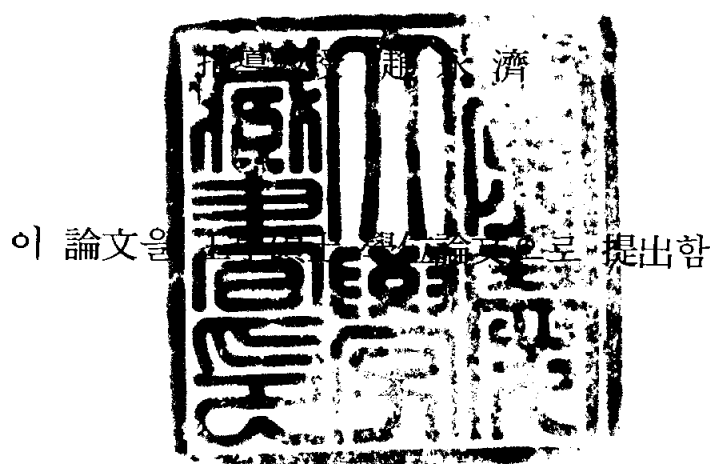


工學碩士 學位論文

생선회의 육질향상을 위한 저온
브라인 최적처리조건 설정



2003年 2月

釜慶大學校 大學院

食 品 工 學 科

李 起 奉

李起奉의 工學碩士 學位論文을 認准함

2002年 12月

主 審 農學博士 安 東 賢



委 員 工學博士 金 泰 辰



委 員 水産學博士 趙 永 濟



목 차

Abstract	1
서 론	4
재료 및 방법	10
1. 원료어	10
2. 침지장치	10
3. 처리방법	10
3. 1. 침지온도	10
3. 2. 침지시간	12
4. 실험방법	12
4. 1. 파괴강도(breaking strength)의 측정	12
4. 2. 사후경직도(rigor-index)의 측정	12
4. 3. 유산(lactate)함량의 측정	14
4. 4. ATP 관련화합물(ATP related compound)의 측정	14
4. 5. Light microscopy 관찰	14
5. 통계처리	15
결과 및 요약	18
1. 육질향상을 위한 최적 침지온도의 설정	18
1. 1. 파괴강도(breaking strength)의 변화	18
1. 2. 사후경직도(rigor index)의 변화	22
1. 3. 유산(lactate)함량의 변화	25

1. 4. ATP 관련화합물(ATP related compound)의 변화	27
1. 5. 근육의 조직학적 변화	31
2. 육질향상을 위한 최적 침지시간의 설정	34
2. 1. 파괴강도(breaking strength)의 변화	34
2. 2. 사후경직도(rigor-index)의 변화	41
2. 3. 유산(lactate)함량의 변화	47
2. 4. ATP 관련화합물(ATP related compounds)의 변화	49
2. 5. 근육의 조직학적 변화	55
3. 생선횃감의 종류에 따른 변화	57
3. 1. 파괴강도(breaking strength)의 변화	57
3. 2. 사후경직도(rigor-index)의 변화	59
4. 어체 크기에 따른 변화	61
4. 1. 파괴강도(breaking strength)의 변화	61
4. 2. 사후경직도(rigor-index)의 변화	67

요 약	69
-----------	----

감사의 글	72
-------------	----

참고문헌	73
------------	----

The Optimization for the Improvement of Sliced Raw Fish Quality by Cold Brine Solution

Gi-Bong, Lee

Department of Food Science and Technology, Graduate School, Pukyong National University

Abstract

In Korea, texture is a particularly important factor which determines the quality of sliced raw fish, similar to that of sashimi in Japan. However, most people in Korea enjoy eating raw fish just after the fish has died. This is different from in Japan. It has generally been accepted that the texture of fish muscle is tough in the rigor state and is affected by various handling conditions. Rigor-mortis of fish occurs within a few hours after death as the first stage of post-mortem brings on the change. However, it's progress depends on storage temperature, killing method, washing, and bleeding/or non-bleeding. These factors result in degradation of ATP in the muscle and acceleration of the rigor-mortis progress.

Meanwhile, we happened to have discovered fish muscle to be stiff in the cold brine solution. So, we developed a new method to improve the texture of fish meat by immersion in the cold brine solution. However, we still do not know why the texture improved or which condition is the most proper. The purpose of the present study was to investigate physicochemical changes in various fish

muscle subjected to the cold brine solution. Also, we wanted to find the optimal immersion condition in the cold brine solution.

Fishes were immersed in the cold brine solution by various conditions and killed instantly by spiking at the head. Effects of various immersion conditions on sliced raw fish quality from fishes were investigated in the rigor index, breaking strength, ATP related compounds, lactate accumulation, structure of collagen matrix in the muscle.

The onset of rigor-mortis was accelerated by the decrease of immersion temperature and the increase of immersion time. Also, the time reaching full rigor was shortened remarkably too. However, the rigor index of samples immersed in the cold brine solution decreased more than that of samples killed instantly. Rigor index was the highest in samples killed instantly, followed by 0°C, -5°C, -10°C, -12.5°C, -15°C, -20°C and 2.5min, 5min, 7.5min, 10min, 15min in that order.

The breaking strength of samples immersed in the cold brine solution increased slowly but did not increase through all the conditions in the samples. Breaking strength of all samples immersed in the cold brine solution decreased significantly after reaching the maximum values. The content of ATP related compounds in Olive flounder, Black rockfish, Yellowtail, Common grey mullet and Common sea bass were 12.0 μ mole/g, 8.3 μ mole/g, 8.0 μ mole/g, 8.1 μ mole/g and 8.0 μ mole/g, respectively. However, ATP decreased in the samples immersed in the cold brine solution. The ATP were lower, at the optimal condition and then it was increased. Also, lactates increased, at the optimal condition and then it decreased, in contrast with the ATP.

Samples immersed in the cold brine solution showed a few extracellular spaces in all muscle cells. The collagen matrix was weakened rapidly with the decreased temperature and increased time

of immersion in the cold brine solution.

These results suggest that some textural changes, probably associated with breaking strength, occurred in the muscle during the time it was immersed in the cold brine solution.

We concluded that the optimal condition for improvement of sliced raw fish quality was to immerse in the cold brine solution. The optimal immersion condition of Olive flounder and Black rockfish was at -12.5°C for 5min, and that of Yellowtail, Common grey mullet and Common sea bass was at -12.5°C for 7.5min, respectively.

