



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 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](#)

수산화석사 학위논문

수온상승에 따른 강도다리 *Platichthys stellatus*의
스트레스 반응



2014년 2월

부경대학교 산업대학원

수산양식학과

이 국 진

수산학석사 학위논문

수온상승에 따른 강도다리 *Platichthys stellatus*의
스트레스 반응

지도교수 장 영 진

이 논문을 수산학석사 학위논문으로 제출함



2014년 2월

부경대학교 산업대학원

수산양식학과

이 국 진

이국진의 수산학석사 학위논문을 인준함

2014년 2월



주	심	농학박사	김창훈	
위	원	수산학박사	민병화	
위	원	농학박사	장영진	

목 차

Abstract	ii
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	6
1. 실험어	6
2. 수온상승 및 샘플링	6
3. 혈장 분석	8
4. 통계 분석	8
III. 결 과	9
1. Cortisol 및 glucose	9
2. Na ⁺ , Cl ⁻ 및 삼투질농도	9
3. AST, ALT	15
4. TG, TP	15
5. T ₃	15
IV. 고 찰	20
감사의 글	23
참고문헌	24

Stress Responses of Starry Flounder *Platichthys stellatus* following Water Temperature Rise

Gook Jin Lee

Abstract

The stress responses of the starry flounder *Platichthys stellatus* following water temperature (WT) rise were investigated to establish the influence of ambient temperature on this species. The physiological indicators of the stress were plasma cortisol, glucose, aspartate aminotransferase (AST) and alanine aminotransferase (ALT), sodium, chloride, osmolality and triiodothyronine (T₃). No significant differences in plasma parameters were observed among the experimental groups of 15, 18 and 21°C. Levels of plasma cortisol and glucose of starry flounders kept at 24-27°C were significantly higher than those observed in the 15-21°C groups. Changes of AST and ALT following WT rise showed a similar pattern to plasma cortisol and glucose. Starry flounders exposed to 27°C exhibited higher plasma sodium, chloride and osmolality than those exposed to 15-21°C. Though plasma T₃ of starry flounder increased at 24°C, this hormone was significantly lower in the fish kept at 27°C than the fish at 15°C. This phenomenon seems to be directly associated with long-term fasting. Accordingly, the results suggest that starry flounders get stressed with osmoregulatory disturbances above 24°C.

I. 서 론

어류 양식에서 급격한 수온변화, 어획, 핸들링, 수송 및 고밀도 수용은 어류에게 스트레스 요인(stressor)으로 작용하는 것으로 알려져 있다. 어류의 스트레스 반응은 생화학적 및 생리학적인 교란에 의해 특징지어질 수 있으며 (Barnett and Pankhurst, 1998), 1차, 2차, 3차 지표로 분류될 수 있다. 1차 스트레스 반응은 시상하부-뇌하수체-부신(hypothalamic-pituitary-adrenal, HPA) 축의 활성화가 cortisol을 혈중으로 분비하도록 자극하는 것이다(Perry and Reid, 1993; Wendelaar Bonga, 1997). 2차 반응은 이온 농도의 불균형, 간담낭, 간 및 심장 조직의 파괴로 인한 aspartate aminotransferase (AST)와 alanine aminotransferase (ALT), 심장자극 파동, 산소소비와 에너지 자극, 혈중 glucose 농도 등의 증가를 포함한다(Tomasso et al., 1980; Eddy, 1981; Carmichael et al., 1984; McDonald and Milligan, 1997).

L-thyroxine (T_4), triiodo-L-thyronine (T_3)와 같은 갑상선 호르몬은 대부분의 척추동물에서 물질대사와 성장에 관여하며(McDonald and Milligan, 1992), 혈장 갑상선호르몬은 가자미류 (Inui et al., 1995)의 변태와 연어의 은화(smoltification) (Brown and Bern, 1989) 시기에 증가하는 것으로 알려져 있다. 또한, 갑상선호르몬의 수치 변화는 스트레스 반응의 2차 지표로도 사용된다 (Vijayan and Learherland, 1989).

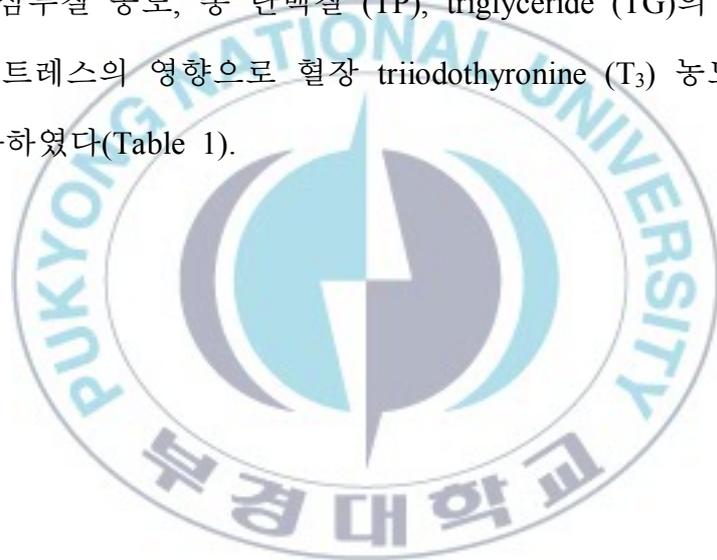
강도다리 *Platichthys stellatus* (Fig. 1)는 가자미과(Family Pleuronectidae)에 속하는 저서성 어류이다. 한국 동해에서 오후츠크해, 베링해의 연안에 서식하고 있으며(Chyung, 1977), 낮은 수온에서 생활하는 냉수성 어류이다. 한국에서 최근 몇 년간 강도다리는 식품으로서 수요가 증가하여 상업적 양식과 자원회복의 차원에서 매우 중요한 어종으로 부각되고 있다. 이러한 이유로



Fig. 1. Photograph of starry flounder *Platichthys stellatus*.

한국에서 강도다리의 양식 생산량(2007년 17톤, 2012년 601톤)은 꾸준히 증가하고 있다(Fig. 2). 강도다리는 저수온에 대한 내성이 강하기 때문에 한국 동해연안의 육상수조식 양어장에서 저수온을 이용하여 양식하고 있다. 그러나 여름철에는 높은 수온으로 인해 병원체에 대한 내성이 떨어져 질병에 감염되기 쉬우며, 이는 강도다리의 성장과 생존에 영향을 미치게 된다.

따라서 본 연구에서는 강도다리 양식을 위한 생물학적 기초 자료를 얻기 위하여 환경수온의 상승에 따른 1차 스트레스 반응인 혈중 cortisol 농도와 2차 반응인 glucose, aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT), 이온, 삼투질 농도, 총 단백질 (TP), triglyceride (TG)의 변화를 조사하였다. 또한 스트레스의 영향으로 혈장 triiodothyronine (T_3) 농도가 어떻게 변화하는지 조사하였다(Table 1).



