

# 사육수온이 강도다리 치어의 성장에 미치는 영향

이기욱 · 한경식 · 임현정\* · 변순규†

국립수산과학원(연구원) · \*국립수산과학원(과장) · †국립수산과학원(연구관)

## Influence of Water Temperature on Growth of Juvenile Starry flounder (*Platichthys stellatus*)

Ki-Wook LEE · Gyeong-Sik HAN · Hyun-Jeong LIM\* · Soon-Gyu BYUN†

National Institute of Fisheries Science (researcher · \*director · †chief researcher)

### Abstract

This study aimed to investigate the optimal water temperature (low temperature; LT: 5, 8, 11 and 14°C, high temperature; HT: 17, 20, 23, 26 and 29°C) on growth of juvenile starry flounder. In the LT experiment, we used juvenile starry flounder averaging 19.3±0.1 g/fish (Mean ± SD) of body weight, in the HT experiment, the experimental fish averaging 15.8±2.7 g/fish (Mean ± SD) of body weight, and we reared the fish for 80 days. Survival of fish of LT group was >96.3%, and HT groups was >90.0% except for 29°C (48.0%). Feed consumption, feed efficiency, weight gain and specific growth rate (SGR) in 5°C was significantly lower than of fish reared at other temperature, and significantly higher weight gain was observed in 11 and 14°C than other temperature of LT group. Highest weight gain and SGR was observed in 17°C in HT group, and 29°C was significantly lower than of fish reared at other temperature. Visceral somatic index and hepatosomatic index were not significantly difference among the temperature. Considering these results, the optimal rearing temperature range for normal growth and feed efficiency of juvenile starry flounder is 11-20°C.

**Key words :** Water temperature, Starry flounder, *Platichthys stellatus*, Survival, Growth

### I. 서론

국내 양식 산업은 넙치와 조피볼락에 편중되어, 양식품종 다양화를 위한 노력으로 2000년대 초반 강도다리 양식기술을 개발하였다. 강도다리 (*Platichthys stellatus*)는 우리나라 동해 중부 이북에서 오힌크해를 거쳐 미국 남부 캘리포니아의 수심 400m 까지 서식하는 동계 산란 종으로 주로 낮은 수온지역에 서식하는 종이다(Chyung,

1977; Lim et al., 2007). 강도다리는 국내 동해안과 중국에서 주로 양식되고 있으며, 저수온과 염분 내성, 강한 질병 저항성 및 높은 수요로 인해 최근 해산 양식 대상 어종으로 많은 관심이 기울여지고 있다(Kim et al., 2019). 이에 따라, 강도다리에 관하여 국외에서는 PAHs (Polycyclic aromatic hydrocarbons)의 생물학적 영향(Stein et al., 1990), 은(Ag)에 대한 생리학적 영향(Hogstrand et al., 1999), 영양학적 연구(Ding et al., 2010; Ma et al.,

† Corresponding author : 033-660-8636, eastseaquaculter@korea.kr

\* 이 논문은 2020년도 국립수산과학원 수산과학연구사업 동해특산품종 양식기술개발(R2021006)의 지원으로 수행된 연구입니다.

2014; Wang et al., 2017) 및 자연산 강도다리의 rhabdovirus 특성과 동정(Mork et al., 2004) 등 다양한 연구가 이루어졌으며, 국내에서는 필수 지방산이 강도다리 치어의 성장 등에 미치는 영향(Lee et al., 2003), 글루코스, 텍스트린 및 전분이 성장과 체조성에 미치는 영향(Lee and Lee, 2004) 과 GnRHa 처리에 의한 강도다리 성호르몬 및 정액 생산량의 증가에 대한 연구(Moon et al., 2003), 절식에 의한 생리·조직학적 특성 연구(Kim et al., 2013), 세포 유전학적 연구(Jung et al., 2014) 및 사료 공급횟수가 어린 강도다리의 성장에 미치는 영향(Kim et al., 2019) 등의 연구가 보고된 바 있다.

일반적으로 양식 대상어의 성공적인 생산을 위해서는 적절한 환경 조성(수온, 염분, 용존산소 등)은 중요한 요소이다(Choi et al., 2020). 특히 변온동물인 어류에 있어 수온의 변화는 어류의 체온유지에 에너지를 소비하게 하는 가장 중요한 요소 중 하나이다. 어류는 일반적으로 최적의 생존과 성장을 나타내는 수온범위가 있으며(Brett, 1979; Gadomski and Caddell, 1991), 이러한 수온 범위는 어류의 성장단계에 따라 달라진다. 따라서 양식 대상종의 적정 성장을 위한 사육수온은 양식 과정에서 양식생산비용 절감 등을 위해 매우 중요하다. 수온이 강도다리에 미치는 영향에 대한 국내연구는 수온에 따른 강도다리의 산소

소비리듬 연구(Byun et al., 2008), 강도다리의 산소 소비율에 미치는 수온과 체중의 영향(Oh et al., 2009), 해수 및 담수사육 강도다리의 산소소비에 미치는 수온의 영향(Jeong et al., 2009) 및 계절 변화에 따른 강도다리의 흑화 발현(Kang et al., 2014) 등에 관한 연구가 진행되어 있지만, 최근에는 수온 등 자연재해로 인한 어류양식 피해 보고가 증가하는 추세에 있어 어류의 적절한 성장을 위한 적정수온 뿐만 아니라 폐사 절감을 위한 사육수온에 대한 연구가 절실히 필요하다.

