

점농어 치어에 대한 적정 마취제 및 농도 규명 연구

이선식

I. 서 론

어류에 대한 마취는 양식 과정에서 행해지는 계측, 채혈, 질병치료, 인공종자생산, 수송, 선별, 표지작업 및 수술작업 등을 할 때 물리적인 상처를 막고 대사 기능 활성화를 감소시켜 어류에 주는 스트레스를 최소화하기 위하여 시행하는 것이 일반적이다 (Park et al., 1988, 2003, Anschau et al. 2014)

어류의 마취 방법에는 전기 충격이나 저온 처리 등 물리적인 방법과 화학약품을 사용하는 방법이 있다. 그동안 동물용 화학약품 마취제로 사용되어 온 것으로는 Benzocaine, Carbon dioxide, Lidocaine-HCl, Clove oil, Isoeugenol, Ketamine, Methyl salicylate, Metomidate, Phenoxyethanol, Quinaldine, Spearmint, Urea, Xylazine, MS-222 (Ethyl 3-aminobenzoate methanesulfonate) 등 다양하게 사용되고 있으며 어종, 어체중, 수온에 따라 그 효과와 사용량이 다르기 때문에 (Mattson and Ripley, 1989; kang et al., 2005; Park et al., 2009) 선택할 때에는 효과 뿐만 아니라 경제성, 사용의 간편성, 생물에 미치는 독성 여부, 인간과 환경에 미치는 영향에 대한 검토가 필요하다.

또한, 마취제별로 대상생물에 따라 적정 농도와 마취 후 회복과정에서의 스트레스 영향 정도가 다르기 때문에 대상생물에게 적합한 마취제를 탐색하고 적정 농도를 사용하는 것이 매우 중요하다.

MS-222는 어류에 사용되는 가장 일반적인 마취제 중 하나로서 미국 식품의약 안전청(Food and Drug Administration, FDA)으로부터 유일하게 수산용 마취제로서 승인받은 마취제이지만, 비싸고 어류 처리 후 식용까지 최소한 21일간의 사용 정지기간이 의무적으로 요구되고 있다(Summerfelt and Smith, 1990).

2-phenoxyethanol은 저렴하고 안정적이며 효율적인 마취제로 최근에 많은 어류에 테스트되고 있다(Gilderhus and Marking, 1987; Hseu et al., 1994; Weyl et al., 1996; Weber et al., 2009).

따라서, 본 연구에서는 점농어 치어를 대상으로 효율적이고 안전한 마취제를 탐색하고 양식산업에 활용하기 위하여 MS-222와 2-phenoxyethanol에 대해 수온 및 농도별 마취 및 회복시간 측정을 통해 경제적이고 안정적인 마취제를 선택하고 마취제별 적정 농도를 규명하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 실험어

실험어는 2019년 10월 31일 전남 여수 경양수산에서 공급받은 수정란을 이용하여 영흥화력본부 냉각수활용 어류생산동에서 종자생산한 평균 전장 7.85 ± 0.68 mm, 평균 체중 5.77 ± 0.84 g의 점농어 치어를 사용하였다. 실험어는 실험전까지 지름 7m 46톤 원형 콘크리트 수조에서 배합사료를 1일 3회 공급하면서 유수식(8회전/일)으로 사육하였으며, 사육 환경은 자연수온 $4.5 \sim 18.5^{\circ}\text{C}$, 사육수온 $11.8 \sim 22.0^{\circ}\text{C}$, DO $7.55 \sim 12.84$ mg/l, pH $7.86 \sim 8.59$, 염분 $30.12 \sim 31.90$ ‰을 유지하였다(그림 1). 수온의 급격한 변화에 대한 스트레스를 최소화하기 위하여 1일 1°C 씩 서서히 상승시키고 실험 수온에 도달하면 1주일간 안정시킨 후 실험시작전 48시간동안 절식한 후 마취 실험을 실시하였다.

2. 마취제

마취제는 Ethyl 3-aminobenzoate methanesulfonate (MS-222, Sigma Aldrich Co., St. Louis, USA)와 2-phenoxyethanol (Sigma Aldrich Co., Steinheim, Germany)을 사용하였다.

3. 마취 및 회복시간

마취농도는 MS-222는 100, 200, 400, 600, 800 mg L⁻¹으로 설정하고,

2-phenoxyethanol은 400, 600, 800, 1000, 1200 mg L⁻¹으로 설정하여 마취 및 회복시간을 조사하였다. 마취는 10 L 원형 수조에 5 L의 해수를 채우고 해당 농도의 마취제를 용해시킨 후 실험어를 1마리씩 수용하여 10반복으로 실시하였다. 마취 및 회복의 판단은 Keene et al.(1998)의 연구결과를 참고하여 판단하였는데, 마취가 완료된 시점은 실험어가 유영을 완전히 멈추고 평형감각을 잃고 바닥에 가라앉은 후 (stage A3) 외부 자극에 반응하지 않고 거의 움직임이 정지되는 시점(stage A5)으로 하였다(표 1). 마취가 완료된 실험어는 즉시 10 L 원형수조로 옮겨 회복시간을 측정하였다. 회복수조에는 사육수를 계속적으로 공급하였고 에어스톤을 설치하여 산소를 공급하였다. 회복 시점은 실험어가 의식을 회복하여 아가미 덮개 운동을 활발히 하면서(stage R3) 정상 체위를 유지하는 시점(stage R5)을 회복이 완료 되었다고 판단하였다(표 1). 마취 및 회복시간은 초단위까지 측정하였다. 실험 수온은 12, 15, 18℃에서 실시하였다. 각각의 실험어는 오직 1번만 실험에 이용하였다.

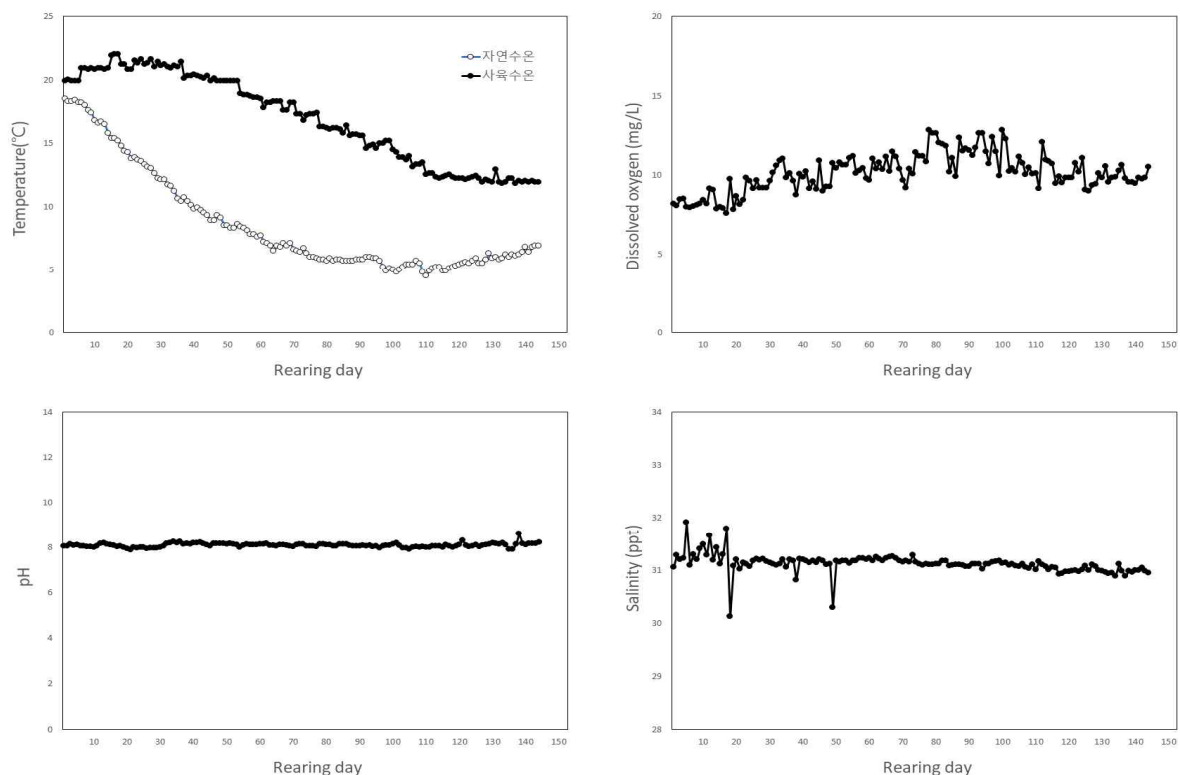


그림 1. 점농어 종자생산 기간 동안 사육환경

표 1. 어류의 마취 및 회복 단계(Keen et al., 1998)

Stage		Descriptor	Condition and behavior
Anesthesia	A3	Loss of equilibrium	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Total loss of equilibrium ▪ Pectoral fins moving ▪ Regular opercular ventilation
	A5	Deep anesthesia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No movement ▪ Loss of responsiveness to tactile stimuli
Recovery	R3	Regain of equilibrium	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Complete and permanent recovery of equilibrium ▪ Regular opercular ventilation
	R5	Complete recovery	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Responsiveness to visual stimuli ▪ Avoidance swimming

4. 통계처리

실험결과의 통계적 유의성 검정을 위해서 모든 결과의 통계처리는 SPSS program(Cicago, IL, USA)에 의한 일원분산분석(one-way ANOVA test)을 시행하였고, 사후검정은 Tukey 분석으로 유의수준 5% 이내 ($p < 0.05$)로 각 평균값에 대한 유의적 차이를 조사하였다.

III. 결 과

1. Tricaine methanesulfonate(MS-222)

(1) 수온별 농도에 따른 마취 및 회복시간

점농어 치어를 대상으로 12℃에서 MS-222의 농도별 마취 및 회복 시간은 표 2에 나타내었다. 12℃에서 MS-222의 농도가 높아짐에 따라 마취시간은 유의적으로 짧아졌으나($p < 0.05$), 높은 농도인 600, 800 mg L⁻¹에서는 유의적 차이가 없었다.

회복시간은 저농도그룹인 100, 200, 300 mg L⁻¹에서는 유의적인 차이가 보이지 않았으나, 농도가 높아질수록 유의적으로 길어지는 경향을 보였다($p < 0.05$).

12℃에서 이상적인 마취제의 조건인 마취시간 3분(180초) 이내에 해당하는 농도는 400, 600, 800 mg L⁻¹이고, 회복시간 5분(300초) 이내에 해당하는 농도는 100, 200, 400 mg L⁻¹로 나타났다. 하지만 두가지 조건에 모두 충족하고 가장 경제적인 MS-222의 적정 농도는 400 mg L⁻¹인 것으로 나타났다.

표 2. 12℃에서 점농어 치어에 대한 MS-222 농도별 마취 및 회복시간

농도(mg L ⁻¹)	마취시간(초)	회복시간(초)
100	343.9 ± 39.4 ^a	126.2 ± 17.9 ^a
200	181.1 ± 27.8 ^b	189.2 ± 23.3 ^{ab}
400	71.8 ± 15.4 ^c	255.1 ± 59.1 ^{bc}
600	41.4 ± 6.4 ^d	324.2 ± 46.4 ^c
800	32.5 ± 2.4 ^d	402.9 ± 91.0 ^d

※ 각 값들은 “평균±표준편차”로 나타냈고, 각 값들의 각기 다른 윗첨자는 유의적 차이가 있음을 나타냄 ($p < 0.05$) (n=10).

수온 12℃에서 MS-222로 마취시켰을 경우 농도별 평균 마취 시간과 회복 경향을 보면 그림 2와 그림 3에서 보는 바와 같다.