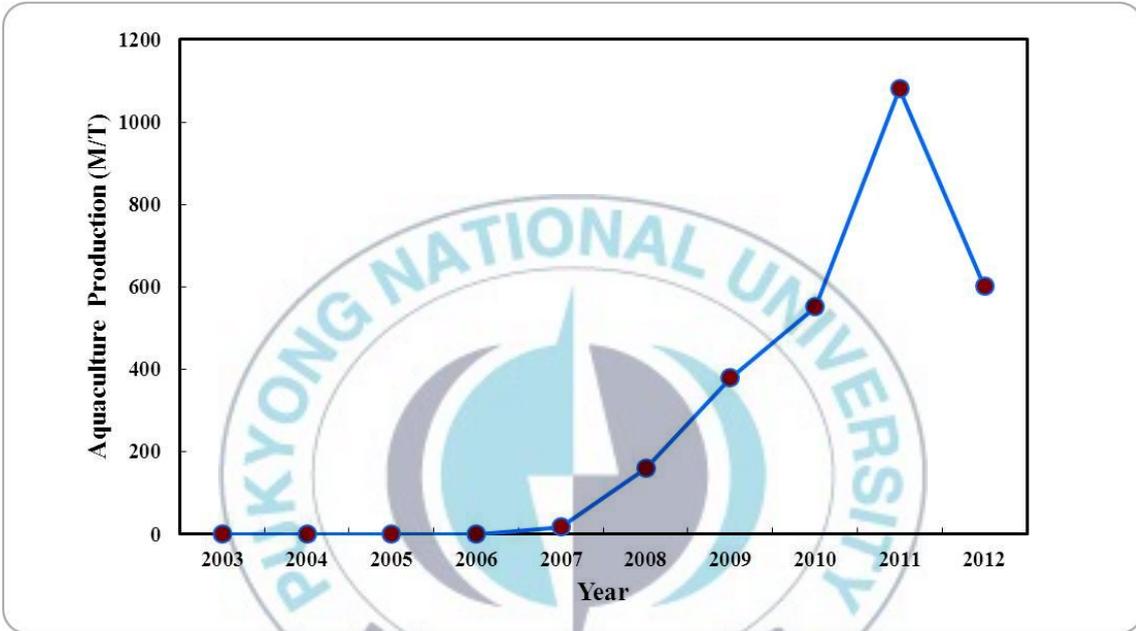


Fig. 2. Annual changes of aquaculture production of starry flounder *Platichthys stellatus*.

Table 1. Investigated stress responses in this study

Primary	Plasma cortisol
Secondary	
(a) Metabolic	Plasma glucose
	Plasma AST
	Plasma ALT
(b) Hydromineral	Plasma chloride
	Plasma sodium
	Plasma osmolality
(c) Hematological	Total protein
	Triglyceride

II. 재료 및 방법

1. 실험어

부산광역시 수산자원연구소에서 사육중인 1년생 강도다리(평균 체중 267.6 ± 20.8 g)를 실험어로 사용하였다. 수온상승 실험에 사용한 온도조절장치(AQUATRON[®], YOUWON ELECTRIC, INC., Korea)에 의해 수온이 15°C의 해수가 유입(해수 공급율: 6 L/분)되는 500 L 원형수조 6개에 무작위로 실험어를 수용(10마리/수조)하였으며, 실험 전까지 2주간 안정시켰다. 이때 사료는 하루에 두 번 공급하였으며, 실험 24시간 전부터 실험기간 종료 시까지 절식시켰다.

2. 수온상승 및 샘플링

실험 개시 시에 6개의 실험수조 중 5개의 수조는 온도조절장치를 사용하여 하루에 1°C씩 상승시켰으며, 수조의 수온이 설정수온인 15, 18, 21, 24 및 27°C에 도달하도록 하였고, 각 수온에서 혈액을 샘플링하였다. 5개 수조의 수온이 15°C에 도달하면 5개 수조 중 하나의 실험어를 모두 샘플링하였고, 또 남아있는 4개 수조의 수온이 18°C에 도달하면 4개 수조 중 하나의 실험어를 모두 샘플링하였다. 이 과정은 수온이 27°C에 도달할 때까지 반복하였다. 6개의 실험수조 중 나머지 하나에 남아있는 실험어는 실험기간동안 절식에 의한 스트레스 반응을 조사하기 위해, 실험 개시부터 12일째까지 15°C로 유지하여 실험 종료 시에 샘플링하였다. 실험어는 200mg/L tricaine methan sulphonate (MS-222, Sigma, USA)로 마취한 후, 해파린 처리된 3 ml 주사기를 사용하여 미부혈관에서 채혈을 하였다(Fig. 3). 혈장은 6,500 rpm, 4°C에서 15분 동안 원심분리하여 얻었으며, 분석 전까지 -80°C에서 보관하였다.

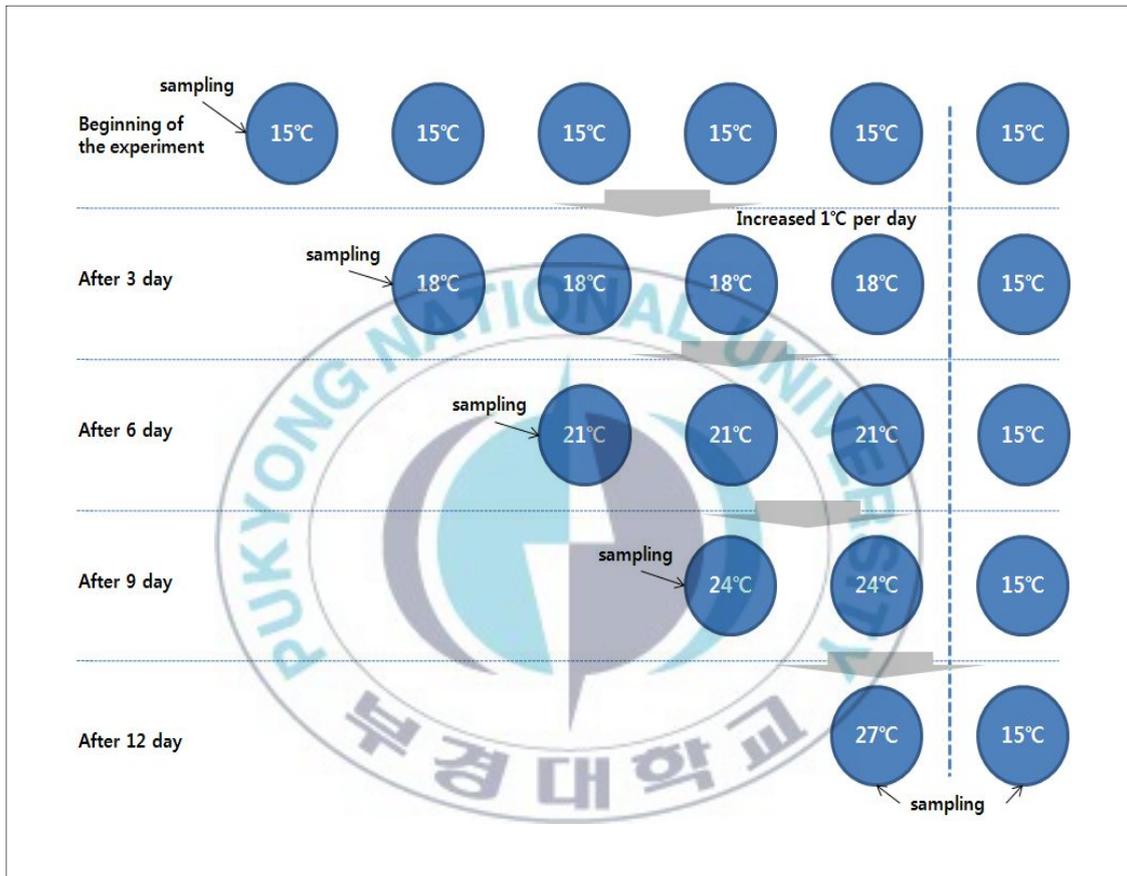


Fig. 3. Diagram of experimental method in this research. Water temperature of each tanks increased at a rate of 1°C per day.

3. 혈장 분석

Cortisol 수치는 cortisol RIA kit (DSL, USA)를 사용하여 방사면역측정법 (radioimmunoassay, RIA)으로 분석하였으며, T₃는 T₃ EIA Kit (Biosewoom, Korea)를 사용하여 효소면역측정법(enzyme immunoassay, EIA)으로 분석하였다. Cortisol의 validation intra- 및 inter-assay 계수는 각각 8.6%, 9.2%였고, T₃는 7.6%, 8.8%였다.