서 론

우리나라에서 생선회에 대한 가장 구체적인 근거는 17세기초 조선조 숙종때 홍만선이 지은 산림경제에 나온다. 껍질을 벗기고 살을 얇게 썰어 천으로 물기를 닦아낸 다음 생강이나 파를 생선회 접시 위에 올려 곁들여 먹고 양념으로 겨자를 쓴다고 기록하고 있으며, 여름에는 얼음 위에 올려 먹는다고 되어있어 생선회 문화가 오늘날과 다를없을 정도로 발달되어 있었음을 짐작할 수 있다. 한편, 우리나라와 인접한 국가인 중국에서의 회 문화의 형성을 보민 지금부터 2,500여 년 전에 공자가 쓴 논어의 향당편에 음식은 정갈해야 하며 회는 가늘어야 한다는 부분이 나온다. 그때 이미 회를 맛깔스럽게 먹었음을 알 수 있다.

그리고 생선회를 대표적인 음식으로 꼽는 일본에서는 1399년 무로마치 시대 교토의 한 신관의 일기 속에 생선회에 대하여 언급되어 있으며, 이 일기가 일본에서의 생선회에 관한 가장 오래된 문헌으로 알려져 있다. 일본에서 회의 기록이 처음 나타난 것이 1399년이라고 볼 때, 일본 및 우리나라 모두 생선회 문화의 형성이 비슷한 시기라고 생각된다.

생선회에 대한 이러한 오랜 역사에도 불구하고 지금까지 국내에서의 생선회 소비는 그다지 많지 않았다. 그러나 최근 들어서 생활수준의 향상으로 기능성을 갖는 건강식품으로 생선회(生鮮膾)의 소비량이 급증하고 있으며, 또 양식기술의 발달로 양식어의 생산량도 매년 급격히 증가하고 있는 실정이다. 하지만 정부의 대책 없는 수산시장개방과 수요예측을 무시한 허가 남발은 이미 수년전부터 기르는 어업의 붕괴를 예고했다. 해상가두리 양식어업은 지난 80년대 통영을 중심으로 시작돼 기술개발과 보급이 이뤄지면서 90년대 중반까지 전성기를 누렸으나 90년대 중반 이후 그동안 수온 차이로 가두리양식이 불가능할 것으로 여겨졌던 전남 해역에서도 활기를 띠기 시작, 현정부가 들어선 이후인 98년과 99년을 기점으로 엄청난 면적에 대하여 해상가두리 허가가 남발됐다. 이 결과로, 지난해 말 기준 이 지역 허가면적은 85년부터 16년간 허가된 경남 전체 허가면적의 배에 이르며 전국 양식어류생산 면적의 절반에 육박하는 규모다. 이 기간 허가면적은 전남 91건 320ha와 전북 81

전 487ha 등 800ha를 넘어서 경남 전체 385ha의 배에 달했다. 정부는 한·중·일 어업협정 등으로 ‘잡는 어업’이 사양화됨에 따라 ‘기르는 어업’을 육성하겠다는 명분아래 국내수요 등은 제대로 고려하지 못한 상태에서 결과적으로 무분별한 가두리양식장 허가를 남발했고, 또 국내 양식업계의 경쟁력 제고 등 사전준비가 미흡한 상태에서 대책없는 수산시장 개방으로 값싼 중국산 횡감용 활어들이 무더기로 쏟아져 들어 오면서 국내 양식업계를 빈사 상태로 내몰았다.

남해안의 대표적 양식어종인 조피볼락(우럭)은 한때 kg당 1만원선을 호가하는 등 호황을 누렸으나, 값싼 중국산 홍민어와 우럭 등이 밀려들면서 현재는 손익분기점(6천~7천원선)의 절반가량인 3천원선에도 제대로 팔려나가지 못하고 있는 형편이다. 올해 초 3개월 동안 국내에 수입된 활어는 모두 5천1백여톤으로 이는 경남 남해안가두리 양식어민 전체가 2~3년동안 키워오고 있는 양의 10%에 해당하는 양이다. 정부가 역점적으로 추진해온 기르는 어업이 이처럼 몰락하면서 수산업계의 근간이 흔들리고 있다. 경남 남해안의 3천여명에 이르는 해상가두리양식 어업인들은 줄잡아 1천5백억원 이상의 빚더미에 올라있는 것으로 추산되고 있다. 331명의 조합원이 소속되어 있는 통영소재 해수어류양식수협의 경우 7백억원 가량이 영어자금으로 조합원들에게 대출되어 있으나 자금 상당수가 이미 회수기를 넘긴채 연체상태에 빠져있으며 올 들어 도산한 어업인도 30여명에 이른다. 또 수산업 전체가 빈사상태에 몰려 수산업의 동량으로 불리는 어업인 후계자들조차 설 곳을 잃어 통영지역에서는 평소보다 3배 가량 많은 16명이 지정 취소될 처지에 놓였다. 이같은 수산업 공황상태에서 벗어나기 위해서는 가장 먼저 소비둔화로 적체된 양식어류의 해소가 시급한 실정이며, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 생선회의 소비를 촉진시킬수 있는 방법이 연구 되어야 할 것이다. 그리고 이러한 연구는 현재 생선회의 대표적인 나라인 일본과 국내에서 많이 이뤄지고 있다.

한편, 생선회의 대표적인 나라인 일본에서의 생선회 육질향상을 위한 연구 및 기술현황은 첫번째로는 담수어인 잉어를 대상으로 육질의 단단함을 향상시키기 위하여, 열탕(49℃)처리에 의한 열구축(熱拘縮)에 의한 육질의 향상 및 냉수(0℃)처리에 의한 냉각수축 등의 방법인 Arai 처리

가 실용화되어 있다. 두번째로는 선도가 최상인 생선회를 급속동결후 급속해동시에, 근육중의 ATP의 급격한 분해에 의하여 일어나는 해동경직에 의한 해동경직처리가 육질의 향상방법으로 알려져 있다. 세번째로는 즉살활어수송법으로 살아있는 활어를 즉살하여 수송시키는 방법으로 물차에 의한 활어수송을 대신한 방법으로, 수송중에 육질이 단단함을 그대로 유지시켜서 수송경비의 절감을 가져오며, 실용화되어 있다. 지금까지의 양식 활어의 대량생산에서 한걸음 더 나아가서 소비자들의 요구에 따라서 육질이 쫄깃쫄깃하고 기능성 성분을 갖는 양식기술로 발달될 것이며, 이러한 기술들은 일본을 중심으로 개발될 것이다. 국내에서의 생선회 육질향상을 위한 연구는 활어를 즉살후에 0℃ 전후의 온도에 저장하면, 즉살직후보다 육질의 단단함이 상승할 뿐만 아니라 정미성분인 이노신산(IMP)이 증가하므로, 생선회맛이 더 증가한다는 결과가 보고되었으며(조·김, 1993), 활어를 전기자극 시켜서 인위적으로 근육의 수축을 일으키면, 육질의 단단함이 약 25% 증가하므로 더 맛있는 생선회를 소비자들에게 공급가능하다는 결과도 보도된 바 있다(Kim, 1998).