MS-222의 농도(x)가 높아질수록 마취시간(y)은 포물선 형태로 감소하여 $y = 367.27 e^{-0.003x}$ ($R^2 = 0.9099$)의 상관관계를 보였으나(그림 2), 회복시간은 MS-222의 농도(x)가 높아질수록 회복시간(y)도 길어지면서 $y = 124.27 e^{0.0015x}$ ($R^2 = 0.8042$)의 상관관계를 보였다(그림 3).

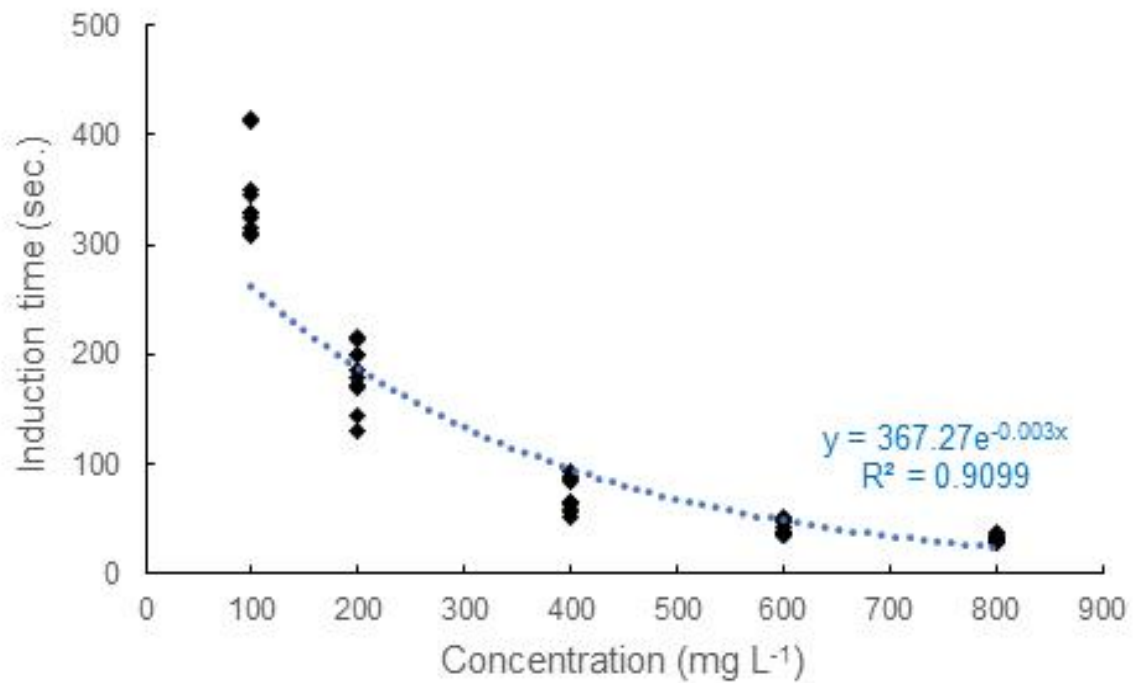


그림 2. 12℃에서 점농어 치어의 MS-222 농도와 마취시간과의 상관관계(n=10)

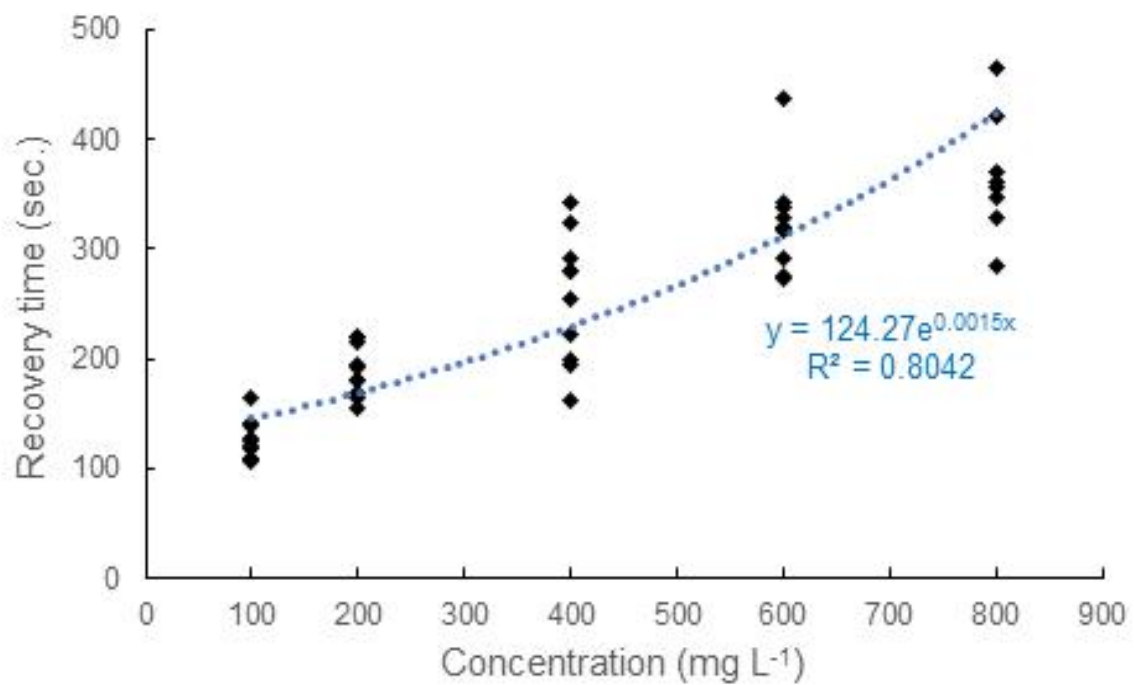


그림 3. 12℃에서 점농어 치어의 MS-222 농도와 회복시간과의 상관관계(n=10)

점농어 치어를 대상으로 15℃에서 MS-222의 농도별 마취 및 회복 시간은 표 3에 나타내었다. 15℃에서 MS-222의 농도가 높아짐에 따라 마취시간은 유의적으로 짧아졌으나($p < 0.05$), 높은 농도인 600, 800 mg L⁻¹에서는 유의적 차이가 없었다. 회복시간은 농도가 높아질수록 유의적으로 길어지는 경향을 보였다($p < 0.05$).

15℃에서 이상적인 마취제의 조건인 마취시간 3분(180초) 이내에 해당하는 농도는 200, 400, 600, 800 mg L⁻¹로 나타났고, 회복시간 5분(300초) 이내에 해당하는 농도는 100, 200, 400, 600 mg L⁻¹로 나타났다. 하지만 두가지 조건에 모두 충족하면서 가장 경제적인 MS-222의 적정 농도는 200 mg L⁻¹인 것으로 나타났다.

표 3. 15℃에서 점농어 치어에 대한 MS-222 농도별 마취 및 회복시간

농도(mg L ⁻¹)	마취시간(초)	회복시간(초)
100	306.3±26.2 ^a	115.1±13.0 ^a
200	166.8±18.4 ^b	157.6±26.1 ^b
400	66.0±22.6 ^c	206.8±29.5 ^c
600	38.2±4.2 ^d	276.2±20.7 ^d
800	30.9±3.7 ^d	345.8±16.5 ^e

※ 각 값들은 “평균±표준편차”로 나타냈고, 각 값들의 각기 다른 윗첨자는 유의적 차이가 있음을 나타냄 ($p < 0.05$) (n=10).

수온 15℃에서 MS-222로 마취시켰을 경우 농도별 평균 마취 시간과 회복 경향을 보면 그림 4와 그림 5에서 보는 바와 같다.

MS-222의 농도(x)가 높아질수록 마취시간(y)은 포물선 형태로 감소하여 $y = 328.18e^{-0.003x}$ ($R^2 = 0.8984$)의 상관관계를 보였으나(그림 4), 회복시간은 MS-222의 농도(x)가 높아질수록 회복시간(y)도 길어지면서 $y = 107.35e^{0.0015x}$ ($R^2 = 0.9039$)의 상관관계를 보였다(그림 5).

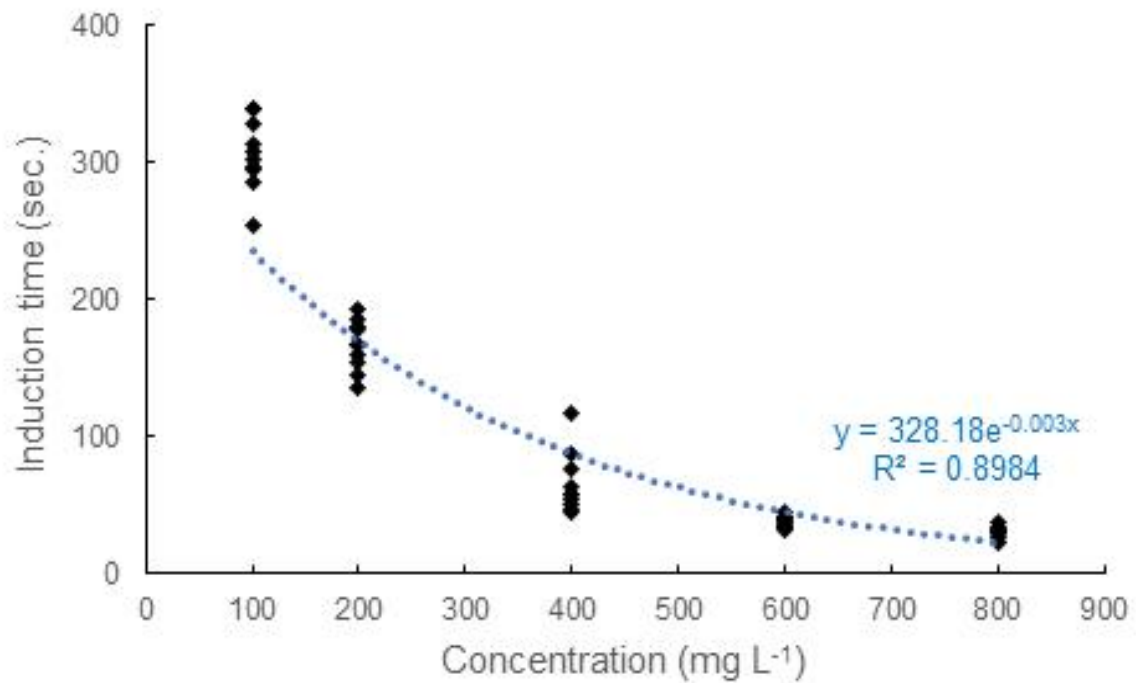


그림 4. 15℃에서 점농어 치어의 MS-222 농도와 마취시간과의 상관관계(n=10)