Glucose, AST, ALT, TP, TG, Na⁺ 및 Cl⁻은 Biochemistry Autoanalyzer (Fuji Dry-chem 3500, Fujifilm Co., Japan)로 측정하였으며, 삼투질농도는 Vapor Pressure Osmometer (Vapro 5520, WESCOR Co., USA)로 측정하여 mmol/kg으로 나타냈다.

4. 통계 분석

실험결과는 mean±SEM으로 나타내었으며, SPSS (version 17.0)를 사용하여 통계 분석하였다. 실험구간에 유의차는 one-way ANOVA 및 Tukey-HSD로 분석하였다($P < 0.05$). 1일간 절식한 15°C 실험구와 13일간 절식한 15°C-con 실험구 사이의 변화는 Student's *t*-test로 분석하였다($P < 0.05$).

III. 결 과

실험기간동안 모든 실험구에서 폐사 개체는 관찰되지 않았다. 혈장분석에서 15°C 및 15°C-con 실험구 사이에 T₃ 농도를 제외하고는 유의한 차이를 보이지 않았다.

1. Cortisol 및 glucose

15°C 실험구에서 cortisol 농도는 20.6±3.3 ng/mL였다. 18, 20°C에 노출된 실험구에서는 각각 23.6±6.0 ng/mL, 20.4±2.2 ng/mL로 나타났으며, 15°C의 결과와 유의한 차이를 보이지 않았다. 24, 27°C에서 cortisol 농도는 각각 49.2±2.1 ng/mL 및 95.0±3.9 ng/mL였으며, 다른 수온의 실험구보다 높게 나타났다(Fig. 4).

Glucose 농도는 cortisol 농도 변화와 비슷한 경향을 보였다. 15, 18, 21°C에 노출된 실험구의 glucose 농도는 40.6±3.6~47.1±3.9 mg/dL로 나타났다. 그러나 24, 27°C에서는 각각 56.1±3.8 mg/dL, 58.1±3.7 mg/dL로 유의하게 증가하였다(Fig. 5)

2. Na⁺, Cl⁻ 및 삼투질농도

15, 18, 21 및 24°C 실험구에서 Na⁺ 및 Cl⁻ 농도는 유의한 차이를 보이지 않았다. 하지만 27°C에서 Na⁺ 및 Cl⁻ 농도는 유의하게 증가하였다(Figs. 6, 7).

삼투질농도는 24, 27°C 실험구에서 각각 435.7±18.6 mmol/kg, 450.7±15.5 mmol/kg으로 15, 18, 21°C 실험구의 375±8.8~390.5±9.2 mmol/kg 보다 유의하게 높게 나타났다(Fig. 8).

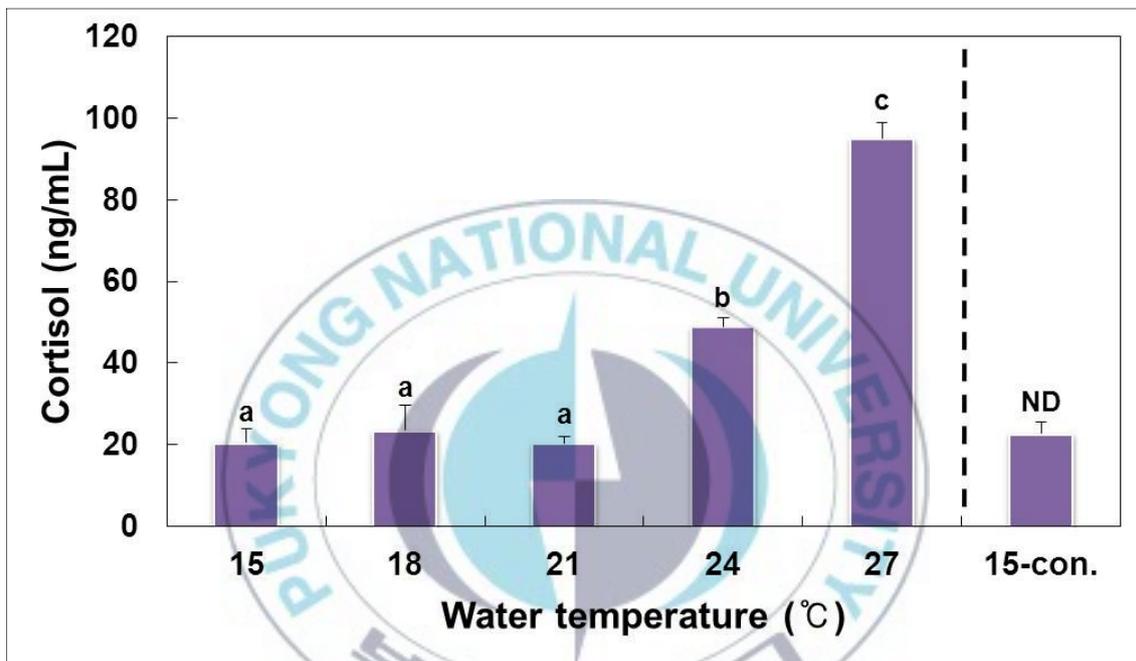


Fig. 4. Levels of plasma cortisol in starry flounder *Platichthys stellatus* with water temperature rise (15→27°C). Each value represents means±S.E.M. ($n=10$). Different letters indicate statistical differences among the water temperature groups ($P<0.05$). ND: no difference between the 15°C group (fasting for 1 day) and the 15°C-con. group (fasting for 13 days).

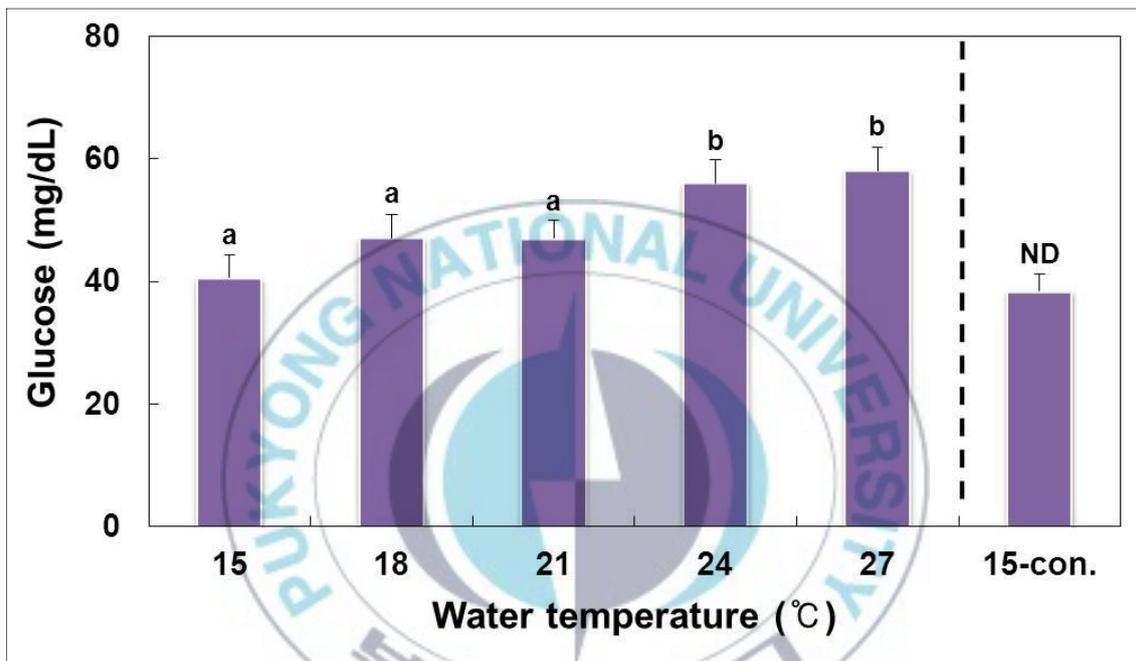


Fig. 5. Levels of plasma glucose in starry flounder *Platichthys stellatus* with water temperature rise (15→27°C). Each value represents means±S.E.M. ($n=10$). Different letters indicate statistical differences among the water temperature groups ($P<0.05$). ND: no difference between the 15°C group (fasting for 1 day) and the 15°C-con. group (fasting for 13 days).