그리고 국내에서 흔히 생선회맛의 척도로 표현되는 생선회의 단단함(toughness)은 어종, 원료어의 신선도 및 조리후의 보관 조건에 따라서 달라진다. 최근의 연구 결과에 의하면 어육중의 결합조직의 주성분인 콜라겐의 함량 및 분포 형태가 육질의 단단함에 깊이 관여하고 있음이 밝혀져 있다(Ando et al., 1992, 1993). 즉, 콜라겐의 함량이 높은 어육일수록 육질이 단단한 것으로 관능검사 및 물성 측정으로 밝혀져 있으며, 육질이 단단한 어종일 수록 고압윗감으로 취급되고 있다. 육질의 단단함은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 어종에 따른 고유의 단단함(background toughness)과 근육의 수축에 의한 단단함(actomyosin toughness)으로 나눌 수 있다.

고유의 단단함은 근육에 존재하는 결합조직에 기인하는데, 결합조직은 세포 근내막(內膜) 및 세포 근주막(周膜)이며 그 주성분은 콜라겐이다. 세포와 세포는 주로 이 콜라겐으로 된 세포외 간질(間質)이라고 불리는 구조로 접착되어 있으며, 생선회 특유의 본질은 근원섬유 자체가 아닌 세포외 간질의 강도임을 시사한다. 한편, 근육의 수축에 의한 단단함

은 사후 ATP의 분해와 함께 일어나는 미오신(myosin)과 액틴(actin)의 결합에 의한 액토미오신(actomyosin) 복합체의 형성으로, Fig. 2에서와 같이 근원섬유의 근절이 짧아져서 생기는 육질의 단단함의 증가로 나타난다.

어육의 단단함은 생선회의 맛에 직결되며, 육질이 단단한 어종일 수록 고압찜감으로 취급되므로 육질을 단단하게 할려는 일련의 연구들이 진행되고 있다 (Cho et al., 1994, 1995). 즉, 양식 어류를 출하전에 일정기간 강제로 운동시킴으로서 근육에 장력을 발생시켜 육질을 단단하게 하는 방법 및 육중의 결합조직의 함량을 향상시키기 위하여 한약재를 사료에 첨가하는 방법 등이 연구 보고되고 있다 (Tachibana et al., 1988; 谷本・高橋). 전자는 근육의 수축에 의한 단단함을 향상시키기 위한 방법이고, 후자는 고유의 단단함을 향상시키는 방법이라고 할 수 있으며, 이들 방법들은 장기간이 소요되는 단점이 있다. 한편, 근육의 수축에 의한 단단함은 육의 수축에 의하여 생기는 단단함으로, 사후 조기의 근육의 단단함의 저하가 일어나지 않는 단계에서 환경조건을 조절하여 근육의 수축에 의한 단단함을 증가시킬 수만 있다면, 근육의 단단함에 이 값이 더해지므로 근육의 단단함을 더 증가시킬 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 저온 브라인 용액을 이용하여 사후 조기의 근육의 단단함 저하가 일어나지 않는 단계에서 근육의 수축에 의한 단단함을 증가시켜 생선회의 육질을 향상시킬수 있는 최적의 조건을 설정하여, 소비자들에게 자연산 보다 더 육질이 쫄깃쫄깃한 맛있는 생선회를 공급하고 아울러 현재 문제시 되고 있는 양식어류의 적체를 해소하여 양식어민에게는 소득증대를 가져올수 있도록 하기 위해서 국내소비의 대부분을 차지하는 생선찜감인 넙치, 우럭, 방어, 송어, 농어 등의 어종을 이용하여 물리·화학적 변화인 파괴강도, ATP관련물질, 유산, 사후경직도, 조직변화 등을 브라인 온도 및 침지시간에 따라 조사하여 최적조건을 설정하였으며, 어체 형태 및 크기에 따른 육질향상 최적조건의 확립에 관해서 조사하였다.

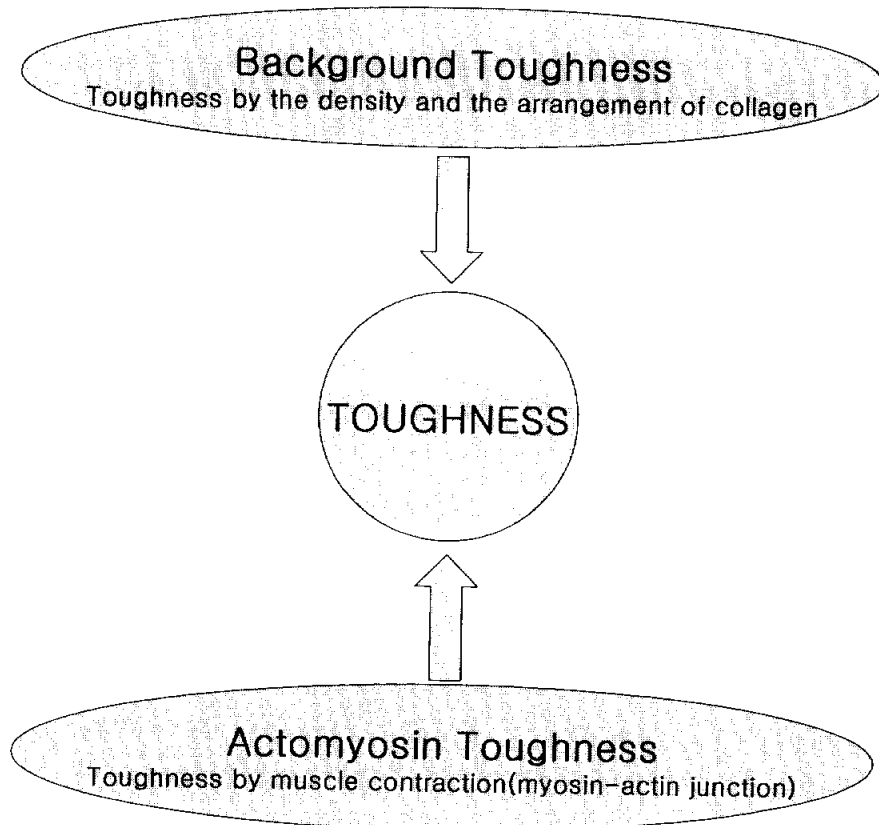


Fig. 1. Proposed schematic for toughness of fish muscle.