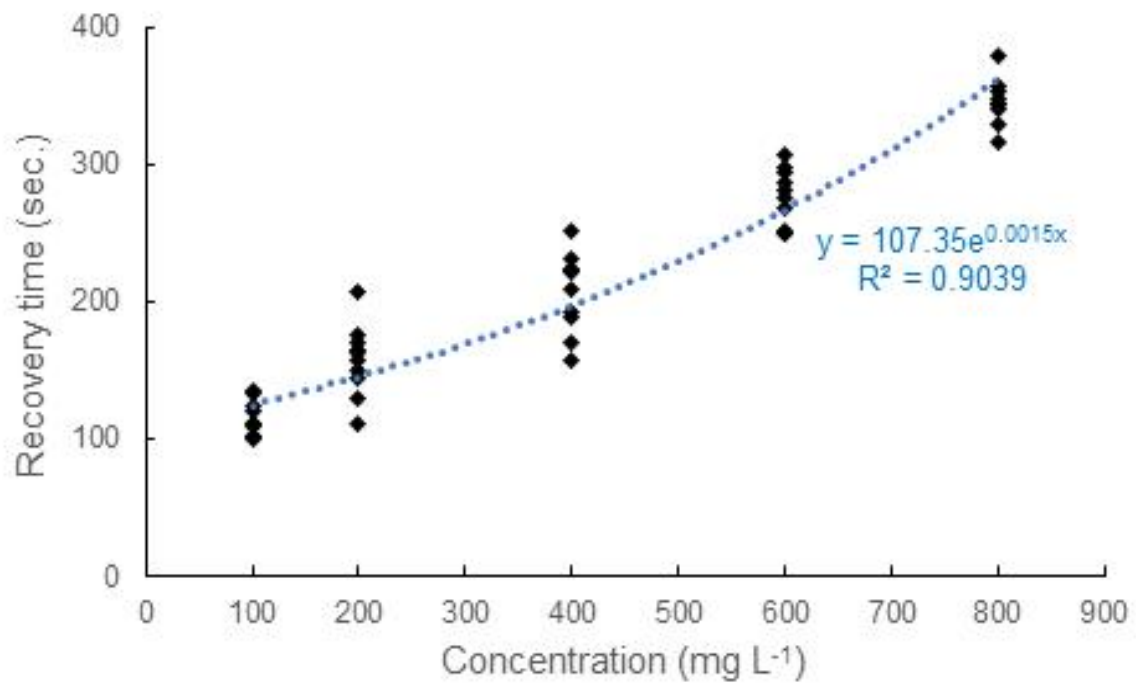


그림 5. 15℃에서 점농어 치어의 MS-222 농도와 회복시간과의 상관관계(n=10)

점농어 치어를 대상으로 18℃에서 MS-222의 농도별 마취 및 회복 시간은 표 4에 나타내었다. 18℃에서 MS-222의 농도가 높아짐에 따라 마취시간은 유의적으로 짧아졌으나($p < 0.05$), 높은 농도인 600, 800 mg L⁻¹에서는 유의적 차이가 없었다. 회복시간은 농도가 낮은 100, 200ppm에서는 유의적인 차이가 보이지 않았으나, 농도가 높아질수록 유의적으로 길어지는 경향을 보였다($p < 0.05$).

18℃에서 이상적인 마취제의 조건인 마취시간 3분(180초) 이내에 해당하는 농도는 200, 400, 600, 800 mg L⁻¹로 나타났고, 회복시간 5분(300초) 이내에 해당하는 농도는 100, 200, 400, 600 mg L⁻¹로 나타났다. 하지만 두가지 조건에 모두 충족하면서 가장 경제적인 MS-222의 적정 농도는 200 mg L⁻¹인 것으로 나타났다.

표 4. 18℃에서 점농어 치어에 대한 MS-222 농도별 마취 및 회복시간

농도(mg L ⁻¹)	마취시간(초)	회복시간(초)
100	210.3±15.5 ^a	100.8±15.2 ^a
200	145.6±15.5^b	138.6±29.5^a
400	56.7±9.1 ^c	186.9±27.8 ^b
600	27.4±2.9 ^d	241.3±35.9 ^c
800	24.3±2.8 ^d	309.2±47.8 ^d

※ 각 값들은 “평균±표준편차”로 나타냈고, 각 값들의 각기 다른 윗첨자는 유의적 차이가 있음을 나타냄 ($p < 0.05$) (n=10).

수온 18℃에서 MS-222로 마취시켰을 경우 농도별 평균 마취 시간과 회복 경향을 보면 그림 6와 그림 7에서 보는 바와 같다.

MS-222의 농도(x)가 높아질수록 마취시간(y)은 포물선 형태로 감소하여 $y = 257.57 e^{-0.003x}$ ($R^2 = 0.9290$)의 상관관계를 보였으나(그림 6), 회복시간은 MS-222의 농도(x)가 높아질수록 회복시간(y)도 길어지면서 $y = 94.046 e^{0.0015x}$ ($R^2 = 0.8479$)의 상관관계를 보였다(그림 7).

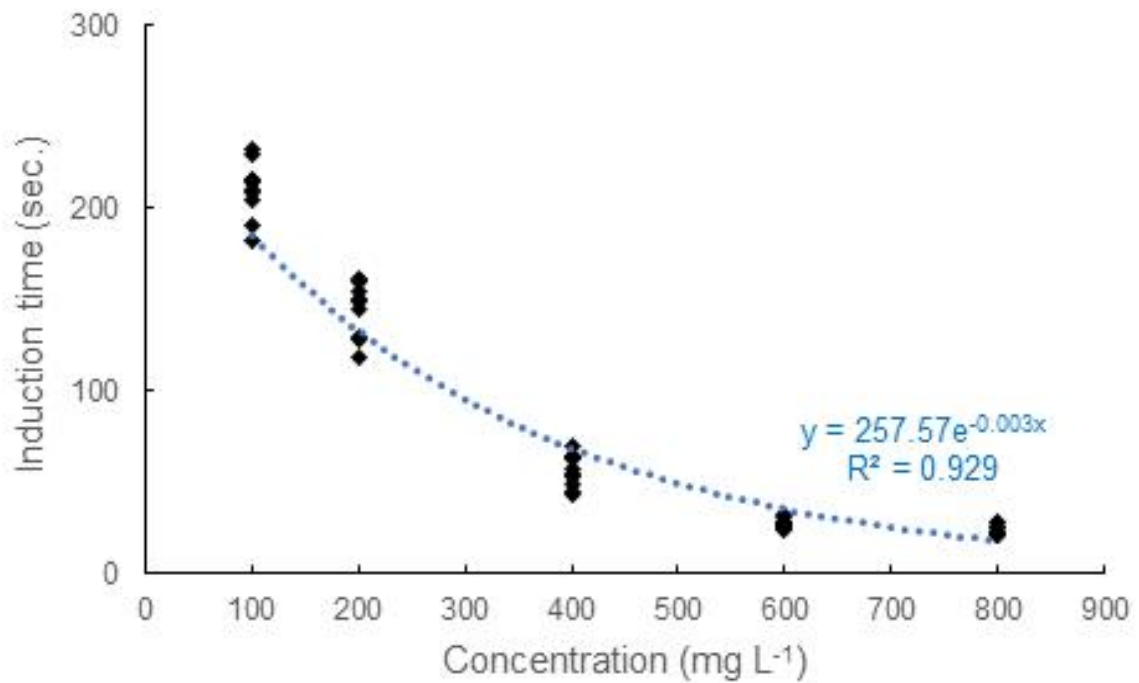


그림 6. 18℃에서 점농어 치어의 MS-222 농도와 마취시간과의 상관관계(n=10)

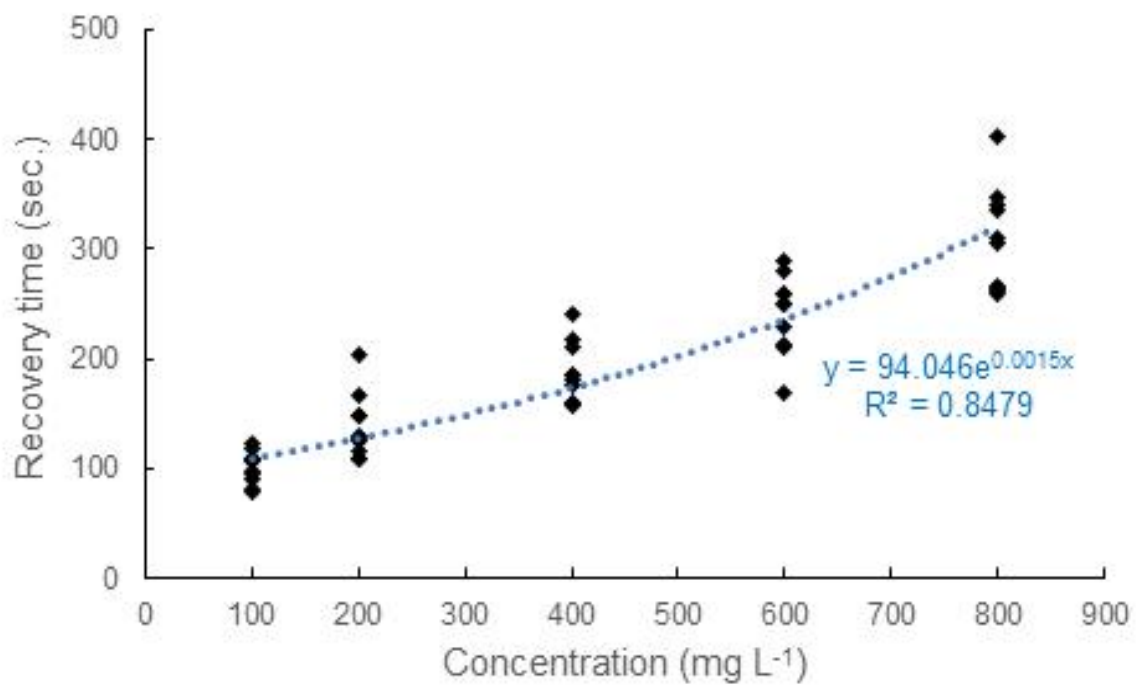


그림 7. 18℃에서 점농어 치어의 MS-222 농도와 회복시간과의 상관관계(n=10)

(2) 농도별 수온에 따른 마취 및 회복시간

MS-222 100 mg L⁻¹의 경우 마취시간은 수온이 증가할수록 유의적으로 감소하였고 ($p < 0.05$), 회복시간은 수온이 증가할수록 짧아지는 경향은 보이지만 12℃와 18℃만 유의적인 차이가 나타났다($p < 0.05$).

표 5. MS-222 100 mg L⁻¹에 마취한 점농어 치어의 수온별 마취 및 회복시간

수온(℃)	마취시간(초)	회복시간(초)
12	343.9 ± 39.4 ^a	126.2 ± 17.9 ^a
15	306.3 ± 26.2 ^b	115.1 ± 13.0 ^{ab}
18	210.3 ± 15.5 ^c	100.8 ± 15.2 ^b

※ 각 값들은 “평균±표준편차”로 나타냈고, 각 값들의 각기 다른 윗첨자는 유의적 차이가 있음을 나타냄 ($p < 0.05$) (n=10).

MS-222 200 mg L⁻¹의 경우 마취시간은 수온이 증가할수록 유의적으로 감소하였고 ($p < 0.05$), 회복시간은 수온이 증가할수록 짧아지는 경향은 보이지만 15℃와 18℃는 유의적인 차이를 보이지 않았다.

표 6. MS-222 200 mg L⁻¹에 마취한 점농어 치어의 수온별 마취 및 회복시간

수온(℃)	마취시간(초)	회복시간(초)
12	181.1 ± 27.8 ^a	189.2 ± 23.3 ^a
15	166.8 ± 18.4 ^{ab}	157.6 ± 26.1 ^b
18	145.6 ± 15.5 ^b	138.6 ± 29.5 ^b

※ 각 값들은 “평균±표준편차”로 나타냈고, 각 값들의 각기 다른 윗첨자는 유의적 차이가 있음을 나타냄 ($p < 0.05$) (n=10).

MS-222 400 mg L⁻¹의 경우 마취시간은 수온이 증가할수록 감소하는 경향은 보이나 유의적인 차이를 보이지 않았고, 회복시간은 수온이 증가할수록 짧아지는 경향은 보이나 15℃와 18℃는 유의적인 차이를 보이지 않았다.