따라서 본 연구에서는 수온이 강도다리 치어의 생존율 및 성장에 미치는 영향을 파악함으로써 강도다리의 적절한 성장을 위한 적정 사육 수온에 대하여 조사하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 실험구 및 실험어

수온별 강도다리 치어의 성장 조사를 위하여 저수온(Low temperature; LT)과 고수온(High temperature; HT) 실험구로 나누어 80일간 사육실험을 진행하였다. LT 실험구는 수온을 5, 8, 11 및 14°C로 총 4개 구간을 설정하여 동절기에 실험을 수행하였으며, 평균체중 19.3±0.1 g의 강도다리 치어를 12개의 500 L 원형 FRP 수조(Ø 90

<Table 1> Environmental factors in experimental tanks (Mean ± SD)

Group	Water temperature (°C)	Salinity (psu)	Dissolved oxygen (mg/mL)
LT	5	34.0 ± 0.28	9.4 ± 0.45
	8		8.7 ± 0.43
	11		7.7 ± 0.41
	14		7.2 ± 0.36
	17		6.9 ± 0.47
HT	20	33.1 ± 0.36	6.7 ± 0.41
	23		6.4 ± 0.36
	26		6.2 ± 0.45
	29		6.1 ± 0.43
	29		6.1 ± 0.43

× h 80 cm, 수량 200 L)에 각각 100마리씩 수용하여 3반복으로 진행하였다. HT 실험구는 수온을 17, 20, 23, 26 및 29℃로 총 5개 구간으로 설정하여 하절기에 실험을 수행하였으며, 평균체중 15.8±2.7 g의 강도다리 치어를 10개의 500 L 원형 FRP 수조(LT와 동일)에 각각 100마리씩 수용하여 2반복으로 진행하였다.

## 2. 사육환경 및 관리

사육수는 자동온도조절장치(유원전기, 대한민국)를 모든 실험수조에 설치하여, 실험기간동안 각 실험구의 수온으로 조절하였고, 수온의 급격한 변화에 의한 스트레스를 방지하기 위하여 1~2일에 걸쳐 사육수온을 1℃씩 증감시켜 실험구별 설정 수온에 이르게 하였다. 이때 환수량은 3.33 L/min 이었으며, 각각의 수조에는 충분한 aeration을 시켜주었다. 사육기간동안 매일 YSI58 (YSI Incorporated, USA)을 이용하여 사육환경(수온, 염분 및 DO)을 측정하였으며(Table 1), 빛은 자연광 주기를 따랐다. 먹이는 넙치용 배합사료(천하제일 사료; crude protein: 52%, crude lipid: 8%)를 1일 3회 만복수준으로 공급하였다.

## 3. 실험어 측정

실험 시작시 각 실험구에서 강도다리 30마리를 무작위로 추출하여 체장과 어체중을 측정하였으며, 실험 개시후 종료시까지 20일 간격으로 같은 방법을 이용하여 각 실험구의 체장과 어체중을 측정하였다. 사육기간중 폐사 개체는 발견 즉시 제거 하였으며, 실험 종료시 수조내 모든 생존 개체의 무게를 측정하였다. 실험 종료시 강도다리의 생물학적 지표는 다음의 식을 이용하여 비만도, 내장중량지수 및 간체장지수를 측정하였다.

비만도(Condition factor; CF):

$$((\text{어체중})/\text{전장 (cm)}^3) \times 100$$

내장중량지수(Visceral somatic index; VSI):

$$(\text{내장중량}/\text{어체중}) \times 100$$

간체장지수(Hepatosomatic index; HSI):

$$(\text{간중량}/\text{어체중}) \times 100$$

## 4. 통계분석

SPSS program (SPSS Michigan Avenue, Chicago, IL, USA)을 이용하여 One-way ANOVA와 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로서 각 실험구간의 유의성을 검증하였다.

# Ⅲ. 연구 결과

## 1. 저수온(LT) 실험구

가. 사료섭취량 및 사료효율

80일간의 사육실험 종료시 LT 실험구 강도다리의 사료섭취량 및 사료효율은 <Table 2>에 나타내었다. LT 실험구에서 강도다리의 사료섭취량은 각 실험구간에 유의적인 차이를 보여(P<0.05), 5℃ 실험구에서 10.5 g으로 가장 낮게 나타났으며, 14℃ 실험구에서 45.6 g으로 가장 높게 나타났다.