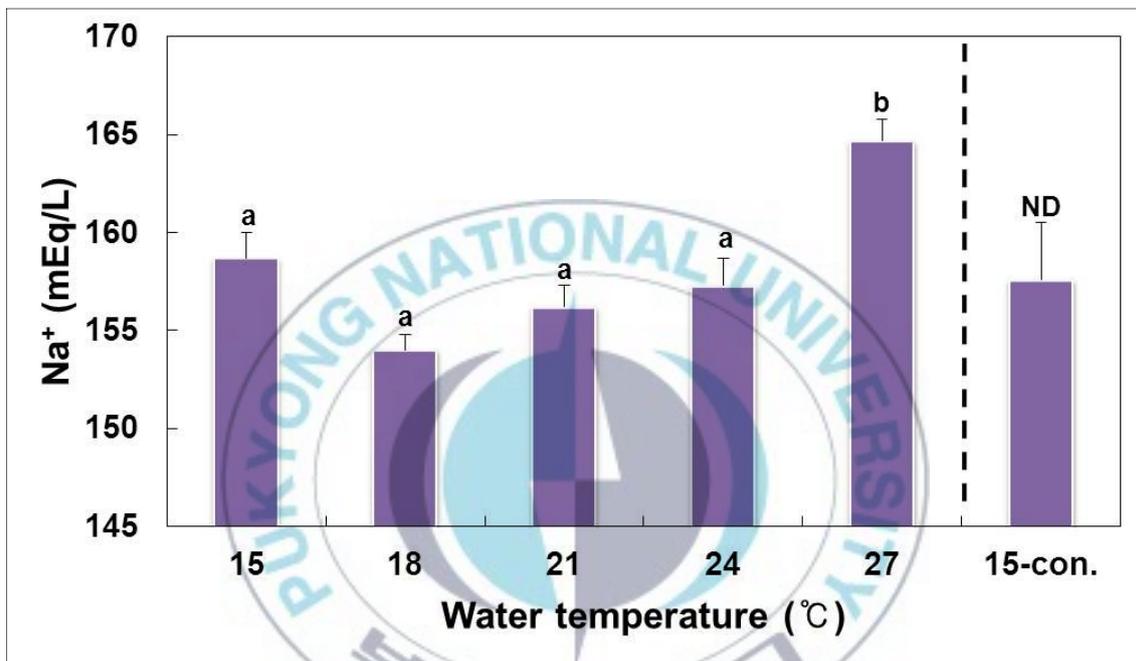


Fig. 6. Levels of plasma sodium in starry flounder *Platichthys stellatus* with water temperature rise (15→27°C). Each value represents means±S.E.M. ($n=10$). Different letters indicate statistical differences among the water temperature groups ($P<0.05$). ND: no difference between the 15°C group (fasting for 1 day) and the 15°C-con. group (fasting for 13 days).

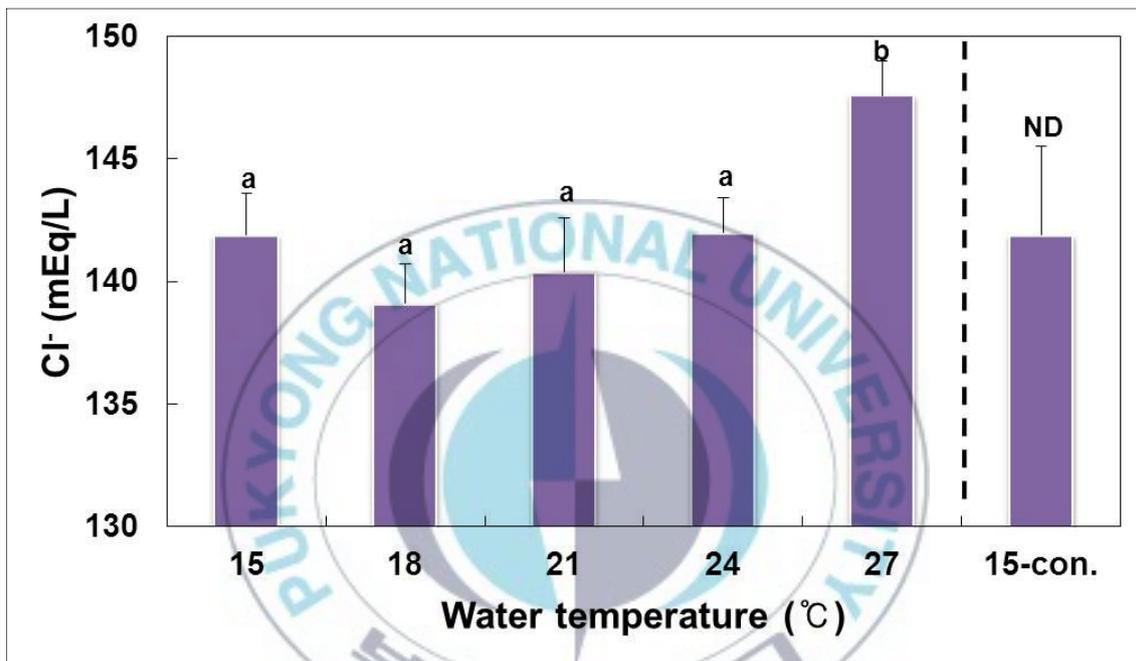


Fig. 7. Levels of plasma chloride in starry flounder *Platichthys stellatus* with water temperature rise (15→27°C). Each value represents means±S.E.M. ($n=10$). Different letters indicate statistical differences among the water temperature groups ($P<0.05$). ND: no difference between the 15°C group (fasting for 1 day) and the 15°C-con. group (fasting for 13 days).