표 7. MS-222 400 mg L⁻¹에 마취한 점농어 치어의 수온별 마취 및 회복시간

수온(℃)	마취시간(초)	회복시간(초)
12	71.8±15.4 ^{ns}	255.1±59.1 ^a
15	66.0±22.6	206.8±29.5 ^b
18	56.7±9.1	186.9±27.8 ^b

※ 각 값들은 “평균±표준편차”로 나타냈고, 각 값들의 각기 다른 윗첨자는 유의적 차이가 있음을 나타내며($p < 0.05$), ns는 유의적 차이가 없음을 나타냄 (n=10).

MS-222 600 mg L⁻¹의 경우 마취시간은 12, 15℃는 유의적인 차이를 보이지 않지만 18℃에는 유의적으로 감소하였고($p < 0.05$), 회복시간은 수온이 증가할수록 짧아지는 경향은 보이나 15℃와 18℃는 유의적인 차이가 보이지 않았다.

표 8. MS-222 600 mg L⁻¹에 마취한 점농어 치어의 수온별 마취 및 회복시간

수온(℃)	마취시간(초)	회복시간(초)
12	41.4±6.4 ^a	324.2±46.4 ^a
15	38.2±4.2 ^a	276.2±20.7 ^b
18	27.4±2.9 ^b	241.3±35.9 ^b

※ 각 값들은 “평균±표준편차”로 나타냈고, 각 값들의 각기 다른 윗첨자는 유의적 차이가 있음을 나타냄 ($p < 0.05$) (n=10).

MS-222 800 mg L⁻¹의 경우 마취시간은 12, 15℃는 유의적인 차이를 보이지 않지만 18℃는 유의적으로 감소하였고($p < 0.05$), 회복시간은 수온이 증가할수록 짧아지는 경향은 보이나 12℃와 18℃만 유의적인 차이가 나타났다($p < 0.05$).

표 9. MS-222 800 mg L⁻¹에 마취한 점농어 치어의 수온별 마취 및 회복시간

수온(℃)	마취시간(초)	회복시간(초)
12	32.5±2.4 ^a	402.9±91.0 ^a
15	30.9±3.7 ^a	345.8±16.5 ^{ab}
18	24.3±2.8 ^b	309.2±47.8 ^b

※ 각 값들은 “평균±표준편차”로 나타냈고, 각 값들의 각기 다른 윗첨자는 유의적 차이가 있음을 나타냄 ($p < 0.05$) (n=10).

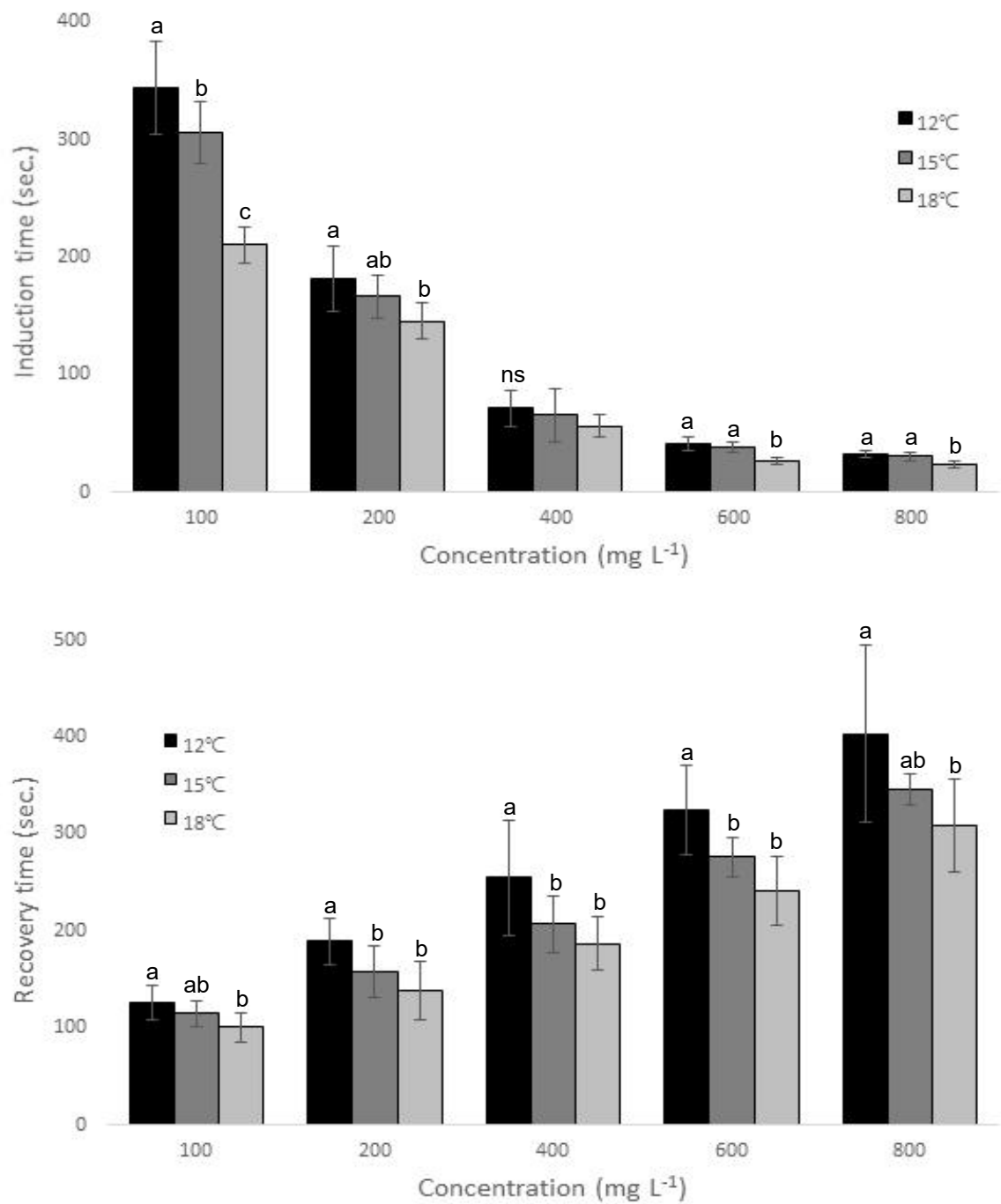


그림 8. 수온에 따른 MS-222 농도별 점농어 치어의 마취 및 회복시간

※ 각 값들은 “평균±표준편차” 로 나타냈고, 각 값들의 각기 다른 윗첨자는 유의적 차이가 있음을 나타내며($p < 0.05$), ns는 유의적 차이가 없음을 나타냄($n=10$).

2. 2-phenoxyethanol(2-PE)

(1) 수온별 농도에 따른 마취 및 회복시간

점농어 치어를 대상으로 12℃에서 2-PE의 농도별 마취 및 회복 시간은 표 10에 나타내었다. 12℃에서 2-PE의 농도가 높아짐에 따라 마취시간은 유의적으로 짧아졌으나($p < 0.05$), 높은 농도인 1000, 1200 mg L⁻¹에서는 유의적 차이가 없었다. 회복시간은 저농도 그룹인 400, 600, 800 mg L⁻¹과 고농도 그룹인 1000, 1200 mg L⁻¹은 유의적인 차이가 보이지 않았으나, 저농도 그룹과 고농도 그룹간에는 유의적 차이를 보였다($p < 0.05$). 12℃에서 이상적인 마취제의 조건인 마취시간 3분(180초) 이내에 해당하는 농도는 600, 800, 1000, 1200 mg L⁻¹이고, 회복시간 5분(300초) 이내에 해당하는 농도는 400, 600, 800, 1000 mg L⁻¹로 나타났다. 하지만, 두가지 조건을 모두 충족하고 가장 경제적인 2-PE의 적정 농도는 600 mg L⁻¹인 것으로 나타났다.

표 10. 12℃에서 점농어 치어에 대한 2-phenoxyethanol 농도별 마취 및 회복시간

투여량(mg L ⁻¹)	마취시간(초)	회복시간(초)
400	334.0 ± 45.2 ^a	192.8 ± 31.5 ^a
600	168.5 ± 33.7 ^b	219.5 ± 39.2 ^{ab}
800	124.7 ± 24.3 ^c	243.2 ± 48.1 ^{bc}
1000	87.4 ± 12.3 ^d	282.7 ± 26.7 ^c
1200	68.3 ± 10.5 ^d	313.6 ± 49.7 ^c

※ 각 값들은 “평균±표준편차”로 나타냈고, 각 값들의 각기 다른 윗첨자는 유의적 차이가 있음을 나타냄 ($p < 0.05$) (n=10).

수온 12℃에서 2-PE로 마취시켰을 경우 농도별 평균 마취 시간과 회복 경향을 보면 그림 9과 그림 10에서 보는 바와 같다.

2-PE의 농도(x)가 높아질수록 마취시간(y)은 포물선 형태로 감소하여 $y = 609.21e^{-0.002x}$ ($R^2 = 0.8895$)의 상관관계를 보였으나(그림 9), 회복시간은 2-PE의 농도(x)가 높아질수록 회복시간(y)도 길어지면서 $y = 0.1524x + 128.44$ ($R^2 = 0.5601$)의 상관관계를 보였다(그림 10).

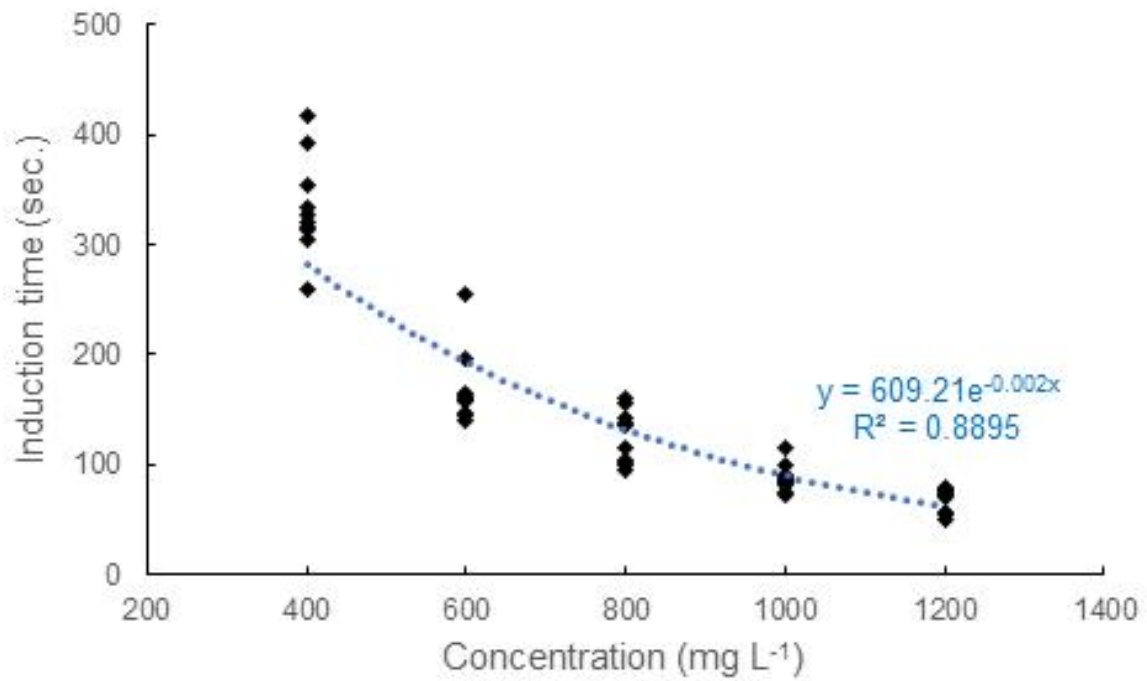


그림 9. 12℃ 에서 점농어 치어의 2-phenoxyethanol 농도와 마취시간과의 상관관계(n=10)