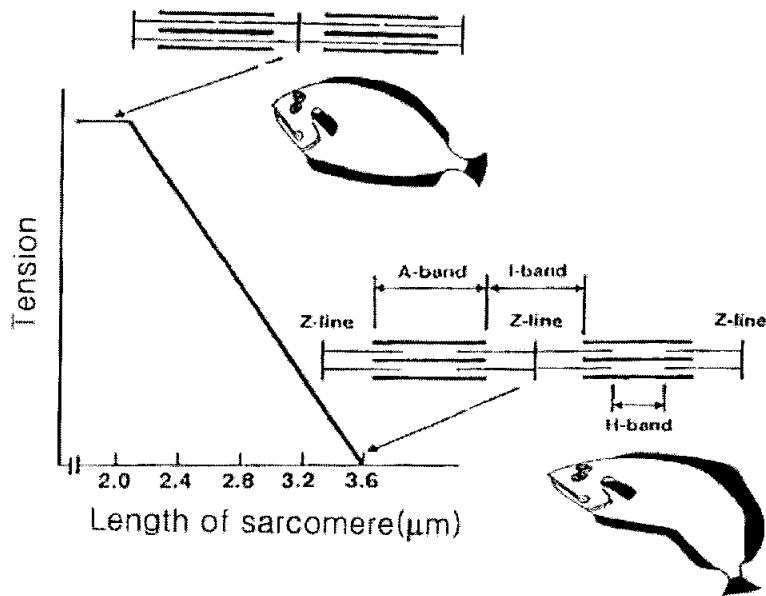


Fig. 2. Relationship between length of sarcomere and tension of muscle.

재료 및 방법

1. 원료어

본 실험에 사용한 횡감용 활어인 넙치(Olive flounder, *Paralichthys olivaceus*), 우럭(Black rockfish, *Sebastes schlegeli*), 방어(Yellowtail, *Seriola quinqueradiata*), 숭어(Common grey mullet, *Mugil cephalus*), 농어(Common sea bass, *Lateolabrax japonicus*)등은 도균수산(부산광역시 수영구 민락동 소재)에서 활어상태로 실험실로 운반하여 15℃ 상온의 해수에서 약 6시간 피로를 완전히 회복시킨 후에 즉살(두부의 급소를 강타)사 및 생선회의 육질향상을 위한 저온 브라인 용액에 침지시켜 시료로 사용하였다.

2. 침지장치

생선회의 육질향상을 위한 저온브라인 침지장치는 Fig. 3의 원리를 이용하여 (주)에이알에서 제작하여 본 실험에 사용하였다.

3. 처리방법

3. 1. 침지온도

본 실험에서 사용한 원료어들은 브라인 온도(0℃, -5℃, -10℃, -12.5℃, -15℃, -20℃)에 따른 생선회 육질의 물리·화학적 변화를 조사하여 육질향상을 위한 최적의 침지온도를 확립하였다.

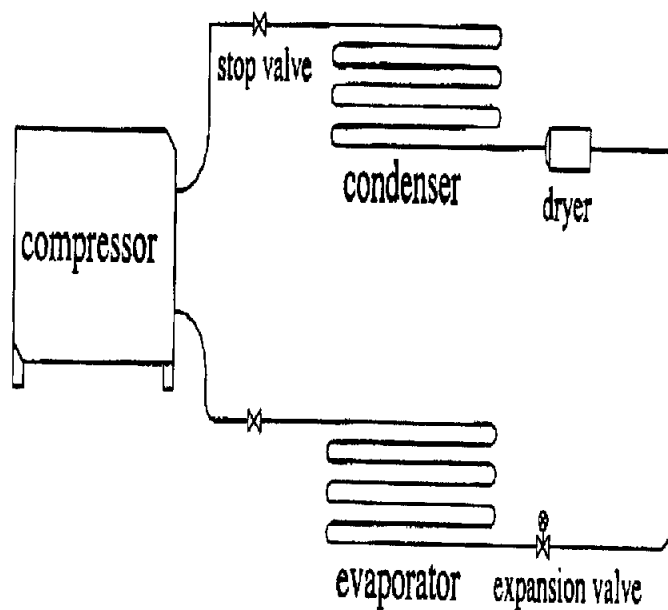


Fig. 3. Flow diagram.

3. 2. 침지시간

브라인 침지시간(2.5분, 5분, 7.5분, 10분, 15분)에 따른 생선회 육질의 물리·화학적 변화를 조사하여 육질향상을 위한 최적의 침지온도를 확립하였다.

4. 실험방법

4. 1. 파괴강도(breaking strength)의 측정

Ando et al. (1991a)의 방법에 따라 넙치 등육을 Table 1과 같은 조건으로 측정하였다. 즉, 넙치를 밑면이 평행하게 펴랫하여 20×20×10mm의 크기로 정사각형의 칼집을 위에서 찍은 후에, 칼집위로 돌출된 부분을 잘라내고 육의 두께를 10mm로 균일하게 하여 측정시료로 사용하였다. 파괴강도값은 직경 10mm cylinder plunger를 사용하였으며, 속도 60mm/min때의 최고값을 측정하였다. 실험결과는 15~20회 측정하여 평균±표준편차(mean±S.D.)로 나타내었다.

4. 2. 사후경직도(rigor index)의 측정

Bito et al. (1983)의 방법에 따라서 Fig. 4와 같이 체장의 절반을 수평대위에 올려 고정시킨다음 꼬리지느러미가 시작되는 부분까지의 길이 변화를 아래식과 같이 백분율로 나타내었다.

$$\text{사후경직도}(\%) = \frac{(D_0 - D)}{D_0} \times 100$$

D_0 : 죽살직후의 거리(cm)

D : 사후경직종일 때의 거리(cm)

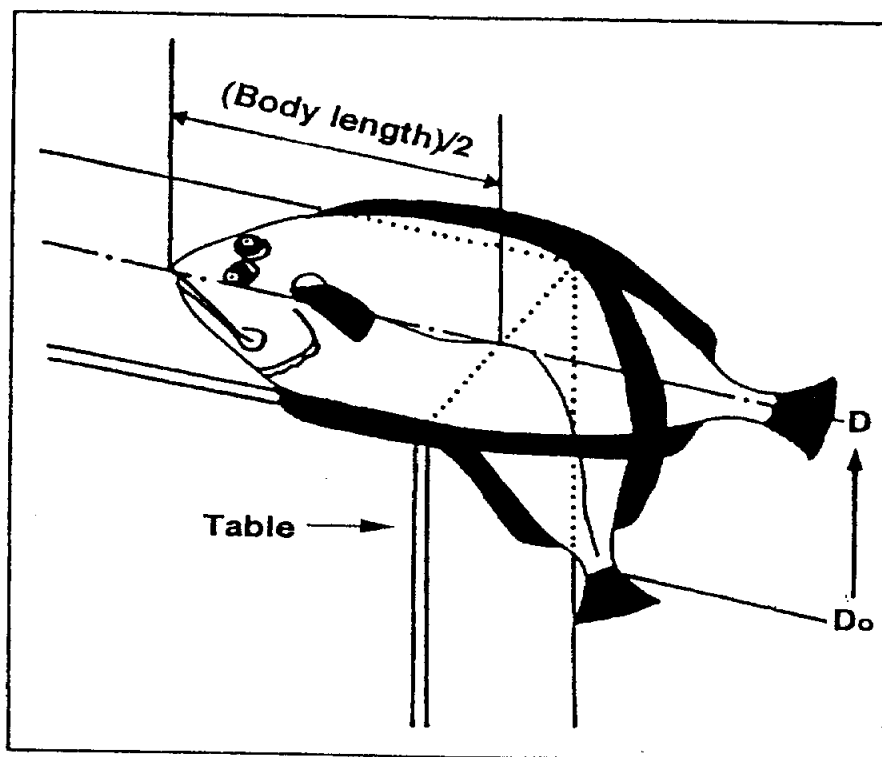


Fig. 4. Determination of rigor index of fish.