<Table 2> Feed consumption and feed efficiency of juvenile starry flounder reared at various temperature conditions for LT experiment

	Temp (°C)	Feed consumption (g/fish)	Feed efficiency <sup>1</sup> (%)
LT	5	10.5±0.48 <sup>a</sup>	77.9±12.60 <sup>a</sup>
	8	24.2±1.07 <sup>b</sup>	117.1±12.31 <sup>b</sup>
	11	37.6±1.51 <sup>c</sup>	134.4±8.93 <sup>b</sup>
	14	45.6±1.62 <sup>d</sup>	130.4±9.37 <sup>b</sup>

Values (means of triplicate±SE) in the same column sharing the same superscript are not significantly different (P>0.05).

<sup>1</sup>Feed efficiency=(weight gain/feed consumption)×100

사료효율은 5℃ 실험구에서 77.9% 로 유의적으로 낮게 나타났지만(P<0.05), 8~14℃ 실험구에서는 모두 117% 이상으로 유의한 차이가 없었다(P>0.05).

나. 성장

LT 실험구에서 80일간의 사육실험 종료시, 강도다리의 성장 결과는 <Table 3>과 같으며, 실험 시작시부터 종료시까지 20일 간격의 체장과 체중 변화를 각각 [Fig. 1]에 나타내었다. 수온별 강도다리의 생존율은 96.3~99.0%로 나타났으며, 실험구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 강도다리의 증체량과 일일성장률은 5℃ 실험구에서 각각 8.4 g과 0.45%로 다른 실험구보다 유의적으로 낮게 나타났으며(P<0.05), 14℃ 실험구에서 각각 59.1 g과 1.75%로 높게 나타났지만, 14℃ 실험구와 11℃ 실험구간에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 강도다리의 체중은 실험개시 20일 후부터 유의적인 차이가 나

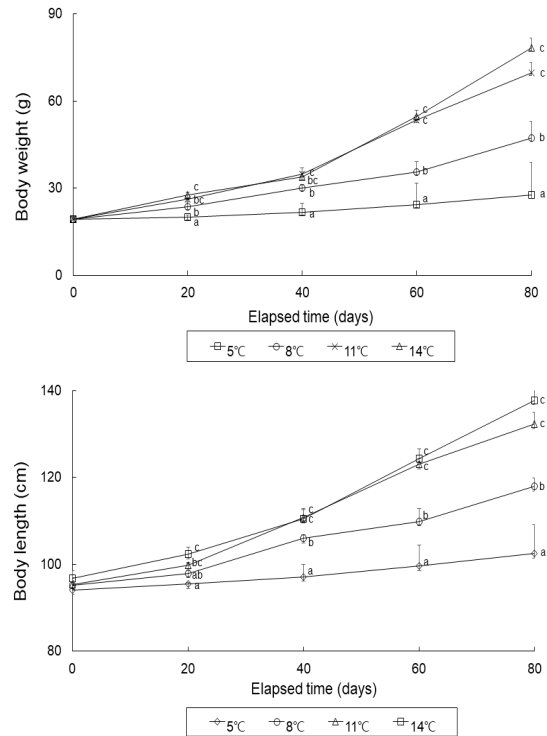
타났으며(P<0.05), 실험개시 60일 후부터 실험 종료시까지 11℃와 14℃ 실험구가 다른 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다(P<0.05).

<Table 3> Survival, weight gain and specific growth rate (SGR) of juvenile starry flounder reared at various temperature conditions for LT experiment

Temp (°C)	Survival (%)	Weight gain (g/fish)	SGR <sup>1</sup> (%/day)
5	97.7±0.42	8.4±1.65 <sup>a</sup>	0.45±0.072 <sup>a</sup>
8	96.7±0.42	28.1±1.68 <sup>b</sup>	1.13±0.028 <sup>b</sup>
LT 11	99.0±0.42	50.4±2.95 <sup>c</sup>	1.60±0.042 <sup>c</sup>
14	96.3±0.42	59.1±6.22 <sup>c</sup>	1.75±0.080 <sup>c</sup>

Values (means of triplicate±SE) in the same column sharing the same superscript are not significantly different (P>0.05).

<sup>1</sup>Specific growth rate (SGR, %/day)=[(Ln(Wf)-Ln(Wi))/days of feeding]×100, where Ln(Wf)=natural log of the final mean weight of fish and Ln(Wi)=natural log of the initial mean weight of fish



[Fig. 1] Body weight and body length of juvenile starry flounder reared at various temperature conditions for LT experiment.

강도다리의 체장은 실험개시 20일 후부터 유의적인 차이가 나타났으며, 실험개시 40일 후부터 실험 종료시까지 11℃와 14℃ 실험구의 체장이 가장 길게 나타났다(P<0.05).

다. 생물학적 지표

80일간의 사육실험 종료시 LT 실험구 강도다리의 CF, VSI 및 HSI를 <Table 4>에 나타내었다. 강도다리의 CF는 5℃ 실험구가 가장 낮게 나타났으며(P<0.05), 다른 실험구간에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). VSI와 HSI는 실험구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다(P>0.05).