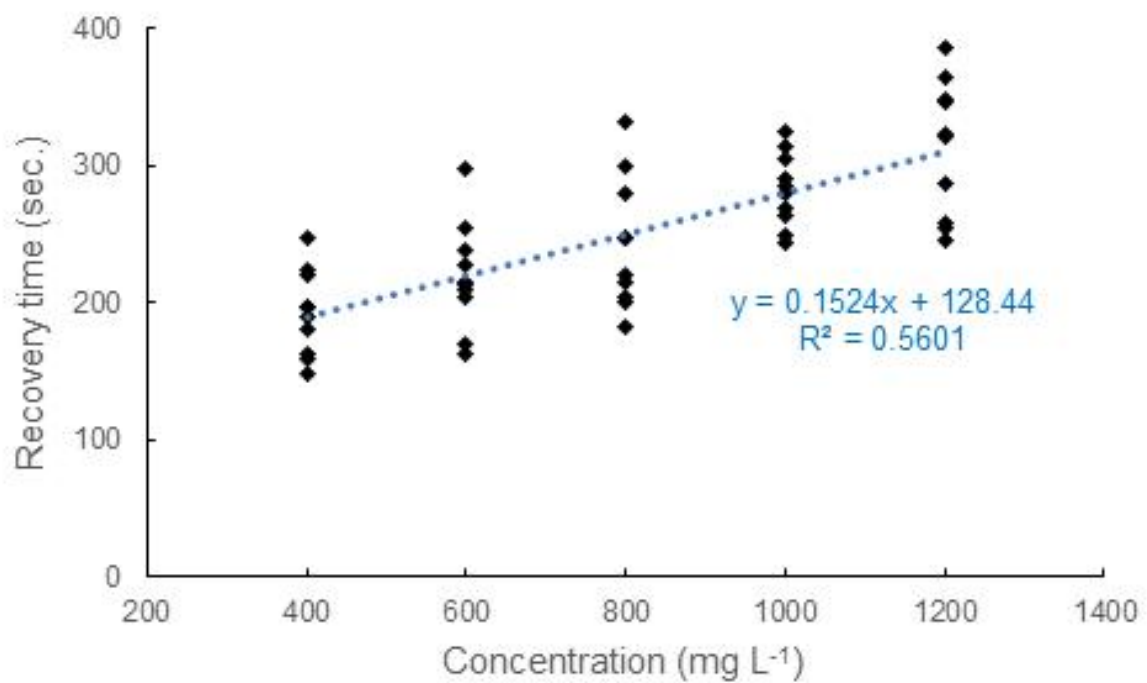


그림 10. 12℃ 에서 점농어 치어의 2-phenoxyethanol 농도와 회복시간과의 상관관계(n=10)

점농어 치어를 대상으로 15℃에서 2-PE의 농도별 마취 및 회복 시간은 표 11에 나타내었다. 15℃에서 2-PE의 농도가 높아짐에 따라 마취시간은 유의적으로 짧아졌으며($p < 0.05$), 회복시간은 600, 800, 1000 mg L⁻¹에서는 유의적인 차이가 보이지 않았으나, 저농도인 400 mg L⁻¹와 고농도인 1200mg L⁻¹과는 유의적 차이를 보였다($p < 0.05$).

15℃에서 이상적인 마취제의 조건인 마취시간 3분(180초) 이내에 해당하는 농도는 600, 800, 1000, 1200 mg L⁻¹로 나타났고, 회복시간 5분(300초)에 해당하는 농도는 400, 600, 800, 1000, 1200 mg L⁻¹로 나타났다. 하지만 두가지 조건에 모두 충족하면서 가장 경제적인 2-PE의 적정 농도는 600 mg L⁻¹인 것으로 나타났다.

표 11. 15℃에서 점농어 치어에 대한 2-phenoxyethanol 농도별 마취 및 회복시간

투여량(mg L ⁻¹)	마취시간(초)	회복시간(초)
400	320.9±17.2 ^a	159.9±19.5 ^a
600	148.8±20.9 ^b	205.1±19.8 ^b
800	113.7±20.6 ^c	213.4±30.7 ^b
1000	83.4±4.8 ^d	231.9±27.4 ^b
1200	63.3±7.3 ^e	274.7±16.4 ^c

※ 각 값들은 “평균±표준편차”로 나타냈고, 각 값들의 각기 다른 윗첨자는 유의적 차이가 있음을 나타냄 ($p < 0.05$) (n=10)

수온 15℃에서 2-PE로 마취시켰을 경우 농도별 평균 마취 시간과 회복 경향을 보면 그림 11와 그림 12에서 보는 바와 같다.

2-PE의 농도(x)가 높아질수록 마취시간(y)은 포물선 형태로 감소하여 $y = 566.71e^{-0.002x}$ ($R^2 = 0.8985$)의 상관관계를 보였으나(그림 11), 회복시간은 2-PE의 농도(x)가 높아질수록 회복시간(y)도 길어지면서 $y = 0.1282x + 114.44$ ($R^2 = 0.6972$)의 상관관계를 보였다(그림 12).

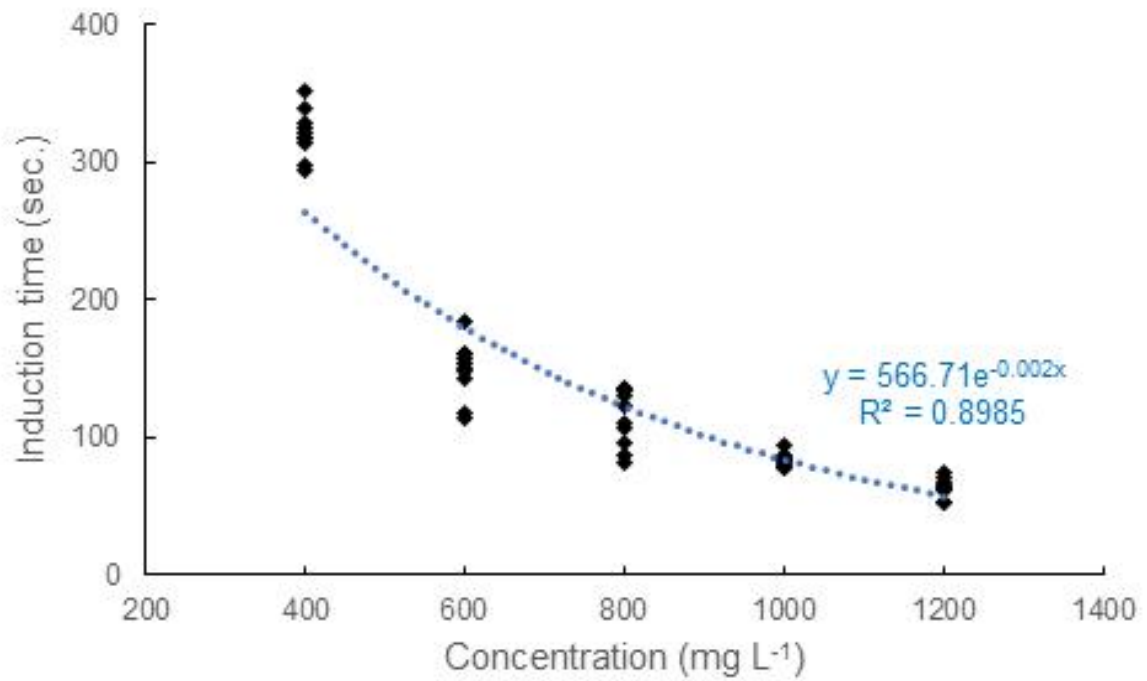


그림 11. 15℃ 에서 점농어 치어의 2-phenoxyethanol 농도와 마취시간과의 상관관계(n=10)

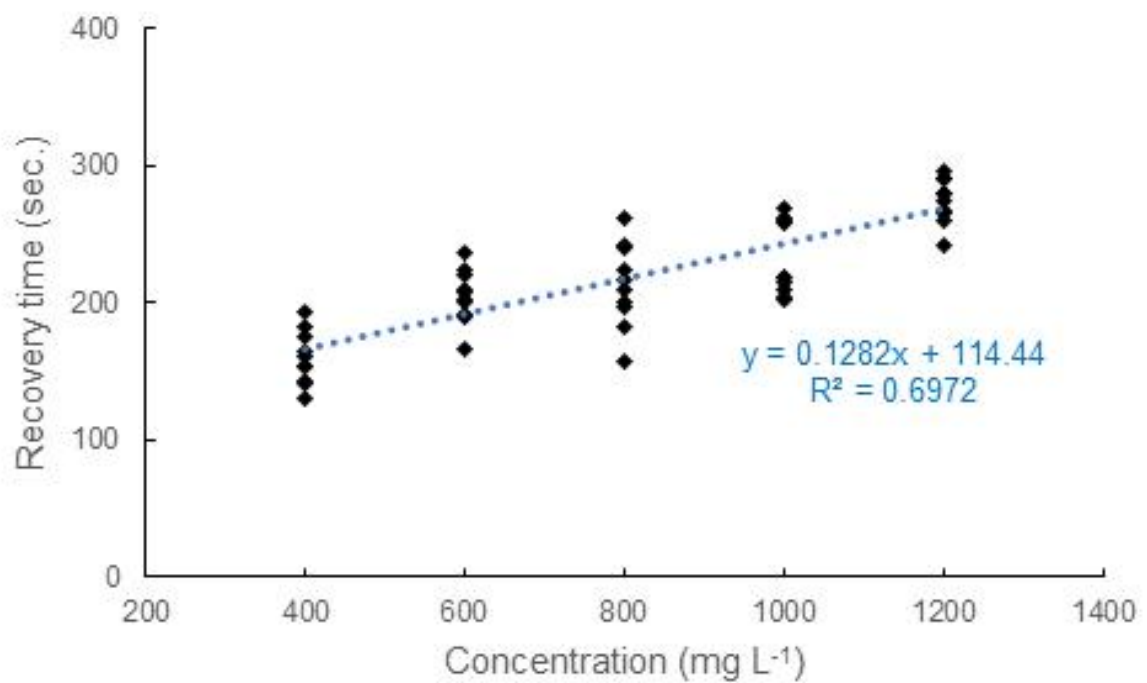


그림 12. 15℃ 에서 점농어 치어의 2-phenoxyethanol 농도와 회복시간과의 상관관계(n=10)

점농어 치어를 대상으로 18℃에서 2-PE의 농도별 마취 및 회복 시간은 표 12에 나타내었다. 18℃에서 2-PE의 농도가 높아짐에 따라 마취시간은 짧아지는 경향을 보였으나, 낮은 농도인 400, 600, 800 mg L⁻¹에서는 유의적으로 짧아졌지만($p < 0.05$), 높은 농도에서는 유의적인 차이가 보이지 않았다. 회복시간은 600, 800, 1000 mg L⁻¹에서는 유의적인 차이가 보이지 않았으나, 저농도인 400 mg L⁻¹와 고농도인 1200mg L⁻¹과는 유의적 차이를 보였다($p < 0.05$).

18℃에서 이상적인 마취제의 조건인 마취시간 3분(180초) 이내에 해당하는 농도는 600, 800, 1000, 1200 mg L⁻¹로 나타났고, 회복시간 5분(300초)에 해당하는 농도는 400, 600, 800, 1000, 1200 mg L⁻¹로 나타났다. 하지만 두가지 조건에 모두 충족하면서 가장 경제적인 2-PE의 적정 농도는 600 mg L⁻¹인 것으로 나타났다.