$$\text{Rigor index}(\%) = (D_0 - D) \times 100 / D_0.$$

4. 3. 유산(lactate)함량의 측정

제단백추출액을 사용하여 Backer와 Summerson (1941)의 방법에 따라 측정하였다. 즉, 등육을 2.5g 취하여 10% perchloric acid로 균질화하여 단백질을 제거한 후에 6,000rpm에서 원심분리하여 상층액 1ml를 취한 후 20% cupric sulfide를 가하여 유산을 구리로 치환하고 증류수를 사용하여 10ml로 정용하였다. 여기에 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1g으로 실온에서 30분간 방치하여 당류를 제거한 다음, 5,000rpm에서 원심분리한 후에 상층액 1ml와 4% CuSO_4 0.05ml로 잔류유산을 재치환시켰다. 여기에 진한 황산을 6ml 가하여 액중에 포함되어 있는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 분해시키고 20℃로 냉각한 후에 1.5% ρ -hydroxyphenol 0.1ml로서 발색(37℃, 30분)시켰으며, 100℃의 수조에서 90초간 ρ hydroxyphenol을 용해시킨 후에 560nm에서 비색정량하였다.

4. 4. ATP 관련화합물(ATP related compound)의 측정

Iwamoto et al. (1987)의 방법으로 핵산관련물질을 추출하여 추출액을 -25℃ 동결고에 보관하면서 실험에 사용하였다. 측정시에 증류수로 10배 희석하여 0.45 μm membrane filter로 여과후 HPLC에 주입하였다. Column이동층으로는 0.2% triethylamine 용액(pH 7.0)을 사용하였고, 핵산관련물질의 표준품은 Sigma사의 표준품을 사용하였다. 장치는 Waters 사의 고속액체 chromatograph 자동분석 system을 사용하였고 column은 Waters사의 μ -Bondapack C_{18} , 300 $\times$ 3.9mm의 역상분배 column이었으며, 측정조건은 시료주입량 5 μl , 이동층 유량 0.8ml/min, column 온도 40℃, 흡수파장 254nm, peak 면적 적산법, 분석시간은 50분 이었다.

4. 5. Light microscopy 관찰

광학현미경의 표본제작은 Ando et al. (1991c)의 방법에 따라 검경용

표본을 제작하였다. 즉, 등육을 일정 크기로 정방형($10 \times 10 \times 10\text{mm}^3$)으로 잘라서 Instron(Model 1011, USA)으로 직경 40mm cylinder plunger를 사용하여 $100\text{g}/\text{cm}^2$ 의 압력으로 10초간 가압한 후에 다시 일정 크기($8 \times 8 \times 5\text{mm}^3$)로 잘라, Bouin 용액으로 24시간 고정하여 증류수로서 24시간 수세후에 ethyl alcohol로 완전히 탈수하여 paraffin wax로 침투시켰다. Paraffin wax를 응고시켜 시료 block을 만든 후, microtom(Model PR-50, Yamamoto kohki, Saitama)을 사용하여 $7\mu\text{m}$ 의 절편을 만들었으며, 염색은 Haematoxlin eosin 염색을 하여 광학현미경(Nikon Model MSM-9, Japan)으로 배율 100배에서 검정하였다.

5. 통계처리

통계 처리는 SAS 프로그램을 이용한 분산분석표(analysis of variance table : ANOVA table)를 작성하였으며, Duncan의 다중범위 검정(Duncan's multiple range test)으로 $p < 0.05$ 에서 결과간의 유의성을 검정하였다.

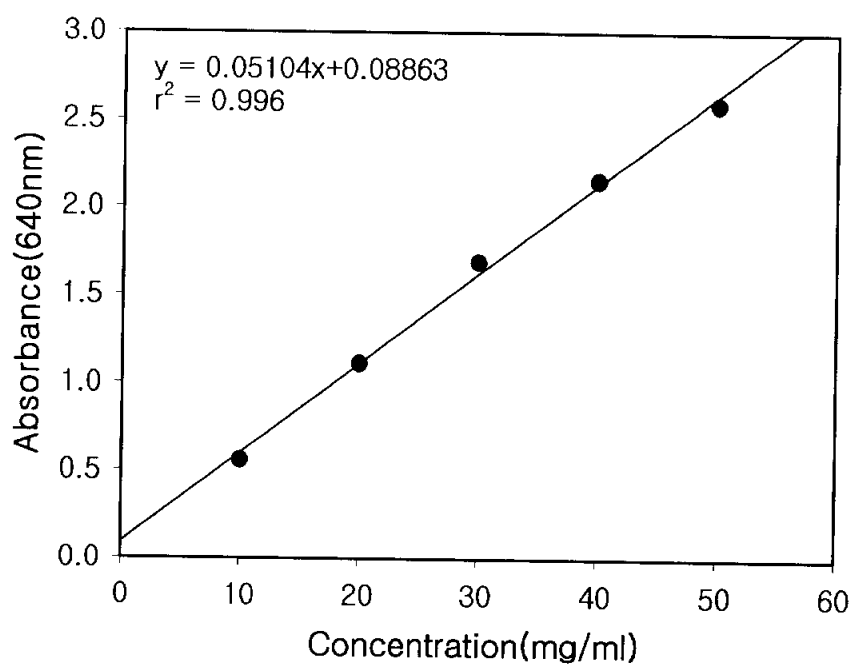


Fig. 5. Standard curve for the determination of inorganic phosphate by Fiske and Subbarow method.

