좌현은 0.5% 가량 생김 수확량 편차가 발생하였는데 이것은 채취선의 좌·우현 횡경사(heeling)에 부분적인 영향을 줄 것이다. 그 영향의 일부는 작업선 선회 진행방향에 따른 채취시간 차이에 기인하는 것이며, 생김 채취선의 규모가 더 커지거나 채취량이 더 많아지는 경우는, 채취선 선박의 횡 경사도와 갑판 상 적재위치 조정으로 채취선 복원성을 관리하는 것이 겨울바다의 거친 해황에서 작업 중 채취선 전복을 방지하고 안전한 생김 채취수확작업을 하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

사사

“이 논문은 2019년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원(kimst)의 지원을 받아 수행된 연구임(생김 자동이송장치 개발)”

References

Kim CW. 2013. Apparatus for gathering laver, Patent registration (20-2012-0008746).
 Kim OS, Hwang DJ and Yoo GB. 2019. Introduction to offshore production machinery. Green office supply. Chonnam Yeosu, 59-98.

Korean Statistic Information Service (KOSIS). 2018. Fishery production trend investigation, By fishery and Each variety statistics. Retrieved from <http://www.kostat.go.kr>. Accessed 16 June 2020.

Min EB, Yoon EA, Hwang DJ, Kim OS and Yoo GB. 2020. A study on the improvement of loading and unloading work in laver aquaculture industry. *The Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 56, 45-54. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2020.56.1.045>.

Ministry of Ocean and Fisheries (MOF). 2018. Import/Export Trade Statistics in Fisheries Information Service. Retrieved from <http://www.fips.go.kr>. Accessed 8 July 2020.

2020. 05. 08 Received

2020. 07. 08 Revised

2020. 08. 20 Accepted