표 12. 18℃에서 점농어 치어에 대한 2-phenoxyethanol 농도별 마취 및 회복시간

투여량(mg L ⁻¹)	마취시간(초)	회복시간(초)
400	302.5 ± 35.5 ^a	103.8 ± 17.8 ^a
600	137.0 ± 34.2^b	162.0 ± 19.6^b
800	102.1 ± 22.3 ^c	169.9 ± 15.2 ^b
1000	81.4 ± 4.3 ^{cd}	179.6 ± 33.0 ^b
1200	62.4 ± 4.2 ^d	226.4 ± 40.6 ^c

※ 각 값들은 “평균±표준편차”로 나타냈고, 각 값들의 각기 다른 윗첨자는 유의적 차이가 있음을 나타냄 ($p < 0.05$) (n=10).

수온 18℃에서 2-PE로 마취시켰을 경우 농도별 평균 마취 시간과 회복 경향을 보면 그림 13와 그림 14에서 보는 바와 같다.

2-PE의 농도(x)가 높아질수록 마취시간(y)은 포물선 형태로 감소하여 $y = 494.12e^{-0.002x}$ ($R^2 = 0.8363$)의 상관관계를 보였으나(그림 13), 회복시간은 2-PE의 농도(x)가 높아질수록 회복시간(y)도 길어지면서 $y = 0.1314x + 63.22$ ($R^2 = 0.6272$)의 상관관계를 보였다(그림 14).

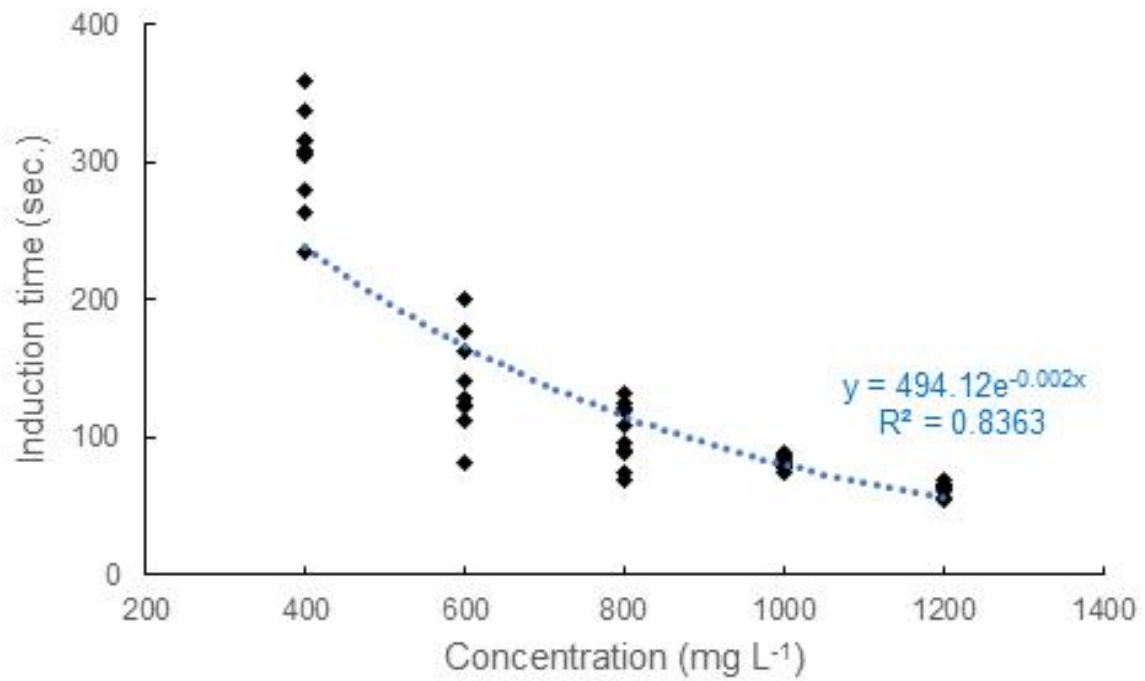


그림 13. 18℃에서 점농어 치어의 2-phenoxyethanol 농도와 마취시간과의 상관관계(n=10)

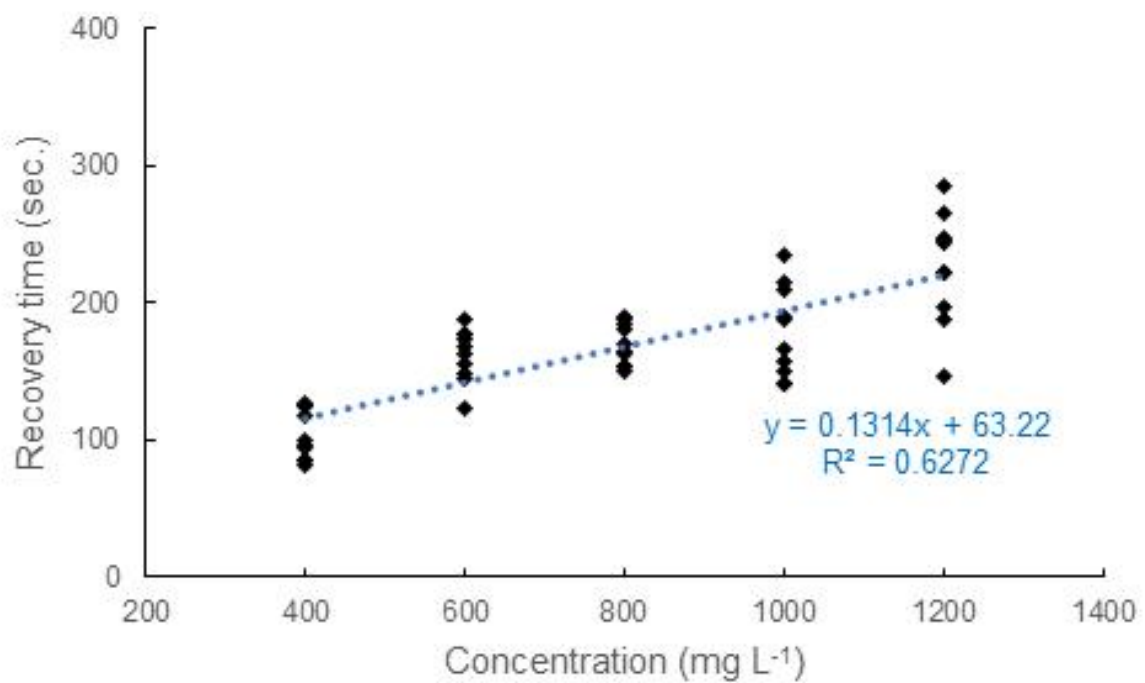


그림 14. 18℃에서 점농어 치어의 2-phenoxyethanol 농도와 회복시간과의 상관관계(n=10)

(2) 농도별 수온에 따른 마취 및 회복시간

2-PE 400 mg L⁻¹에서 수온에 따른 마취 및 회복시간은 표 13에 나타내었다. 마취시간은 수온이 증가할수록 감소하는 경향은 보이지만, 유의적인 차이는 없었다. 회복시간은 수온이 증가할수록 유의적으로 짧아졌다($p < 0.05$).

표 13. 2-phenoxyethanol 400 mg L⁻¹에 마취한 점농어 치어의 수온별 마취 및 회복시간

수온(℃)	마취시간(초)	회복시간(초)
12	334.0 ± 45.2 ^{ns}	192.8 ± 31.5 ^a
15	320.9 ± 17.2	159.9 ± 19.5 ^b
18	302.5 ± 35.5	103.8 ± 17.8 ^c

※ 각 값들은 “평균±표준편차”로 나타냈고, 각 값들의 각기 다른 윗첨자는 유의적 차이가 있음을 나타냄 ($p < 0.05$). ns는 유의적 차이가 없음을 나타냄 (n=10)

2-PE 600 mg L⁻¹에서 수온에 따른 마취 및 회복시간은 표 14에 나타내었다. 마취시간은 수온이 증가할수록 감소하는 경향은 보이지만, 유의적인 차이는 없었다. 회복시간은 12℃와 15℃는 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 18℃에서는 유의적으로 짧아졌다($p < 0.05$).

표 14. 2-phenoxyethanol 600 mg L⁻¹에 마취한 점농어 치어의 수온별 마취 및 회복시간

수온(℃)	마취시간(초)	회복시간(초)
12	168.5 ± 33.7 ^{ns}	219.5 ± 39.2 ^a
15	148.8 ± 20.9	205.1 ± 19.8 ^a
18	137.0 ± 34.2	162.0 ± 19.6 ^b

※ 각 값들은 “평균±표준편차”로 나타냈고, 각 값들의 각기 다른 윗첨자는 유의적 차이가 있음을 나타냄 ($p < 0.05$). ns는 유의적 차이가 없음을 나타냄 (n=10)

2-PE 800 mg L⁻¹에서 수온에 따른 마취 및 회복시간은 표 15에 나타내었다. 마취시간은 수온이 증가할수록 감소하는 경향은 보이지만, 유의적인 차이는 없었다. 회복시간은 12℃와 15℃는 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 18℃에서는 유의적으로 짧아지는 경향을 보였다($p < 0.05$).

표 15. 2-phenoxyethanol 800 mg L⁻¹에 마취한 점농어 치어의 수온별 마취 및 회복시간

수온(℃)	마취시간(초)	회복시간(초)
12	124.7±24.3 ^{ns}	243.2±48.1 ^a
15	113.7±20.6	213.4±30.7 ^a
18	102.1±22.3	169.9±15.2 ^b

※ 각 값들은 “평균±표준편차” 로 나타냈고, 각 값들의 각기 다른 윗첨자는 유의적 차이가 있음을 나타내며 ($p<0.05$), ns는 유의적 차이가 없음을 나타냄 (n=10)

2-PE 1000 mg L⁻¹에서 수온에 따른 마취 및 회복시간은 표 16에 나타내었다. 마취시간은 수온이 증가할수록 감소하는 경향은 보이지만, 유의적인 차이는 없었다. 회복시간은 수온이 증가할수록 유의적으로 짧아졌다($p<0.05$).

표 16. 2-phenoxyethanol 1000 mg L⁻¹에 마취한 점농어 치어의 수온별 마취 및 회복시간

수온(℃)	마취시간(초)	회복시간(초)
12	87.4±12.3 ^{ns}	282.7±26.7 ^a
15	83.4±4.8	231.9±27.4 ^b
18	81.4±4.3	179.6±33.0 ^c

※ 각 값들은 “평균±표준편차” 로 나타냈고, 각 값들의 각기 다른 윗첨자는 유의적 차이가 있음을 나타냄 ($p<0.05$). ns는 유의적 차이가 없음을 나타냄 (n=10)

2-PE 1200 mg L⁻¹에서 수온에 따른 마취 및 회복시간은 표 17에 나타내었다. 마취시간은 수온이 증가할수록 감소하는 경향은 보이지만, 유의적인 차이는 없었다. 회복시간은 12℃와 15℃는 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 18℃에서는 유의적으로 짧아지는 경향을 보였다($p<0.05$).