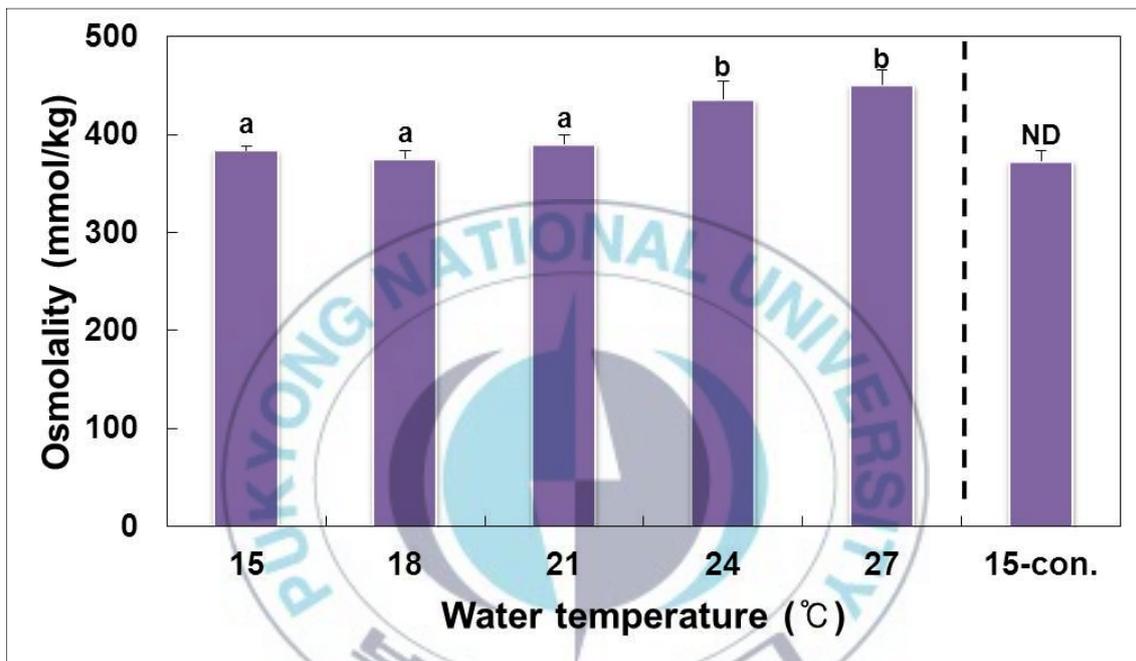


Fig. 8. Levels of plasma osmolality in starry flounder *Platichthys stellatus* with water temperature rise (15→27°C). Each value represents means±S.E.M. ($n=10$). Different letters indicate statistical differences among the water temperature groups ($P<0.05$). ND: no difference between the 15°C group (fasting for 1 day) and the 15°C-con. group (fasting for 13 days).

3. AST, ALT

15, 18, 21°C 실험구에서 AST는 $35.3 \pm 3.2 \sim 37.8 \pm 2.9$ IU/L로 서로간에 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나, 24, 27°C에서는 각각 105.9 ± 9.1 IU/L, 127.7 ± 12.6 IU/L로 다른 수온 실험구보다 유의하게 높았다(Fig. 9). ALT도 수온 상승에 따라 AST와 유사한 변화 경향을 보였다. ALT는 15, 18, 21°C에서 $15.5 \pm 1.2 \sim 22.3 \pm 2.0$ IU/L로 유의한 차이를 보이지 않았다. 반면에 24, 27°C에서는 각각 32.0 ± 3.0 ng/mL, 78.6 ± 8.4 ng/mL로 15°C와 18°C보다 유의하게 높았다(Fig. 9).

4. TG, TP

TG는 15, 18, 21 및 24°C 실험구에서 $85.6 \pm 6.8 \sim 99.6 \pm 12.6$ mg/dL로 유의한 차이를 보이지 않았다. 하지만 27°C에서 225.6 ± 20.2 mg/dL로 다른 수온 실험구보다 유의하게 높았다(Fig. 10). TP도 15, 18 및 21°C 실험구에서 $3.3 \pm 0.2 \sim 3.5 \pm 0.2$ g/dL로 유의한 차이를 보이지 않았지만, 24°C와 27°C에서 각각 3.6 ± 0.2 g/dL, 4.0 ± 0.2 g/dL로 유의하게 높았다(Fig. 11).

5. T₃

T₃ 농도는 15°C 24.7 ± 1.9 ng/mL에서 24°C 29.4 ± 0.8 ng/mL로 유의하게 증가하였다. 27°C 실험구의 T₃ 농도는 다른 수온 실험구보다 유의하게 낮게 나타났다. 또한 15°C 실험구에서 13일간 절식한 실험구가 1일 절식한 실험구보다 유의하게 낮은 T₃ 농도를 보였다(Fig. 12).

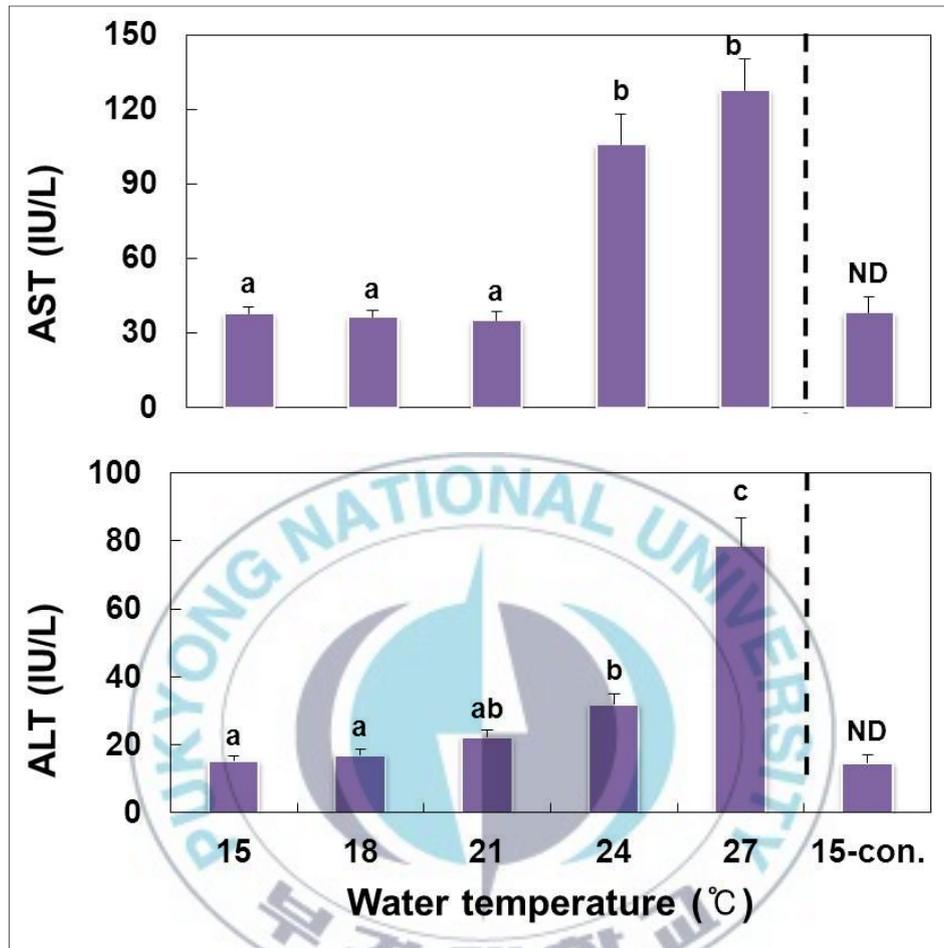


Fig. 9. Levels of AST (top) and ALT (bottom) in starry flounder *Platichthys stellatus* with water temperature rise (15→27°C). Each value represents means±S.E.M. (n=10). Different letters indicate statistical differences among the water temperature groups ($P<0.05$). ND: no difference between the 15°C group (fasting for 1 day) and the 15°C-con. group (fasting for 13 days).