<Table 4> Condition factor (CF), visceral somatic index (VSI) and hepatosomatic index (HSI) of juvenile starry flounder reared at various temperature conditions for LT experiment

Temp (°C)	CF	VSI	HSI
5	1.47±0.019 <sup>a</sup>	4.41±0.123 <sup>a</sup>	1.61±0.113 <sup>a</sup>
8	1.75±0.018 <sup>b</sup>	4.54±0.160 <sup>a</sup>	1.73±0.028 <sup>a</sup>
11	1.81±0.067 <sup>b</sup>	4.49±0.088 <sup>a</sup>	1.60±0.042 <sup>a</sup>
14	1.74±0.032 <sup>b</sup>	4.48±0.195 <sup>a</sup>	1.75±0.080 <sup>a</sup>

Values (means of triplicate±SE) in the same column sharing the same superscript are not significantly different (P>0.05).

## 2. 고수온(HT) 실험구

### 가. 사료섭취량 및 사료효율

80일간의 사육실험 종료시 HT 실험구 강도다리의 사료섭취량 및 사료효율은 <Table 5>에 나타내었다. HT 실험구에서 강도다리의 사료섭취량은 각 실험구간에 유의적인 차이를 보여(P<0.05), 29°C 실험구에서 27.2 g으로 가장 낮게 나타났으며, 사료효율은 29°C 실험구에서 4.3%로 다른 모든 실험구보다 유의적으로 낮게 나타났다(P<0.05). 17~23°C 실험구간 사료효율은 유의적인 차이가 나타나지 않았다(P>0.05).

### 나. 성장

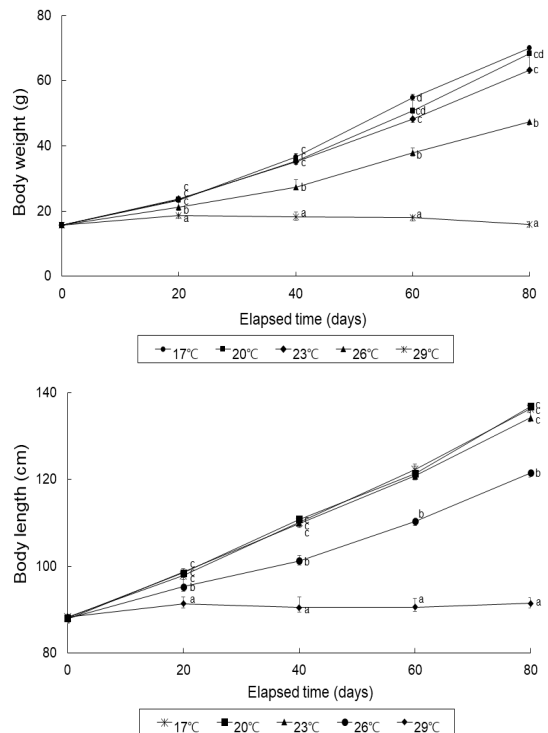
HT 실험구에서 80일간의 사육실험 종료시, 강도다리의 생존 및 성장 결과는 Table 6와 같으며, 실험 시작시부터 종료시까지 20일 간격의 체장과 체중 변화를 각각 [Fig. 2]에 나타내었다. 강도다리의 생존율은 29°C 실험구에서 48.0%로 다른 모든 실험구보다 유의적으로 낮은 생존율을 보였으며(P<0.05), 17~26°C 실험구의 생존율은 90.0~91.5%로 실험구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 강도다리의 증체량과 일일 성장률 또한,

<Table 5> Feed consumption and feed efficiency of juvenile starry flounder reared at various temperature conditions for HT experiment

Temp (°C)	Feed consumption (g/fish)	Feed efficiency (%)
17	45.6 ± 1.36 <sup>c</sup>	126.9 ± 3.72 <sup>c</sup>
20	41.1 ± 3.08 <sup>bc</sup>	136.2 ± 9.02 <sup>c</sup>
23	38.2 ± 1.63 <sup>bc</sup>	129.9 ± 8.76 <sup>c</sup>
26	36.6 ± 0.44 <sup>b</sup>	91.3 ± 0.43 <sup>b</sup>
29	27.2 ± 1.75 <sup>a</sup>	4.3 ± 0.19 <sup>a</sup>

Values (means of duplicate±SE) in the same column sharing the same superscript are not significantly different (P>0.05).

<sup>1</sup>Feed efficiency=(weight gain/feed consumption)×100



[Fig. 2] Body weight and body length of juvenile starry flounder reared at various temperature conditions for HT experiment.

29°C 실험구에서 각각 0.7 g과 0.05%로 다른 실험구보다 유의적으로 낮게 나타났으며(P<0.05), 17°C 실험구에서 54.6 g과 1.90%로 높게 나타났지만, 17°C 실험구의 증체량은 20°C 실험구와는 유의적인 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 강도다리의 체중과 체장은 실험개시 20일 후부터 유의적인 차이가 나타났으며(P<0.05), 실험개시 20일 후부터 종료시까지 23°C 이하의 실험구가 26°C와 29°C 실험구 보다 우수한 성장을 나타내었으며, 29°C 실험구가 가장 낮은 값을 나타내었다.