표 17. 2-phenoxyethanol 1200 mg L⁻¹에 마취한 점농어 치어의 수온별 마취 및 회복시간

수온(℃)	마취시간(초)	회복시간(초)
12	68.3±10.5 ^{ns}	313.6±49.7 ^a
15	63.3±7.3	274.7±16.4 ^a
18	62.4±4.2	226.4±40.6 ^b

※ 각 값들은 “평균±표준편차” 로 나타냈고, 각 값들의 각기 다른 윗첨자는 유의적 차이가 있음을 나타냄 ($p<0.05$). ns는 유의적 차이가 없음을 나타냄 (n=10)

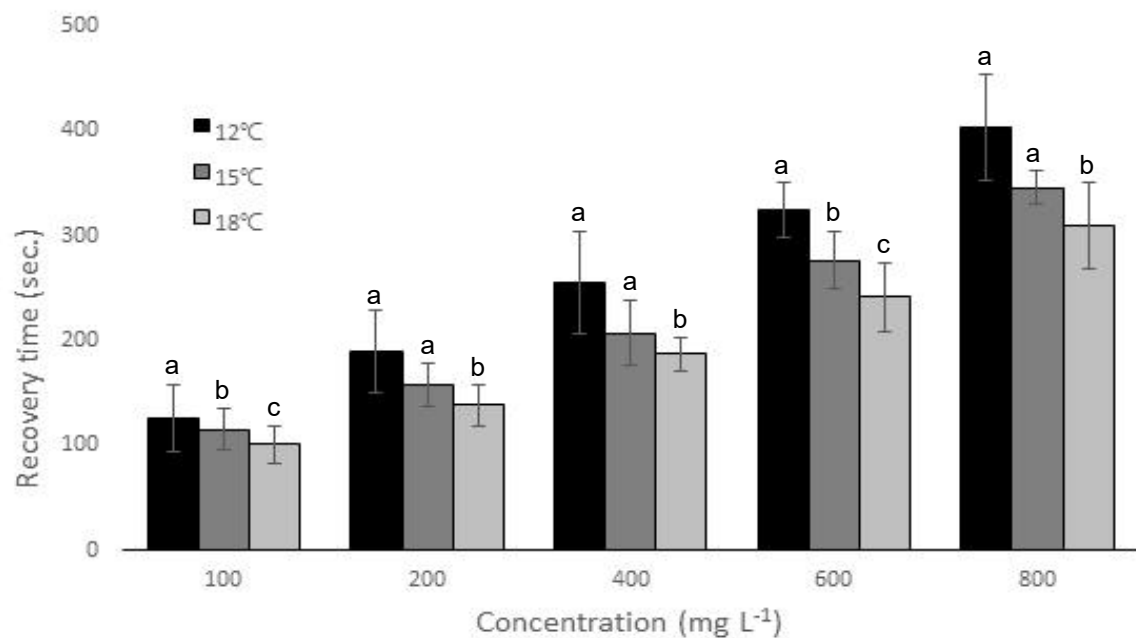
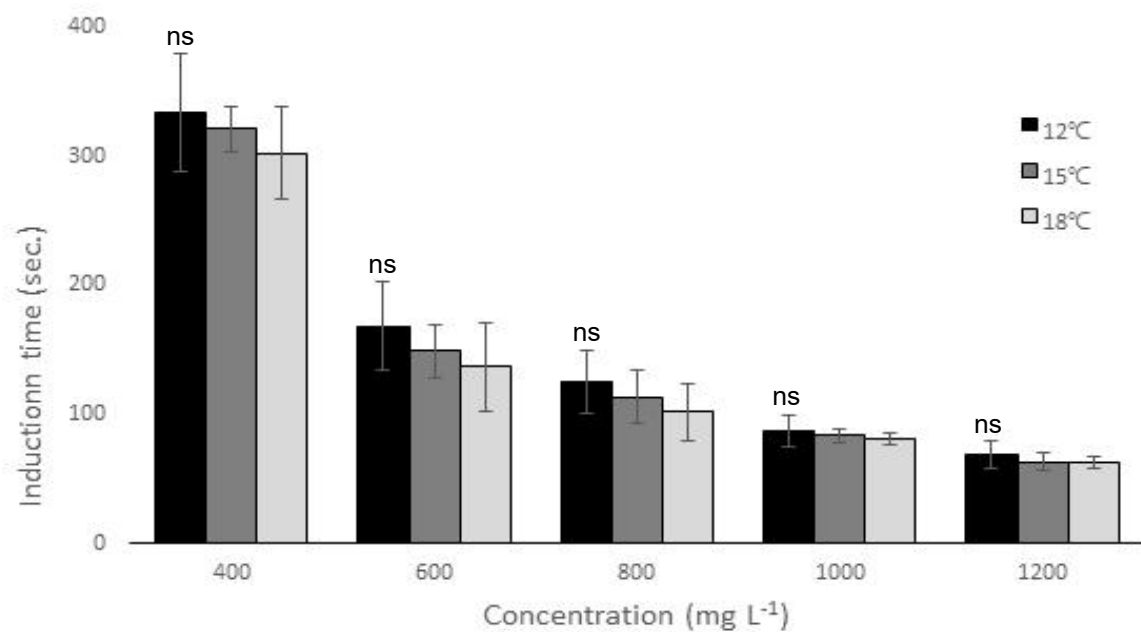


그림 15. 2-phenoxyethanol 농도별 수온에 따른 점농어 치어의 마취 및 회복시간

※ 각 값들은 “평균±표준편차” 로 나타냈고, 각 값들의 각기 다른 윗첨자는 유의적 차이가 있음을 나타내며($p < 0.05$), ns는 유의적 차이가 없음을 나타냄 ($n=10$).

IV. 고 찰

어류 마취는 어체를 움직이지 못하게 하여 취급을 쉽게 하며 어체에 주어지는 스트레스를 적게 하여 어체에서의 체중과 체장의 측정, 표지와 tag 부착, 생리 및 행동학적 연구, 수술 실험, 채집, 사진촬영, 인공채란, 백신과 항생 물질의 주사와 채혈 및 활어 상태로의 운반을 비롯한 여타 조직의 표본을 가능하게 함으로써 대상 어류의 생물학적 그리고 수산양식학적 연구와 양식산업에 기본적으로 필요한 기법이다(Summerfelt and Smith, 1990). 그러나 동일 마취제에서도 종에 따라 마취제에 대한 마취 효과 및 반응이 광범위하게 나타날 수 있어 다양한 마취제에서 농도 변화에 따른 실험대상종의 반응을 관찰하는 것은 중요하다(King et al., 2005).

본 연구는 점농어 치어에 대해 각기 다른 수온에서 여러 가지 농도의 MS-222와 2-phenoxyethanol를 투여하고 마취 및 회복시간을 측정함으로써 적합한 마취제를 선택하고 적정 농도를 규명하기 위하여 실시하였다.

이번 실험에 사용된 MS-222는 FDA에서 수산용 마취제로 공인되어 어류의 마취에 이용되어 온 의약품으로써 다양한 어종에 대한 마취 효과 및 적정 농도는 물론 유전독성 및 생리활성에 미치는 여러 영향이 보고되어 있다(Topic Popovic et al., 2012). 또한, 2-phenoxyethanol은 어류에 작용하는 마취 기작은 아직 잘 알려져 있지 않으나, 마취 및 회복시간이 짧고 박테리아와 진균류를 박멸하는 효과도 있어 이미 다양한 어종에 효과적으로 이용되고 있다(Tsantilas et al., 2006).

일반적으로 대부분의 유영성 어류는 마취농도의 증가에 따라 마취시간은 감소하는 것으로 보고되고 있다(Mattson and Ripley, 1989; Mylonas et al., 2005). 본 실험에서 MS-222와 2-phenoxyethanol는 농도가 증가할수록 마취시간은 단축되지만 회복시간은 길어지는 경향을 보였다. 이러한 결과는 일반적인 현상으로 송어(Sylvester, 1975), 조피볼락(Kim et al., 2005), 요각류(Shin and Hur, 2006), 가자미류(Weber et al., 2009), 고등어(Han et al., 2011) 등 많은 연구에서 보고되었다. 또한, 회복시간은 마취제 농도와 양의 상관관계에 있다고 보고된 바 있다(Smith and Hattingh, 1979; Limsuwan et al., 1983; Hseu et al., 1994; Weyl et al., 1996; Velisek et al., 2005; Sudagara et al., 2009; Gullian

and Willanuera, 2009). Zahl et al. (2009)는 수온과 관련하여 마취와 회복시간은 다양하게 나타난다고 하였다. 본 실험에서는 MS-222는 수온이 증가할수록 마취시간과 회복시간이 유의적으로 단축되는 경향을 보였으나, 2-PE는 수온이 증가할수록 마취시간과 회복시간은 단축되었지만, 마취시간은 유의적 차이는 보이지 않았다. 이러한 경향은 쥐노래미(Park et al., 2003), 낙지(설 등, 2006), 감성돔(Son and Lim, 2008) 등에서 수온이 증가하면 마취 및 회복시간이 빨라진다고 보고되었다.

마취시간이 너무 길면 어류의 생리에 영향을 줄 뿐만 아니라 어류에 대한 작업 시간도 길어지며, 반대로 너무 짧으면 마취가 제대로 되지 않게 된다. 일반적으로 적정 마취 농도의 결정은 수산생물의 안정성을 고려하여 마취시간 3분(180초) 이내, 회복시간 5분(300초) 이내에 결정하는 것이 바람직한 것으로 보고되었다(Siwicki, 1984; Marking and Meyer, 1985; Hseu et al., 1998; Weber et al., 2009). 이는 마취제에 장시간 노출됨으로써 어류가 받는 생리적인 스트레스 증가에 따른 피해를 예방하기 위한 것이다(Han et al., 2011). 본 실험에서 점농어 치어에 대한 마취효과가 인정되는 MS-222의 최저 마취농도는 12℃에서 400 mg L⁻¹, 15℃와 18℃에서는 200 mg L⁻¹였다. Shawn et al (2004)는 MS-222의 최저 적정 마취농도를 Atlantic salmon (*Salmo salar*) 40~50 mg L⁻¹, Common carp (*Cyprinus carpio*) 100~250 mg L⁻¹, Channel catfish (*Ictalurus punctatus*) 50~250 mg L⁻¹, Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) 100~200 mg L⁻¹로 제시하였다. 또한, 본실험에서 2-phenoxyethanol의 최저 적정 마취농도는 모든 수온 구간에서 600 mg L⁻¹로 나타났다. 2-phenoxyethanol에 대한 최소 적정 마취농도에 대한 연구를 살펴보면, Basaran et al. (2007)은 19℃에서 sea bass (*Dicentrarchus labrax*)의 최소 적정 마취농도를 300~450 mg L⁻¹라고 보고하였고, Mylonas et al. (2005)는 25℃에서 Gilthead sea bream (*Sparus aurata*)의 최소 적정 마취 농도를 300 mg L⁻¹라고 보고하여 본 실험보다 최소 적정 마취농도보다 낮은 값을 나타냈다. 반면에 Wever et al. (2009)은 14℃에서 Senegalese sole (*Solea senegalensis*)의 최소 적정 마취농도가 600 mg L⁻¹이라고 보고하여 본 연구와 같은 값을 나타내었는데 이러한 차이는 종특성 및 수온 때문인 것으로 사료된다.

어류 마취제로 사용하기 위해서는 독성(사용자나 어류에서의 안정성), 효율성,

가격성, 사용시의 규제와 사용 정도를 고려하여야 하며, 어류의 이상적인 마취제로서의 여러 제반 특성을 구비하여야 한다(Siwichki, 1984; Marking and Meyer, 1985; Anderson et al., 1997; park et al., 2003); 첫째, 마취시간은 짧은 시간에 이루어져야 한다. 둘째, 마취 후 회복이 빨라야 한다. 셋째, 대상 어류에 무독성이어야 한다. 넷째, 대상 어류의 생리나 행동에 영향이 없어야 한다. 다섯째, 마취에서 회복한 후 마취제 성분이 어체 내 잔존하지 않아 어류를 바로 식용으로 사용할 수 있어야 한다. 여섯째, 마취제의 반복 사용에 따른 누적 효과나 문제점이 없이 바로 생태계에 방양될 수 있어야 한다. 일곱째, 마취제의 가격이 싸야 한다. 여덟째, 취급하기 쉽고 취급자에게 무해하여야 한다.