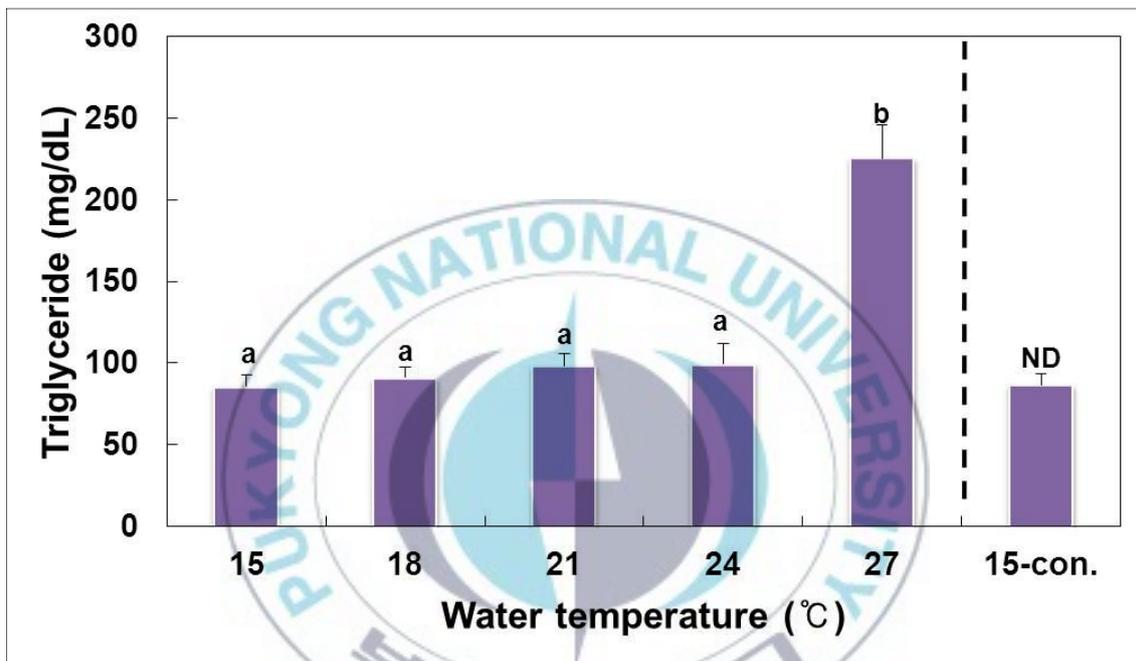


Fig. 10. Levels of TG (triglyceride) in starry flounder *Platichthys stellatus* with water temperature rise (15→27°C). Each value represents means±S.E.M. ($n=10$). Different letters indicate statistical differences among the water temperature groups ($P<0.05$). ND: no difference between the 15°C group (fasting for 1 day) and the 15°C-con. group (fasting for 13 days).

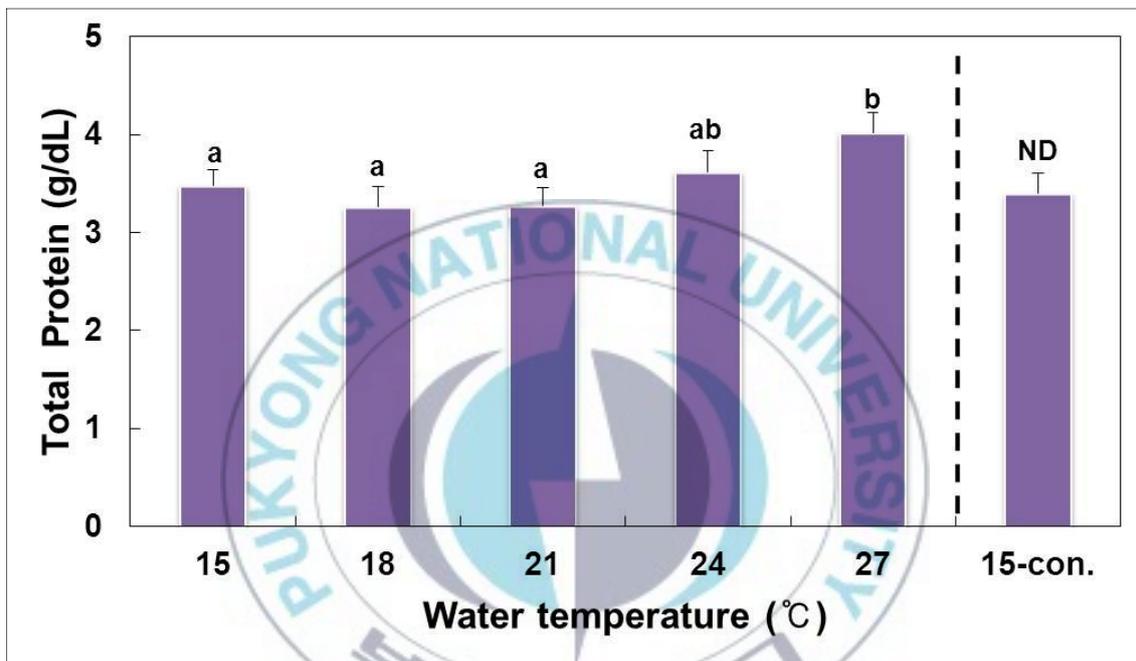


Fig. 11. Levels of TP (total protein) in starry flounder *Platichthys stellatus* with water temperature rise (15→27°C). Each value represents means±S.E.M. ($n=10$). Different letters indicate statistical differences among the water temperature groups ($P<0.05$). ND: no difference between the 15°C group (fasting for 1 day) and the 15°C-con. group (fasting for 13 days).

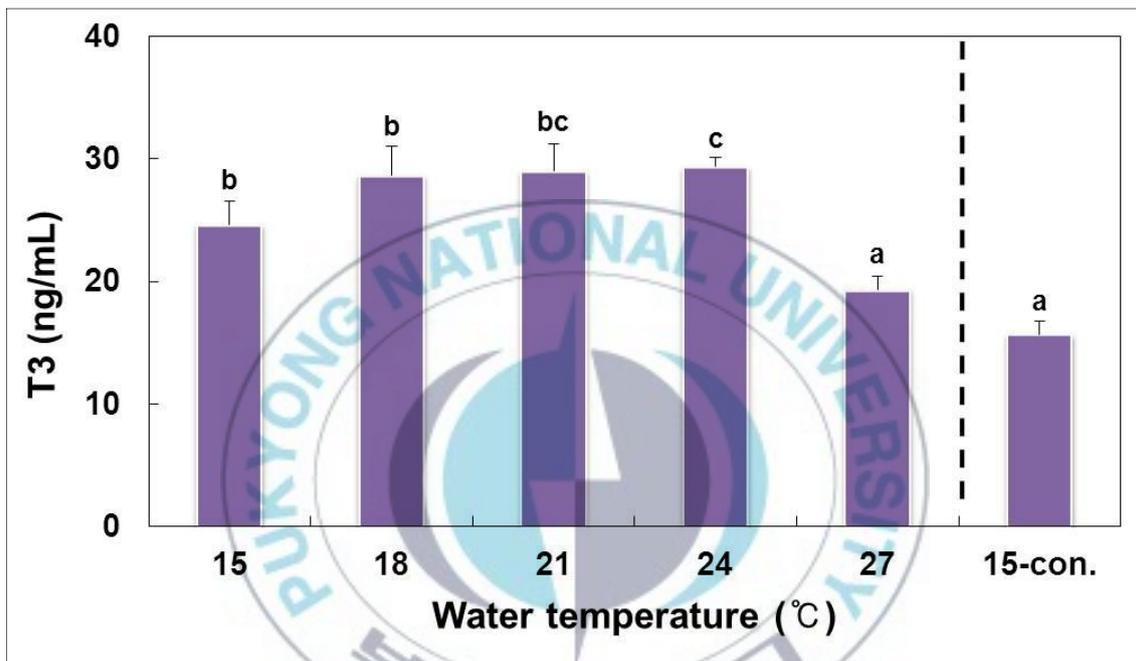


Fig. 12. Levels of plasma T_3 in starry flounder *Platichthys stellatus* with water temperature rise (15→27°C). Each value represents means±S.E.M. ($n=10$). Different letters indicate statistical differences among the water temperature groups ($P<0.05$). ND: no difference between the 15°C group (fasting for 1 day) and the 15°C-con. group (fasting for 13 days).