**Table 1. Conditions employed for breaking strength
profile measurement of fishes muscle**

Instrument	SUN RIIEO Meter Compac-100, Japan
Sample thickness	10mm ¹⁾
Cylindrical plunger	10mm ²⁾ in diameter
Crosshead speed	1mm/sec
Load cell	10kg
Chart speed	60mm/m

1) ; simulated a slice of "sashimi"

2) ; simulated the molar tooth

결과 및 고찰

1. 육질향상을 위한 최적 침지온도의 설정

1. 1. 파괴강도(breaking strength)의 변화

(주)에이알에서 제작된 저온 브라인 침지장치를 이용하여 브라인 용액의 침지온도를 0℃, -5℃, 10℃, -15℃, -20℃로 달리하여 침지온도에 따른 넙치와 우럭의 파괴강도 변화를 Fig. 6, 7에 나타내었다. 넙치의 파괴강도는 즉살구가 1.48kg, 0℃는 1.63kg, 5℃는 1.65kg, 10℃는 1.84kg, 12.5℃는 1.95kg, -15℃는 1.75kg, -20℃는 1.64kg으로 12.5℃에 침지시 가장 높은 값을 나타냈으며, 우럭도 넙치와 같은 조건으로 실험하였을때, 즉살구가 1.57kg, 0℃는 1.69kg, 5℃는 1.72kg, 10℃는 1.86kg, 12.5℃는 1.97kg, 15℃는 1.74kg, 20℃는 1.69kg로, 넙치와 같이 -12.5℃에서 파괴강도의 상승률이 가장 높아서 넙치와 우럭이 각각 30%, 25% 정도의 상승효과를 나타내었다. 그러나, -12.5℃보다 침지온도가 높거나 낮아지면 파괴강도값은 낮았다. 또한, 침지온도별로 침지한 넙치와 우럭이 즉살한 넙치와 우럭보다는 높은 파괴강도를 나타냈다. 이러한 결과는 Cho et al. (1994)가 보고한 바와 같이 collagen 섬유의 취약화에 의한 background toughness가 저하하지 않은 상황에서 저온 브라인 용액 침지에 의한 급속한 ATP의 분해로 myosin과 actin의 결합이 가속화되어 actomyosin toughness가 증대된 결과로 여겨진다. 그리고 0℃, -5℃, 10℃의 경우 actomyosin toughness를 최대로 할 수 있는 ATP의 분해를 -12.5℃만큼 충분히 가속화시키지 못하여 파괴강도값이 낮은 것으로 추측된다. 또한 -15℃, -20℃의 경우 actomyosin toughness는 증가되지만 과도한 온도저하로 인하여 collagen 섬유가 취약화되어 background toughness를 저하시키기 때문이라고 생각된다. 활어의 종류에 따라서 파괴강도의 차이는 있었으나, -12.5℃의 브라인

에 활어를 일정시간 침지시키면, 넙치와 우럭 등 중요 횡감용 어육의 파괴강도가 최고값을 가졌다. 이는 차가운 브라인의 냉기가 활어에 전달되므로 신경자극에 의하여 근육의 수축이 강하게 일어나서 육질이 단단하게 되며, 근육이 수축된 상태인 활어를 끄집어 내어서 생선회로 조리하면 신경전달 체계가 끊어져 버리므로, 수축된 근육이 이완되는 가역적인 반응이 일어나지 못하기 때문으로 판단된다.

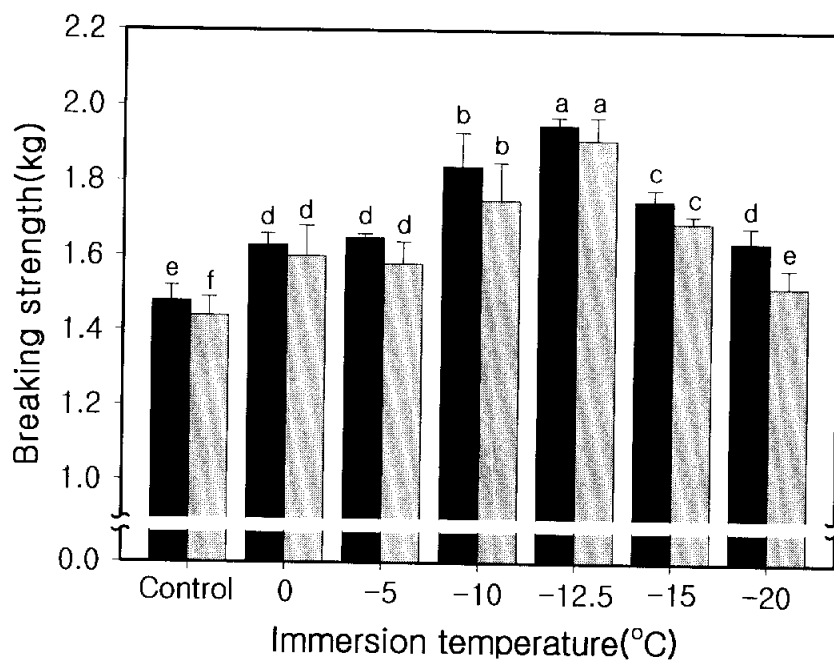


Fig. 6. Effects of brine temperature on the breaking strength in olive flounder muscle.

■ : dorsal
 ▨ : ventral

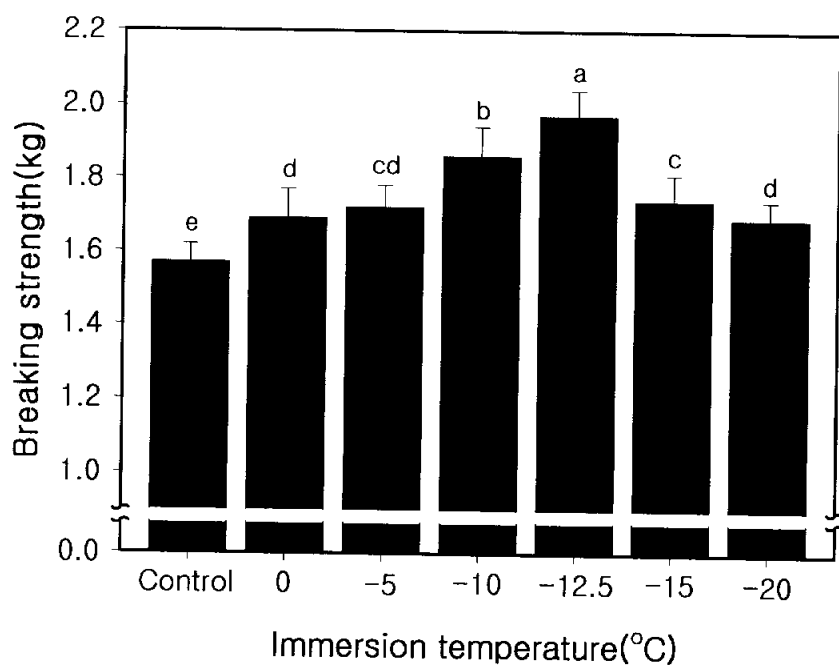


Fig. 7. Effects of brine temperature on the breaking strength in black rockfish muscle.