<Table 6> Survival, weight gain and specific growth rate (SGR) of juvenile starry flounder reared at various temperature conditions for HT experiment

Temp (°C)	Survival (%)	Weight gain (g/fish)	SGR <sup>1</sup> (%/day)
17	91.5±1.22 <sup>b</sup>	54.6±0.07 <sup>d</sup>	1.90±0.005 <sup>e</sup>
20	91.0±0.82 <sup>b</sup>	53.0±0.73 <sup>d</sup>	1.87±0.001 <sup>d</sup>
HT 23	90.0±1.63 <sup>b</sup>	46.7±1.60 <sup>c</sup>	1.74±0.008 <sup>c</sup>
26	90.5±0.41 <sup>b</sup>	31.7±0.15 <sup>b</sup>	1.39±0.003 <sup>b</sup>
29	48.0±3.27 <sup>a</sup>	0.7±0.08 <sup>a</sup>	0.05±0.005 <sup>a</sup>

Values (means of duplicate±SE) in the same column sharing the same superscript are not significantly different (P>0.05).

<sup>1</sup>Specific growth rate (SGR, %/day)=[(Ln(Wf)-Ln(Wi))/days of feeding]×100, where Ln(Wf)=natural log of the final mean weight of fish and Ln(Wi)=natural log of the initial mean weight of fish

다. 생물학적 지표

HT 실험구에서 80일간의 사육실험 종료시 강도다리의 CF, VSI 및 HSI를 <Table 7>에 나타내었다. 강도다리의 비만도는 29°C 실험구가 가장 낮게 나타났으며(P<0.05), 17°C 실험구에서 가장 높게 나타났다(P<0.05). VSI와 HSI는 실험구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다(P>0.05).

<Table 7> Condition factor (CF), visceral somatic index (VSI) and hepatosomatic index (HSI) of juvenile starry flounder reared at various temperature conditions for HT experiment

Temp (°C)	CF	VSI	HSI
17	1.69±0.007 <sup>d</sup>	2.32±0.054 <sup>a</sup>	1.48±0.058 <sup>a</sup>
20	1.61±0.020 <sup>c</sup>	2.38±0.122 <sup>a</sup>	1.57±0.076 <sup>a</sup>
HT 23	1.56±0.012 <sup>b</sup>	2.34±0.064 <sup>a</sup>	1.44±0.038 <sup>a</sup>
26	1.57±0.001 <sup>bc</sup>	2.30±0.023 <sup>a</sup>	1.41±0.000 <sup>a</sup>
29	1.28±0.007 <sup>a</sup>	2.35±0.103 <sup>a</sup>	1.56±0.046 <sup>a</sup>

Values (means of duplicate±SE) in the same column sharing the same superscript are not significantly different (P>0.05).

#### IV. 고찰

강도다리는 저수온에 강한 어종으로 15°C 이하에서도 먹이 활동이 활발하며, 우리나라 연안의 해수수온이 17°C 이하로, 저수온 기간이 길고, 제주지역은 지하해수로 인해 여름에도 저수온을 유지할 수 있는 환경임을 고려할 때 강도다리는 국내 육상양식 대상종으로서 적합하다(NFRDI, 2019). 국내에서는 수온에 의한 양식 피해 사례가 증가하고 있으며, 수온은 양식생물의 폐사뿐만 아니라 성장 저하와 질병 발생을 일으킨다. 또한 임계온도에서의 사육은 항상성 유지를 위해 과도한 생체에너지의 지출을 요구하여 성장 둔화, 체력 및 건강도 저하 등에 의해(Barton and Iwama, 1991; Schreck, 1982), 양식 경영상 채산성을 악화시키는 요인으로 작용할 수 있으므로(Kang et al., 2004; Pickering, 1992), 국내 강도다리의 양식 생산성 향상을 위해서는 저수온기와 고수온기의 강도다리 양식관리에 많은 주의가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 강도다리의 적정성장 및 폐사저감을 위한 사육수온에 대한 연구를 수행하였다.

80일간의 사육실험 종료시 LT 실험구의 생존율은 실험구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았지만, 체중, 체장, 증체량 및 일일성장률은 5℃에서 가장 낮게 나타났다. 8℃ 실험구의 증체량은 5℃ 보다는 높게 나타났지만 11 및 14℃ 보다는 낮게 나타났다. 이와 유사하게 Kang et al.(2004)은 67.0 g 농어(*Lateolabrax japonicus*)를 다양한 수온(3, 6, 9, 12 및 17℃)에서 사육한 결과, 12℃ 이하의 실험구에서는 매우 더딘 성장을 나타내었으며, 수온이 감소할수록 성장이 감소하는 경향을 나타내었다. 마찬가지로, 대서양 연어(*Salmo salar*)를 대상으로 한 수온별(6, 10, 14 및 18℃) 실험에서 6℃ 실험구가 가장 더딘 성장률을 나타내었으며, 이는 식욕부진 때문인 것으로 보고된 바 있다(Handeland et al., 2008).