IV. 고 찰

본 논문은 강도다리에서 수온과 관련된 스트레스 반응을 조사한 첫 번째 연구이며, 강도다리 양식을 위한 기초 자료로서 활용 가능할 것으로 판단된다. 본 연구에서 1차 스트레스 반응으로 각 수온별 cortisol 농도를 조사하였는데, 주위 수온이 상승함에 따라 호르몬 농도가 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 그러나 어류에서 cortisol의 정상 수치는 종, 크기, 성별, 사육조건에 따라 달라질 수 있으며, 연어 (*Oncorhynchus keta*) 30~40 ng/mL (Pickering and Pottinger, 1989), 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*) 5~50 ng/mL (Auperin et al., 1997), 감성돔 (*Acanthopagrus schlegeli*) 10~35 ng/mL (Chang et al., 2002; Min et al., 2003) 등의 결과가 보고된 바 있다. Min et al. (2009)과 Kim et al. (2009)의 결과에 의하면, 강도다리의 담수 순화 연구에서 안정시 cortisol 수준은 각각 30 ng/mL, 10 ng/mL로 보고된 바 있다. 따라서 본 연구는 21°C까지 관찰된 20~24 ng/mL의 cortisol 농도가 정상 수치로 어류에서 스트레스가 유발되지 않았던 것으로 판단된다.

Glucose 농도는 일반적으로 스트레스에 의해 증가된다. Glucose의 증가는 간에서 당신생 효소인 phosphoenolpyruvate carboxykinase (PEPCK)의 당신생능을 향상시키기 위한 cortisol에 의해 이루어진다(Hanson and Reshef, 1997). 본 연구에서, glucose는 cortisol의 증가 경향과 유사하며, cortisol은 당신생능을 촉진하는 것으로 판단된다. 고혈당(hyperglycemia)은 스트레스에 의해 증가된 에너지 요구량을 충족시키기 위한 것으로 알려져 있다(Vijayan et al., 1997). 대서양 연어 (*Salmo salar*) (Olsen et al., 1995)와 red drum (*Sciaenops ocellatus*) (Robertson et al., 1988)에 급격한 스트레스를 가하면, 이들 어종의 cortisol과 glucose 수치의 증가는 동시에 이루어진다. 게다가 고혈당은 sunshine bass (*Morone chrysops* × *Morone saxatilis*) (Davis, 2004), 무지개 송어

(*Oncorhynchus mykiss*) (Meka and McCormick, 2005), bullhead (*Ictalurus melas*) (Ottolenghi et al., 1995)에서 수온상승에 따른 스트레스 반응에 의한 결과라는 보고가 있다. 본 연구에서도 강도다리에서 수온상승에 따른 혈장 glucose 수치의 증가가 관찰되었다.

해수어류는 삼투압 차이로 인해 빠져나간 수분과 외피나 특히 아가미 상피세포를 통해 흡수된 이온을 장을 통한 해수의 흡수와 염류세포를 통해 다량의 Na^+ , Cl^- 이온을 분출함으로써 상쇄시킨다(Wendelaar Bonga, 1997). 일반적인 해수어류에서 핸들링, 급격한 염분 변화, 중금속과 오염물질, 암모니아, 물 산성화, 또는 갑작스런 수온 변화는 이온의 흡수 증가와 수분의 손실을 일으킨다(Eddy, 1981). 이러한 영향은 이온 항상성과 산염기 균형을 유지하려는 어체의 능력이 떨어지는 것과 관계가 있다. 본 연구에서 24°C와 27°C 실험구에서 Na^+ , Cl^- 이온 및 삼투질 농도가 유의하게 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 이 결과는 24°C 이상의 고수온이 삼투압 조절의 문제로 인해 강도다리의 이온·삼투성의 불균형을 일으키고 폐사를 유발한다는 이전의 결과와도 일치한다.

일반적인 상황에서 AST 및 ALT는 단백질 대사에 중요한 작용을 하면서 주로 간세포 내에 존재한다. 간이 손상을 입었을 때, AST 및 ALT는 혈중으로 분비된다(Ming et al., 2012). 따라서, amino transfer enzyme의 활성을 조사하여 어류의 건강도를 추측할 수 있으며, 급격한 염분·수온 변화, 저산소, pH, 암모니아 또는 중금속에 의한 스트레스 반응의 평가지표로도 활용이 가능하다(Pan et al., 2003). Choi et al. (2007)은 고수온을 유지하였을 때 감성돔의 효소가 증가하는 것을 보고하였다. 본 연구에서도 24°C와 27°C에서 강도다리의 AST 및 ALT 수치가 15~21°C 실험구보다 유의하게 더 높아 비슷한 현상이 관찰되었다. 이것은 강도다리의 간세포가 고수온에 의해 손상을 입었다는 것을 의미하며, 간 기능 또한 저하된 것으로 판단된다.

어류에서 시상하부-뇌하수체-갑상선(hypothalamic-pituitary-thyroid, HPT) 축은 분비하는 갑상선호르몬이 발생배와 부화 후 성장, 번식 기능과 습성 및 스트레스 반응을 포함한 다양한 생물학적 기능을 하는 필수적인 조절장치이다 (Crockford, 2003). 어류에서 HPT 축은 여러가지 스트레스 요인에 반응을 하는 것으로 알려져 있다(Peter, 2011). 25°C 이상의 고수온 스트레스에 의한 T₃ 증가는 감성돔의 해수 적응에서도 관찰된 바 있다(Choi et al., 2007). 따라서, 본 연구에서 T₃는 수온 스트레스에 의해 증가된 것으로 예상된다. 수온이 24°C에 도달했을 때 T₃ 농도가 증가한 바 있다. 그러나 27°C에서는 15°C보다 유의하게 감소하였다. 27°C에서 T₃ 수치가 감소한 것은 장기간(13일)의 실험 진행 중 절식에 따른 결과인 것으로 추측할 수 있다. 먹이공급을 제한하는 동안 갑상선호르몬 수치가 감소한다는 것은 잘 알려져 있다(Navarro and Gutierrez 1995; MacKenzie et al. 1998). 또한, T₃ 수치가 낮게 보고된 사례는 절식에 의한 반응을 관찰한 다른 연구에서도 찾아 볼 수 있다(Farbridge and Leatherland, 1992; Gaylord et al., 2001).

결론적으로 본 연구의 결과는 24°C 이상의 수온이 강도다리 스트레스 반응의 생리학적 지표에 의미있는 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 강도다리를 여름철 24°C 이상에서 장기간 사육한다면, 생리학적인 기능이 약해지고 성장이 지연되며 심지어 폐사에 이르게 될 수 있다고 판단된다.

감사의 글

학문의 길은 참으로 먼 것 같습니다. 새로운 도전이라는 마음으로 학교와 직장을 병행하느라 학교생활에 전념할 수 없었던 저에게 격려와 용기를 주시고 좀더 발전할 수 있도록 세심한 가르침과 배려로 학문의 깊이를 더해 주신 장영진 교수님께 머리 숙여 감사의 인사를 드립니다. 그리고 바쁜 와중에도 석사학위 논문을 교정해 주시고 심사해 주신 김창훈 교수님, 민병화 박사님께도 감사드리고, 대학원 과정 동안 학문적 가르침을 주신 허성범 교수님, 김동수 교수님, 배승철 교수님, 남윤권 교수님, 김종명 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다.

또한, 논문작성에 필요한 실험, 분석과 자료정리에 애써 준 국립수산물품질관리원 도용현 연구원과 번식생리학연구실의 김기태 군, 류준형 군 외에 많은 선배님께도 고마움을 전합니다.

아울러, 연구소의 많은 업무에도 불구하고 본 연구에 필요한 생물지원과 기자재 사용에 아낌없는 지원을 해주신 부산광역시 수산자원연구소 이상윤 소장님과 직원 여러분들께도 감사의 말씀을 드립니다.