1. 2. 사후경직도(rigor index)의 변화

사후경직은 어류의 사후변화 과정 중 일어나는 가장 현저한 현상으로 선도의 중요한 지표가 된다. 경직의 기구는 근육 중 ATP의 소실과 관련되어 있어, ATP가 어느 정도 감소하면 경직이 시작되며, ATP의 소실과 더불어 경직이 완료된다(Watabe et al., 1991). 저온 브라인 용액을 이용하여 넙치와 우럭을 브라인 온도별(0℃, -5℃, -10℃, -12.5℃, 15℃, 20℃)에 따라 침지후에 5℃ 저장 중 사후경직도의 변화를 Fig 8, 9에 나타내었다. 사후경직도의 변화는 넙치 즉살구가 29시간 후 90%로 최고경직율을 나타내었고, 0℃는 27시간 후 85%, 5℃는 25시간 후 83%, 10℃는 23시간 후 79%, 12.5℃는 20시간 후 80%, -15℃는 18시간 후 76%, -20℃는 16시간 후 70% 였으며, 우럭 즉살구는 24시간 후 90%로 최고경직율을 나타내었고, 0℃는 23시간 후 87%, -5℃는 22시간 후 86%, -10℃는 20시간 후 82%, -12.5℃는 18시간 후 79%, 15℃는 16시간 후 74%, -20℃는 14시간 후 71%로, 넙치와 우럭 모두 침지온도가 낮아짐에 따라서 최고경직까지의 도달시간이 짧아지고 최고경직율도 낮아지는 결과를 나타내었다.

이와 같이 브라인에 침지시킨 것이 사후 경직의 진행속도가 빨랐는데, 이것은 브라인 침지시 저온에 의하여 ATP의 분해가 촉진되어 급속한 해당작용의 진행으로 인하여 경직의 진행속도가 현저히 빨라지기 때문이라고 생각된다.

상기의 결과는 Cho et al. (1995)이 전기자극시킨 넙치가 즉살한 넙치보다 사후경직이 촉진된다는 보고와 일치하였으며, Will et al. (1979)도 우육을 전기자극시키면 경직의 진행속도가 빨라진다는 보고와도 일치하였다.

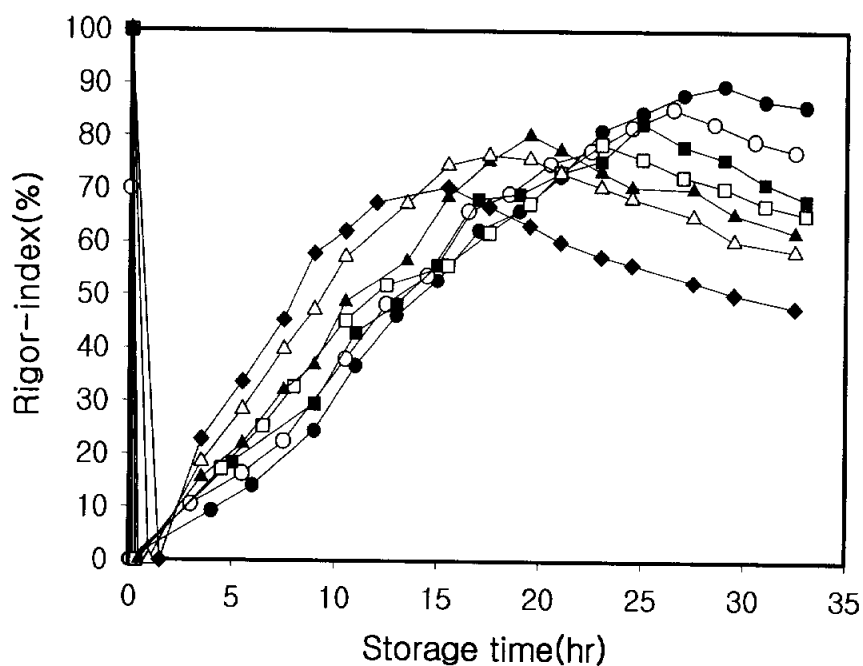


Fig. 8. Changes in rigor-index of olive flounder muscle by brine temperature.

- ; control(spiking at the head instantly)
- ; 0℃ for 5min
- ; -5℃ for 5min
- ; -10℃ for 5min
- ▲ ; -12.5℃ for 5min
- △ ; -15℃ for 5min
- ◆ ; -20℃ for 5min

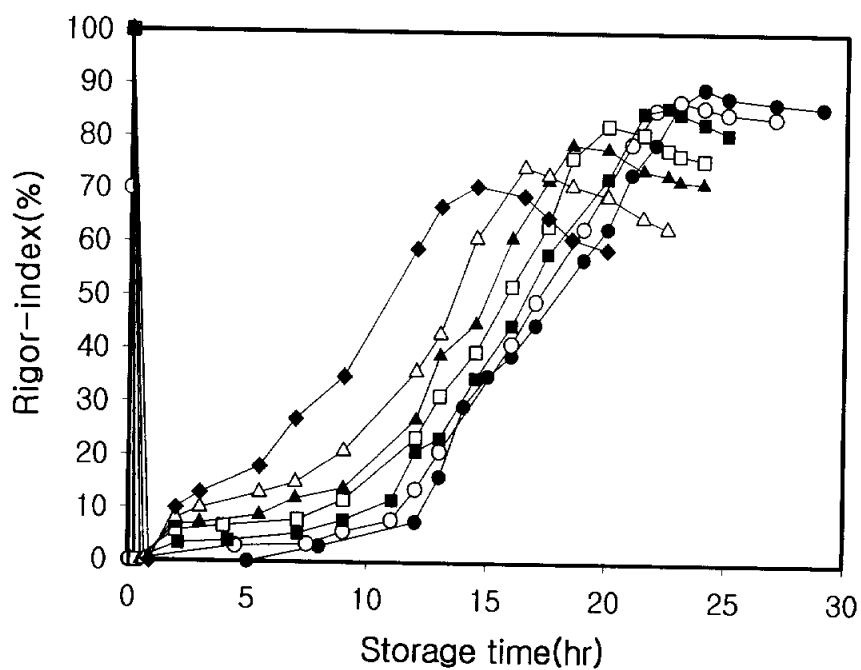


Fig. 9. Changes in rigor-index of black rockfish muscle by brine temperature.

- ; control(spiking at the head instantly)
- ; 0℃ for 5min
- ; -5℃ for 5min
- ; -10℃ for 5min
- ▲ ; -12.5℃ for 5min
- △ ; -15℃ for 5min
- ◆ ; -20℃ for 5min

1. 3. 유산(Lactate)함량의 변화

생체중에 ATP 합성에 관여하는 대사계로서 glycogen 및 glucose를 출발물질로 하는 혐기적 대사인 해당을 들 수 있다. Glycogen은 glycogen phosphorylase의 작용에 의하여 glucose-1-phosphate를 생성하며, glycogen 1mole로부터 최종적으로 2mole의 L-lactate 및 2mole의 ATP가 생성된다. 사후초기의 근육에는 유산이 거의 축적되어 있지 않으나, ATP함량이 감소하면서 경직이 시작되는데 이 시점에서 유산의 축적은 증가하기 시작한다. 그러나, 본 실험에서는 저장중의 유산함량의 변화를 살핀 것이 아니라, 저온 브라인에 의하여 근육이 수축된 정도와 유산량의 관계를 살펴보기 위하여 조사하였다.