HT 실험구의 생존율은 29℃ 실험구가 다른 모든 실험구보다 낮게 나타났으며, 다른 모든 실험구간에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 증체량은 17 및 20℃ 실험구에서 가장 높게 나타났으며, 수온이 상승함에 따라 유의하게 감소하였다. 일일성장률은 17℃에서 가장 높게 나타났으며, 이 또한 수온이 상승함에 따라 유의하게 감소하였다. 이는 적정사육수온을 벗어난 수온상승이 강도다리에게 스트레스 인자로 작용하여 나타난 결과로 보여진다. 이와 유사하게, Do et al. (2016)에 따르면, 15, 18, 21, 24, 27 및 30℃에서 사육한 조피볼락(*Sebastes schlegeli*)의 경우, 수온이 상승함에 따라 혈장내 코티졸 및 글루코스 농도와 산소소비 농도가 증가하여, 수온 상승이 어류에 스트레스 인자로 작용하였다고 보고하였으며, 30℃의 조피볼락은 실험개시 24시간만에 전량 폐사하였는데 이는, 고수온이 혈액성상의 변화와 대사량 증가를 유발한 결과라고 판단하였다.

80일간의 사육실험 종료시 Low 실험구에서 사료 섭취량은 수온이 감소할수록 감소하였으며, 사료효율은 감소하는 경향을 나타내었다. 5℃ 실험구에서 사료섭취량과 사료효율 모두 가장 낮은 값을 나타내었는데, 이는 강도다리의 사육수온이

먹이 활동을 위한 적정수온 이하로 내려감에 따라, 강도다리의 먹이 섭취활동이 감소한 것으로 보인다. 이와 유사하게 Kang et al. (2004)에 따르면 3, 6, 9, 12 및 17℃에서 사육한 농어의 경우 수온이 감소할수록 농어의 사료섭취량뿐만 아니라 사료효율 또한 감소하였으며, 영양원을 체대사의 항상성 유지 등을 위해 에너지를 소비함으로써 에너지원의 체내 축적이 낮아짐에 따라 사료효율이 감소한 것으로 판단하였다.

High 실험구에서 사료섭취량은 수온이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 사료 효율은 수온이 26℃ 실험구에서 91.3%로 감소하였으며, 29℃ 실험구에서는 4.3%로 급격하게 감소하여 가장 낮은 값을 보였다. 일반적으로 어류의 사료 섭취량은 수온이 증가할수록 증가한다고 알려져 있으며(Koskela et al., 1997; Martinez-Palacios et al., 1996), 양식 대상종의 최적 사육수온을 초과하게 되면 섭식 행동 감소로 사료섭취량이 감소하게 된다(Mizanur et al., 2014; Walberg, 2011). 이는 적정 혹은 최적 사육수온보다 높은 수온에서 강도다리의 스트레스가 증가하여 먹이섭취 활동이 감소함에 따른 결과로 보여진다. Min et al. (2015)은 267.0 g 강도다리를 15, 18, 21, 24 및 27℃에서 사육한 결과, 24℃ 이상 실험구 강도다리의 glucose, AST, ALT, triiodo-L-thyronine의 수치가 18℃ 이하 실험구보다 유의적으로 증가하였으며, 이는 강도다리에 수온 스트레스로 작용하였다고 보고한 바 있다. 어류의 적정 수온범위는 성장단계에 따라 달라질 수 있으므로(Brett, 1979; Elliott, 1975; Imsland et al., 2006; Jonassen et al., 1999), 추후에 성장 단계에 따른 세부 연구가 필요할 것으로 판단된다.

CF, HSI 및 VSI는 어류의 성장 정보, 건강도, 어체 상태와 환경 스트레스에 견딜 수 있는 능력 등을 간접적으로 보여주는 지표이며(Mizanur et al., 2014), 이러한 지표는 어류의 행동 및 생리요인 등 복잡한 과정에 의해 결정된다. 본 연구에서 CF의 값은 LT 실험구에서 5℃가 유의적으로

가장 낮았으며, HT 실험구에서 29℃가 유의적으로 가장 높았지만, VSI와 HSI는 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다. Karabulut et al. (2010)은 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)를 대상으로 9℃와 15℃에서 사료 형태에 따른 연구를 수행한 결과, 수온에 따른 CF, VSI, HSI의 값은 차이가 나타나지 않았으며, 마찬가지로 20~29℃에서 11.4 g의 쏘가리(*Siniperca scherzeri*)를 사육한 결과, 쏘가리의 CF, HSI, VSI는 수온에 따른 영향을 받지 않았다(Kim and Lee, 2016). 본 연구에서 일정 수온을 벗어난 수온에서의 강도다리 사육은 CF 값에 부정적인 영향을 미친 것으로 보여지나, 이에 대한 명확한 원인구명을 위한 어류의 영양·생리학적인 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

이상의 결과를 고려할 때, 비록 LT와 HT의 실험을 동시에 진행하진 않았지만, 비슷한 성장단계의 개체인 점을 감안한다면, 생존율과 성장에 근거한 강도다리 치어의 적정 사육수온은 11~20℃로 판단된다. 5℃ 이하의 수온으로 내려가는 경우, 강도다리의 성장을 고려하지 않는다면, 수온에 의한 폐사피해는 적을 것으로 보여진다. 하지만 여름철 수온이 상승하기 시작하여, 26℃를 초과한다면 성장이 둔화되고, 대량 폐사가 일어날 가능성이 크므로, 수온을 조절할 수 있는 장치나 조치가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구는, 수온에 따른 강도다리의 생존과 성장에만 근거하여 적정 수온을 제시하였으므로, 추후에 본 연구와 같이 광범위한 수온 범위에서 강도다리의 생리 및 생태 변화에 대한 연구를 통하여 강도다리 사육 적정 수온에 대한 추가적인 근거가 필요할 것으로 사료된다.