마지막으로 오늘의 제가 있기까지 늘 자식의 성공을 바라는 어머니와 학업에 전념할 수 있도록 배려해 준 사랑하는 아내 박정연, 본 대학 화학공학과에 재학 중인 딸 이다은, 이제 고등학교 3학년이 되는 아들 이정욱에게 감사와 기쁨을 함께 나누고자 합니다

참 고 문 헌

- Barton BA, Iwama GK (1991) Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annu Rev Fish Dis* 1:3-26
- Auperin B, Baroiller JF, Ricordel MJ, Fostier A, Prunet P (1997) Effect of confinement stress on circulation levels of growth hormone and two prolactins in freshwater-adapted tilapia, *Oreochromis niloticus* (L). *Gen Comp Endocrinol* 108:35-44
- Barnett CW, Pankhurst NW (1998) The effects of common laboratory and husbandry practices on the stress response of greenback flounder *Rhombosolea tapirina* (Günther, 1862). *Aquaculture* 162:313-329
- Brown CL, Bern HA (1989) Thyroid hormones in early development with special reference to teleost fishes. In: Schreibman MP, Scanes CG (eds) *Development, Maturation and Senescence of Neuroendocrine Systems*. Academic Press, New York, US, pp 289-306
- Carmichael GJ, Tomasso JR, Simco BA, Davis KB (1984) Characterization and alleviation of stress associated with hauling largemouth bass. *Trans Am Fish Soc* 113:778-785
- Chang YJ, Min BH, Chang HJ, Hur JW (2002) Comparison of blood physiology in black seabream (*Acanthopagrus schlegeli*) cultured in converted freshwater from seawater and seawater from freshwater. *J Korean Fish Soc* 35:595-600
- Choi CY, Min BH, Jo PG, Chang YJ (2007) Molecular cloning of PEPCK and stress response of black porgy (*Acanthopagrus schlegeli*) to increased

temperature in freshwater and seawater. Gen Comp Endocrinol
152:47-53

Chyung MK (1977) The Fishes of Korea. Iijisa Press, Seoul, Korea

Crockford SJ (2003) Thyroid rhythm phenotypes and hominid evolution: a new paradigm implicates pulsatile hormone secretion in speciation and adaptation changes. Comp Biochem Physiol 135:105-129

Davis KB (2004) Temperature affects physiological stress responses to acute confinement in sunshine bass (*Morone chrysops* × *Morone saxatilis*). Comp Biochem Physiol 139A:433-440

Eddy FB (1981) Effects of stress on osmotic and ionic regulation in fish. In: Pickering AD (ed) Stress and Fish. Academic Press, London, UK, pp 77-102

Farbridge KJ, Leatherland JF (1992) Temporal changes in plasma thyroid hormone, growth hormone and free fatty acid concentrations, and hepatic 5'-monodeiodinase activity, lipid and protein content during chronic fasting and re-feeding in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Fish Physiol Biochem 10:245-257

Gaylord TG, MacKenzie DS, Gatlin III DM (2001) Growth performance, body composition and plasma thyroid hormone status of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) in response to short term feed deprivation and refeeding. Fish Physiol Biochem 24:73-79

Hanson RW, Reshef L (1997) Regulation of phosphoenol pyruvate carboxykinase (PEPCK) gene expression. Ann Rev Biochem 66:581-611

Hodgins HO, McCain BB, Hawkes JW (1977) Marine fish and invertebrate diseases, host disease resistance, and pathological effects of petroleum.

- In: Malins DC (ed) Effects of petroleum on arctic and subarctic marine environments and organisms Vol. II. Academic Press, New York, US, pp 95
- Inui Y, Yamano K, Miwa S (1995) The role of thyroid hormone in tissue development in metamorphosing flounder. *Aquaculture* 135:87-98
- Kim YS, Do YH, Min BH, Lim HK, Lee BK, Chang YJ (2009) Physiological responses of starry flounder *Platichthys stellatus* during freshwater acclimation with different speeds in salinity change. *J Aquaculture* 22:28-33
- MacKenzie DS, VanPutte CM, Leiner KA (1998) Nutrient regulation of endocrine function in fish. *Aquaculture* 161:3-25
- McDonald DG, Milligan CL (1992) Chemical properties of the blood. In: Hoar WS, Randall DJ, Farrell AP (eds) *Fish Physiology XIIB*. Academic Press, New York, US, pp 55-133
- McDonald DG, Milligan CL (1997) Ionic, osmotic and acid base regulation in stress. In: Iwama GW, Pickering AD, Sumpter JP, Chreck CB (eds) *Fish Stress and Health in Aquaculture*, Society for Experimental Biology Seminar Series 62. Cambridge University Press, London, UK, pp 119-144
- Meka JM, McCormick SD (2005) Physiological response of wild rainbow trout to angling: impact of angling duration, fish size, body condition, and temperature. *Fish Res* 72:311-322
- Min BH, Kim BK, Hur JW, Bang IC, Byun SK, Choi CY, Chang YJ (2003) Physiological responses during freshwater acclimation of seawater-cultured black porgy (*Acanthopagrus schlegeli*). *Korean J*

Ichthyol 15:224-231

- Min BH, Lim HK, Chang YJ, Kim YS, Myeong JI (2009) Effects of 3,5,3'-Triiodothyronine (T₃) on osmoregulation following freshwater acclimation in starry flounder. *Dev Reprod* 13:313-320
- Ming J, Xie J, Xu P, Ge X, Liu W, Ye J (2012) Effects of emodin and vitamin C on growth performance, biochemical parameters and two HSP70s mRNA expression of Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala* Yih) under high temperature stress. *Fish Shellfish Immunol* 32:651-661
- Navarro I, Gutierrez J (1995) Fasting and starvation. In: Hochachka PW, Mommsen TP (eds) *Biochemistry and Molecular Biology of Fishes* Vol. 4. Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands, pp 393-434
- Olsen YA, Einarsdottir IE, Nilssen KJ (1995) Metomidate anaesthesia in Atlantic salmon, *Salmo salar*, prevents plasma cortisol increase during stress. *Aquaculture* 134:155-168
- Ottolenghi C, Puviani AC, Ricci D, Brighenti L, Morsiani E (1995) The effect of high temperature on blood glucose level in two teleost fish (*Ictalurus melas* × *Ictalurus punctatus*). *Comp Biochem Physiol* 111A:229-235
- Pan CH, Chien YH, Hunter B (2003) The resistance to ammonia stress of *Penaeus monodon* Fabricius juvenile fed diets supplemented with astaxanthin. *J Exp Mar Biol Ecol* 297:107-118
- Perry SF, Reid SD (1993) b-Adrenergic signal transduction in fish: interactive effects of catecholamines and cortisol. *Fish Physiol Biochem* 11:195-203

- Pickering AD, Pottinger TG (1989) Stress responses and disease resistance in salmonid fish: effect of chronic elevation of plasma cortisol. *Fish Physiol Biochem* 7:253-258
- Robertson L, Thomas P, Arnold CR (1988) Plasma cortisol and secondary stress responses of cultured red drum (*Sciaenops ocellatus*) to several transportation procedures. *Aquaculture* 68:115-130
- Tomasso JR, Davis KB, Parker NC (1980) Plasma corticosteroid and electrolyte dynamics of hybrid striped bass (white bass×striped bass) during netting and hauling stress. *Proc World Maricult Soc* 11:303-310
- Vijayan MM, Leatherland JF (1989) Cortisol-induced changes in plasma glucose, protein, and thyroid hormone levels and liver glycogen content of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch* Walbaum). *Can J Zool* 67:2746-2750
- Vijayan MM, Pereira CE, Grau G, Iwama GK (1997) Metabolic responses associated with confinement stress in tilapia: the role of cortisol. *Comp Biochem Physiol* 116C:89-95
- Wendelaar Bonga SE (1993) Endocrinology. In: Evans DH (ed) *The Physiology of Fishes*. CRC Press, FL, US, pp 469-502
- Wendelaar Bonga SE (1997) The stress response in fish. *Physiol Rev* 77