본 실험에서는 모든 수온에서 2-phenoxyethanol의 적정 마취농도는 600 mg L^{-1} 로 MS-222 $200 \sim 400 \text{ mg L}^{-1}$ 에 비해서 높은 농도에서 마취효과가 있는 것으로 확인되었다. 그리고, 실험 과정에서 MS-222의 경우 200 mg L^{-1} 이하의 낮은 농도에서 마취된 점농어 치어들은 회복 후에 빠르게 정상 유영이 가능하였으나, 400 mg L^{-1} 이상의 높은 농도에서는 회복시 정상 체위를 갖는 시간은 낮은 농도와 비슷했지만 회복 과정에서 벽에 부딪치는 등 정상 유영을 하지 못하였으며, 마취시 아가미 덮개를 크게 벌리는 등 쇼크를 맞은 것 같은 반응을 보였다. 이러한 관점에서 볼 때, 점농어 치어에 대해 MS-222와 2-phenoxyethanol은 상기한 제반 조건을 적절히 갖추고 있어 모두 마취제로서 사용이 가능한 것으로 판단되며 2-phenoxyethanol은 MS-222에 비해 마취농도가 높지만 상대적으로 가격이 저렴하여 경제적이고 마취 회복 후 활동성 등을 고려할 경우 점농어 치어에 대한 마취제로서 보다 더 유효한 것으로 판단된다.

V. 요 약

본 연구는 점농어(*Lateolabrax maculatus*) 치어(전장 $9.11 \pm 0.56 \text{ cm}$, 체중 $8.15 \pm 1.65 \text{ g}$)에 대해 각기 다른 수온(12, 15, 18°C)에서 여러 가지 농도의

MS-222(100, 200, 400, 600, 800 mg L⁻¹)와 2-phenoxyethanol(400, 600, 800, 1000, 1200 mg L⁻¹)를 투여하고 마취 및 회복시간을 측정함으로써 적합한 마취제를 선택하고 적정 농도를 규명하기 위하여 실시하였다. MS-222와 2-phenoxyethanol의 마취시간은 모든 수온과 농도에서 각각 21~415초, 50~418초가 소요되었으며, 회복시간은 각각 78~574초와 82~387초가 소요되었다. 두 마취제 모두 수온에 관계없이 농도가 높아 질수록 유의적으로 마취시간은 짧아지고 회복시간은 길어지는 경향을 보였다 (ANOVA, $p < 0.05$). 농도가 같은 경우 수온에 따른 마취 및 회복시간의 경우, MS-222는 같은 농도에서 수온이 올라갈수록 마취 및 회복시간이 유의적으로 짧아지는 경향을 보였고(ANOVA, $p < 0.05$), 2-phenoxyethanol은 짧아지는 경향성은 보였으나 유의적 차이는 보이지 않았다. 이상적인 마취제의 조건인 3분 이내의 마취시간과 5분 이내의 회복시간을 고려한 적정 농도는 MS-222의 경우 12℃ 400 mg L⁻¹, 15℃와 18℃는 200 mg L⁻¹였으며, 2-phenoxyethanol의 경우 모든 수온에서 600 mg L⁻¹로 나타났다. 이상의 결과들을 종합해본 결과 2-phenoxyethanol이 MS-222에 비해 사용량은 다소 많지만 경제성, 마취 회복 후 활동성 등을 고려한다면 점농어 치어 마취제로 가장 유효한 것으로 판단된다.

VI. 참고문헌

- Anderson WG, McKinley RS and Colavecchia M. 1997. The use of clove oil as an anesthetic for rainbow trout and its effects on swimming performance. North American J. of Fisheries management 17: 301-307.
- Anschau DL, Lazzari R, Costa ST da, Decarli JA, Uczay J and Loebens L. 2014. Anesthetics products for Hungarian carp fingerling (*Cyprinus carpio*). Rev. Bras. Saude Prod. Anim. 15(2): 406-414.
- Basaran F, Sen H and Karabulut S. 2007. Effects of 2-phenoxyethanol on survival of normal juveniles and malformed juveniles having lordosis or

- nonfunctional swim bladders of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L., 1758). Aquacult. Res. 38, 933-939.
- Chung JK, Chung SY, Lee TW and Choi DL. 1994. Effects of lidocaine on haematology and blood chemistry in the carp (*Cyprinus carpio*). J. Fish Pathol. 7(1): 53-62.
- Gilderhus, PA and Marking, LL. 1987. Comparative efficacy of 16 anesthetic chemicals on rainbow trout. North American Journal of Fisheries Management, 7: 288-292.
- Gullian M and Villanueva J. 2009. Efficacy of tricaine methanesulphonate and clove oil as anaesthetics for juvenile cobia *Rachycentron canadum*. Aquatic. Research, 40: 852-860.
- Han SJ, Kim KM, Choi NJ, Koo JH, Park CK, Lee WG and Ji SC. 2011. Comparative efficacy of clove-oil, MS-222 and 2-phenoxyethanol as anesthetics in juvenile *Scomber japonicus*. Kor J. Fish Aquat. Sci. 44(6): 653-657(in Korean).
- Hseu JR, Yeh SL, Chu YC and Ting YT. 1994. The anesthetic effect of 2-Phenoxyethanol in Goldlined Sea Bream (*Sparus sarba*). Journal of Taiwan Fisheries Research, 2(2): 41-49.
- Hseu JR, Yeh SL, Chu YT and Ting YY. 1998. Comparison of efficacy of five anesthetic goldlined sea bream, *Sparus sarba* . Acta Zool Taiwanica 9: 35-41.
- Kang EJ, Kim EM, Kim YJ, Lim SJ, Sim DS, Kim YH and Park IS. 2005. Effect of lidocaine hydrochloride and clove oil as an anesthetic on Korean rose bitterling, *Rhodeus uyekii* and oily bitterling, *Acheilognathus koreensis*. J. Aquac. 18: 272-279.
- Keene JL, Noakes DLG, Moccia RD and Soto CG. 1998. The efficacy of clove as an anaesthetic for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). Aquac. Res. 29: 89-101.

- King W, Hooper B, Hillsgrove S, Benton C and Berlinsky DL. 2005. The use of clove oil, metomidate, tricaine methanesulphonate and 2-phenoxyethanol for inducing anaesthesia and their effect on the cortisol stress response in black sea bass (*Centropristis striata* L.). *Aquacult Res* 36, 1442-1449.
- Kim JH, Hur JW, Park IS, Koh KH and Chang YJ. 2005. Effect of the different anesthetic doses of MS-222 and lidocaine-HCl on the blood physiological responses in black rockfish, *Sebastes schlegeli*. *J. of Aquaculture* 18(4): 236-244.
- Limsuwan C, Grizzle JM and Plumb JA., 1983. Etomidate as an anesthetic for fish: its toxicity and efficacy. *Transactiob of American Fisheries Soiety*, 112: 544-550.
- Marking LL and Meyer FP. 1985. Are better anesthetics needed in fisheries? *Fisheries* 10: 2-5.
- Mattson NS and Ripple TH. 1989. Metomidate, a better anesthetic for cod (*Gadus morhua*) in comparison with benzocaine, MS-222, chlorobutanol, and phenoxyethanol. *Aquaculture* 83: 89-94.
- Mylonas CC, Cardinaletti G, Sigelaki I and Polzonetti-Magni A. 2005. Comparative efficacy of clove oil and 2-phenoxyethanol as anesthetics in the aquaculture of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and gilthead sea bream (*Sparus aurata*) at different temperatures. *Aquaculture* 246, 467-481
- Park MO, Im SY, Seol DW and Park IS. 2009. Efficacy and physiological responses of rock bream, *Oplegnathus fasciatus* to anesthetization with clove oil. *Aquaculture* 287: 427-430.
- Park IS, Jo JH, Lee SJ, Kim YA, Park KE, Hur JW, Yoo JS and Song YC. 2003. Anaesthetic effect of lidocaine hydrochloride-sodium bicarbonate and MS-222 on the greenling (*Hexagrammos otakii*). *J. Kor. Fish. Soc.* 36(5): 449-453.
- Park IS, Kim JM, Kim YH and Kim DS. 1988. Influence of lidocaine as an

- anaesthetic for marine fishes. J. Fish Pathol. 1(2): 123-130.
- Shin HJ and Hur SB. 2006. Effect of the anesthesia MS-222, ethyl 3-amino-benzoate-methane sulfonate on survival and hatching of marine benthic copepod *Tigriopus japonicus*. J. of Aquaculture 19(4): 305-309.
- Shawn DC, Robert MD and James HT. 2004. Anesthetics in aquaculture. Southern regional aquaculture center.
- Siwicki A. 1984. New anaesthetic for fish. Aquaculture 38(2): 171-176.
- Smith GL and Hattingh J. 1979. Anaesthetic potency of MS-222 and neutralized MS-222 as studied in three freshwater fish species. Compative Biochemistry and Physiology, 62C: 237-241.
- Son MH and Lim HK. 2008. Comparison of anesthetic tolerance between the wild and cultured fish, black seabream *Acanthopagrus schlegeli* juvenile. J. Aquaculture 21(4): 304-308.
- Sudagara M, Mohammadizarejabada A, Mazandarania R and Pooralimotlagha S. 2009. The efficacy of clove powder as an anesthetic and its effects on hematological parameters on roach (*Rutilus rutilus*). Journal of Aquaculture Feed Sciences Nutrion, 1: 1-5.
- Summerfelt RC and Smith LS. 1990. Anesthesia, surgery and related thchniques. In: Methods for Fish Biology, Schreck CB and Moyle, eds., American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, pp. 213-272.
- Sylvester JR. 1975. Factors influencing the efficacy of MS-222 to striped mullet (*Mugil cephalus*). Aquaculture 6(2): 163-169.
- Topic Popovic N, Strunjak-Perovic I, Coz-Rakovac R, Barisic J, Jadan M, Persin Berakovic A and Sauerborn Klobucar R. 2012. Tricaine methane-sulfonate (MS-222) application in fish anaesthesia. J Appl Ichthyol 28: 553-564.
- Tsantilas H, Galatos AD, Athanassopoulou F, Prassinis NN and Kousoulaki K. 2006. Efficacy of 2-phenoxyethanol as an anaesthetic for two size classes of

- white sea bream, *Diplodus sargus* L., and sharp snout sea bream, *Diplodus puntazzo* C. Aquaculture 253: 64-70.
- Velisek J, Svobodova Z and Piackova V. 2005. Effects of clove oil anaesthesia on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Acta Veterinaria Brno, 74, 139-146
- Weber RA, Peleteiro JB, Garcia Martin LO and Aldegunde M. 2009. The efficacy of 2-phenoxyethanol, metomidate, clove oil and MS-222 as anesthetic agents in the Senegalese sole (*Solea senegalensis* Kaup 1858). Aquaculture 288: 147-150.
- Weyl O, Kaiser H and Hecht T. 1996. On the Efficacy and mode of action of 2-Pe as an anaesthetic for Goldfish, *Carassius auratus* (L), at different temperatures and Concentrations. Aquatic Research, 27: 757-764.
- Zahl IH, Kiessling A, Samuelsen OB and Hansen MK. 2009. Anaesthesia of Atlantic cod (*Gadus morhua*) - Effect of pre-anaesthetic sedation, and importance of body weight, temperature and stress. Aquaculture 295: 52-59.
- 설동원, 이진환, 임수연, 박인석. 2006. 낙지, *Octopus minor*의 Clove oil의 마취효과. 2006년도 수산관련학회 공동학술대회 발표요지집. 298-299.
- 이효빈, 정효선, 고민균, 김동수. 2017. 유기메기(*kryptopterus vitreolus*)에 대한 최적 마취제 선정을 위한 연구. 한국수산과학회지. 50(6): 824-828.