## References

Barton BA and Iwama GK(1991). Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of

corticosteroids. Annual. Rev. Fish Dis. 1, 3~26.  
[https://doi.org/10.1016/0959-8030\(91\)90019-G](https://doi.org/10.1016/0959-8030(91)90019-G)  
 Brett JR(1979). Environmental Factors and Growth. In: Fish Physiology, Vol. VIII (ed. by Hoar WS, Randall DJ and Brett JR), pp. 599~675. London, UK.  
 Byun SG, Jeong MH, Lee JH, Lee BI, Ku HD, Park SU, Kim YC and Chang YJ(2008). Diel rhythm of oxygen consumption of the starry flounder *Platichthys stellatus* by water temperature. J. Kor. Fish. Soc., 41(2), 113~118.  
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2008.41.2.113>  
 Choi J, Han GS, Lee KW, Byun S, Lim HJ and Kim HS(2020). Effect of water temperature on the egg hatch and early growth of walleye Pollock (*Gadus chalcogrammus*). Kor. J. Ichthyol., 32(2), 78~83.  
<https://doi.org/10.35399/ISK.32.2.6>  
 Chyung MK(1977). The Fishes of Korea, Iljisa, 570pp. Seoul, Korea, .  
 Ding L, Zhang L, Wang J, Ma J, Meng X, Duan P, Sun L and Sun Y(2010). Effect of dietary lipid level on the growth performance, feed utilization, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). Aquac. Res., 41, 1470~1478.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02440.x>  
 Do Y, Min B, Kim Y and Park M(2016). Changes on hematological factors and oxygen consumption of Korean rockfish *Sebastes schlegeli* in high water temperature. J. Kor. Soc. Fish. Mar. Edu., 28(3), 738~745.  
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2016.28.3.738>  
 Duncan DB(1955). Multiple range and multiple *F* tests. Biometrics, 11, 1~42.  
<https://doi.org/10.2307/3001478>  
 Elliott JM(1975). The growth rate of brown trout (*Salmo trutta* L.) fed on maximum rations. J. Anim. Ecol., 44, 805~821.  
<https://doi.org/10.2307/3720>  
 Gadomski DM and Caddell SM(1991). Effects of temperature on early-life-history stages of California halibut *Paralichthys californicus*. Fish. Bull., 89, 567~576.  
 Handeland SO, Imsland AK and Stefansson SO(2008). The effect of temperature and fish size



- on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts. *Aquaculture*, 283, 36~42.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.042>
- Hogstrand C, Ferguson EA, Galvez F, Shaw JR, Webb NA and Wood CM(1999). Physiology of acute silver toxicity in the starry flounder (*Platichthys stellatus*) in seawater. *J. Comp. Physiol. B*, 169, 461~473.
- Imsland AK, Foss A, Sparboe LO and Sigurðsson S(2006). The effect of temperature and fish size on growth and food efficiency ratio of juvenile spotted wolfish. *J. Fish. Biol.*, 68, 1107~1122.  
<https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2006.00989.x>
- Jeong MH, Byun SG, Lim HK, Min BH, Kim YS and Chang YJ(2009). Effects of water temperature on oxygen consumption in starry flounder *Platichthys stellatus* reared in seawater and freshwater. *Kor. J. Environ. Biol.*, 27(3), 285~291.
- Jonassen TM, Imsland AK and Stefánsson SO(1999). The interaction of temperature and size on growth of juvenile Atlantic halibut. *J. Fish. Biol.*, 54, 556~572.  
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1999.tb00635.x>
- Jung HS, Kim YK, Kim HC, Noh J, Lee J and Kim DS(2014). Cytogenetic analysis of starry flounder *Platichthys stellatus* from Korea. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47(4), 431~434.  
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0431>
- Kang D, Han H and Jun C(2004). Influence of water temperature on growth of yearling sea bass, *Lateolabrax japonicus* in indoor tank. *J. Aquaculture*, 17(4), 240~245.
- Kang D, Kim W, Kim H and Chang YJ(2014). Influences of temperature and density on the feeding growth, and blind-side malpigmentation of fry starry flounder *Platichthys stellatus*. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47(5), 588~596.  
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0588>
- Karabulut HA, Yandi I and Aras NM(2010). Effects of different feed and temperature conditions on growth, meat yield, survival rate, feed conversion ratio and condition factor in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fingerlings. *J. Anim. Vet. Adv.*, 9(22), 2818~2823.  
<https://doi.org/10.3923/javaa.2010.2818.2823>
- Kim HS, Choi J, Lim HJ, Jeong MH, Lee CS and Byun SG(2019). Effect of feeding frequency on the growth of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, 52(1), 87~91.  
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0087>
- Kim SK, Shim NY, Jang IK, Lee C, Kim YD, Kim BK and Kim JW(2013). Physiological and histological characteristics of starry flounder *Platichthys stellatus* after starvation and re-feeding. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46(6), 793~800.  
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2013.0793>
- Kim YI and Lee SM(2016). Effect of water temperature on growth and body composition of juvenile mandarin fish *Siniperca scherzeri*. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49(5), 607~611.  
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0607>
- Koskela J, Pirhonen J and Jobling M(1997). Feed intake, growth rate and body composition of juvenile Baltic salmon exposed to different constant temperatures. *Aquac. Int.*, 5(4), 351~360.  
<https://doi.org/10.1023/A:1018316224253>
- Lee S and Lee JH(2004). Effect of dietary glucose, dextrin and starch on growth and body composition of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*. *Fish. Sci.*, 70, 53~58.  
<https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2003.00770.x>
- Lee S, Lee JH and Kim K(2003). Effect of dietary essential fatty acids on growth, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture*, 225, 269~281.  
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00295-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00295-3)
- Lim HK, Byun SG, Lee JH, Park SU, Kim YC, Han HK, Min BH and Lee BY(2007). Sexual maturity and reproductive cycle of starry flounder *Platichthys stellatus* cultured in indoor tank. *J. Aquaculture*, 20(4), 212~218.
- Ma J, Wang J, Zhang D, Hao T, Sun J, Sun Y and Zhang L(2014). Estimation of optimum docosahexaenoic to eicosapentaenoic acid ratio (DHA/EPA) for juvenile starry flounder, *Platichthys stellatus*. *Aquaculture*, 433, 105~114.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.05.04>
- Martinez-Palacios CA, Chavez-Sanchez MC and Ross LG(1996). The effects of water temperature on food intake, growth and body composition of *Cichlasoma urophthalmus* (Günther) juveniles.

- Aquac. Res., 27(6), 455~461.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1996.tb01275.x>
- Min BH, Park MS and Myeong J(2014). Stress responses of starry flounder, *Platichthys stellatus* (Pallas) following water temperature rise. J. Environ. Biol., 36(5), 1057~1062.
- Mizanur R, Yun H, Moniruzzaman M, Ferreira F, Kim K and Bai SC(2014). Effects of feeding rate and water temperature on growth and body composition of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* (Hilgendorf 1880). Asian-Austral. J. Anim. Sci., 27(5), 690~699.  
<https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13508>
- Moon SH, Lim HK, Kwon JY, Lee JK and Chang YJ(2003). Increased plasma 17-hydroxyprogesterone and milt production in response to gonadotropin-releasing hormone agonist in captive male starry flounder, *Platichthys stellatus*. Aquaculture, 218, 703~716.  
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00643-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00643-9)
- Mork C, Hershberger P, Kocan R, Batts W and Winton J(2004). Isolation and characterization of a rhabdovirus from starry flounder (*Platichthys stellatus*) collected from the northern portion of Puget Sound, Washington, USA. J. Gen. Virol., 85, 495~505.  
<https://doi.org/10.1099/vir.0.19459-0>
- NFRDI(2019). Technical Manual for the Starry flounder Aquaculture. National Fisheries Research and Development Institute. Busan. Korea.
- Oh S, Jang Y, Noh CH, Myoung J and Kim C(2009). Effect of water temperature and body weight on oxygen consumption rate of starry flounder *Platichthys stellatus*. Kor. J. Ichthyol., 21(1), 7~14.
- Pickering AD(1992). Rainbow trout husbandry; management of the stress response. Aquaculture, 100(1-3), 125~139.  
[https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90354-N](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90354-N)
- Schreck CB(1982). Stress and rearing of salmonids. Aquaculture, 28, 241~249.  
[https://doi.org/10.1016/0044-8486\(82\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(82)90026-6)
- Stein JE, Reichert WL, Nishimoto M and Varanasi U(1990). Overview of studies on liver carcinogenesis in English sole from Puget Sound; evidence for a xenobiotic chemical etiology II: biochemical studies. Sci. Total Environ.  
[https://doi.org/10.1016/0048-9697\(90\)90364-Z](https://doi.org/10.1016/0048-9697(90)90364-Z)
- Walberg E(2011). Effect of increased water temperature on warm water fish feeding behavior and habitat use. J. Undergrad. Res. Minnesota State Univ., 11(13), 1~13.
- Wang J, Li B, Ma J, Wang S, Huang B, Sun Y and Zhang L(2017). Optimum dietary protein to lipid ratio for starry flounder (*Platichthys stellatus*). Aquac. Res., 48, 189~201.  
<https://doi.org/10.1111/are.12873>

- 
- Received : 15 February, 2021
  - Revised : 08 March, 2021
  - Accepted : 15 March, 2021