넙치와 우럭을 브라인 온도별(0℃, -5℃, -10℃, -12.5℃, -15℃, -20℃)로 침지 후의 유산함량 변화를 Table 2에 나타내었다. 넙치의 즉살구에서는 $7.5 \pm 0.2 \mu\text{mole/g}$ 이었으며, 0℃는 $7.8 \pm 0.4 \mu\text{mole/g}$, -5℃는 $8.7 \pm 0.2 \mu\text{mole/g}$, -10℃는 $9.0 \pm 0.1 \mu\text{mole/g}$, -12.5℃는 $10.5 \pm 0.5 \mu\text{mole/g}$, -15℃는 $8.6 \pm 0.1 \mu\text{mole/g}$, -20℃는 $7.9 \pm 0.6 \mu\text{mole/g}$ 의 함량을 나타냈다. 또한 우럭의 즉살구에서는 $6.1 \pm 0.3 \mu\text{mole/g}$ 이었으며, 0℃는 $7.2 \pm 0.1 \mu\text{mole/g}$, -5℃는 $7.7 \pm 0.2 \mu\text{mole/g}$, -10℃는 $8.2 \pm 0.6 \mu\text{mole/g}$, -12.5℃는 $8.7 \pm 0.2 \mu\text{mole/g}$, -15℃는 $6.6 \pm 0.4 \mu\text{mole/g}$, 그리고 -20℃는 $6.2 \pm 0.5 \mu\text{mole/g}$ 으로 브라인의 온도가 저하함에 따라 유산함량은 증가하다가 -12.5℃에서 최대값을 가지고, 그 보다 더 낮은 온도에서는 다시 감소하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 Fig 6, 7에서 나타난 넙치와 우럭의 파괴강도 경향과 유사하였다. 즉 근육이 강하게 수축되면서 수축을 위한 에너지로써 ATP를 소비하게 되고, 소비된 ATP 만큼 유산을 생성하였기 때문으로 판단되어진다.

Table 2. Effects of brine temperature on the lactate contents in olive flounder and black rockfish muscle

Immersion temperature(°C)	Lactate contents(μ mole/g)	
	Olive flounder	Black rockfish
Control	7.5 $\pm$ 0.2 ^{cl)}	6.1 $\pm$ 0.3 ^t
0	7.8 $\pm$ 0.4 ^d	7.2 $\pm$ 0.1 ^d
-5	8.7 $\pm$ 0.2 ^c	7.7 $\pm$ 0.2 ^c
-10	9.0 $\pm$ 0.1 ^b	8.2 $\pm$ 0.6 ^b
-12.5	10.5 $\pm$ 0.5 ^a	8.7 $\pm$ 0.2 ^a
-15	8.6 $\pm$ 0.1 ^c	6.6 $\pm$ 0.4 ^e
-20	7.9 $\pm$ 0.6 ^d	6.2 $\pm$ 0.5 ^t

^{l)}Means with the same alphabet are not significantly by Duncan's multiple range test(α =0.05)

1. 4. ATP 관련화합물(ATP related compound)의 변화

근육의 사후변화와 ATP 관련물질의 함량사이에는 밀접한 연관이 있으며, ATP는 사후에 $ATP \rightarrow ADP \rightarrow AMP \rightarrow IMP \rightarrow \text{inosine(HxR)} \rightarrow \text{hypoxanthin(Hx)}$ 의 경로를 통하여 분해된다. 분해는 각 단계별로 관련 효소에 의하여 진행되며, 분해속도는 어종에 따라서 차이를 나타낸다. Nucleotide의 함량은 적색어와 백색어에 따라 큰 차이없이 대체로 $5 \sim 10 \mu\text{mole/g}$ 정도 함유되어 있으며, 어육은 사후 ATP가 급속히 감소함에 따라 IMP의 함량이 증가한다고 밝혀져 있다(Iwamoto et al., 1987, 1988).

브라인 온도(0°C , -5°C , -10°C , -12.5°C , -15°C , -20°C)에 따라 침지시킨 넙치와 우럭의 ATP관련물질의 변화를 Fig. 10, 11에 나타내었다. ATP관련화합물의 전체함량은 넙치가 약 $12.0 \mu\text{mole/g}$, 우럭은 약 $8.3 \mu\text{mole/g}$ 으로 유사하였으며, 넙치 즉살구의 경우 ATP함량이 $8.5 \mu\text{mole/g}$ 이었고, 0°C 는 $7.6 \mu\text{mole/g}$, -5°C 는 $7.4 \mu\text{mole/g}$, -10°C 는 $6.8 \mu\text{mole/g}$, -12.5°C 는 $6.5 \mu\text{mole/g}$, -15°C 는 $7.2 \mu\text{mole/g}$, -20°C 는 $7.7 \mu\text{mole/g}$ 이었고, 우럭 즉살구의 경우 ATP함량이 $6.9 \mu\text{mole/g}$, 0°C 는 $6.6 \mu\text{mole/g}$, -5°C 는 $6.2 \mu\text{mole/g}$, -10°C 는 $6.1 \mu\text{mole/g}$, -12.5°C 는 $5.9 \mu\text{mole/g}$, -15°C 는 $6.1 \mu\text{mole/g}$, -20°C 는 $6.5 \mu\text{mole/g}$ 으로, 넙치와 우럭 모두 -12.5°C 에서 침지시 ATP함량이 가장 낮게 나타났으며, ADP와 AMP의 함량은 대체로 비슷하였다.

어육내의 ATP관련화합물은 파괴강도와 밀접한 관계가 있으며, 어육의 사후 경직중 근육의 ATP가 일정수준을 유지하고 있을 때에는 myosin과 actin의 결합에 의하여 수축된 근육은 가역적으로 이완된다. 그러나, ATP의 재생체계가 차단되어 ATP의 함량이 감소되면 myosin과 actin이 불가역적으로 강하게 결합하여 사후 경직이 급속히 진행되어 ATP의 농도가 $1 \mu\text{mole/g}$ 이하로 저하하면 사후경직이 거의 완료된다. Fig. 5, 6에서 나타낸 바와 같이, -12.5°C 에서 넙치와 우럭의 파괴강도가 최

대를 보인 것과는 반대로, ATP 함량은 가장 낮은 값을 보였다. 이는 Kim(1998)이 보고한 전기치사에 의한 육질의 변화에서 나타낸 바와 같이, 근육이 강하게 수축되었을때, 파괴강도와 ATP 함량과는 역의 관계를 가진다는 보고와 유사하였다. 그러므로, 근육의 수축이 최대로 일어난 -12.5°C 에서 파괴강도와 유산함량이 가장 높았으며, ATP의 함량은 가장 낮게 나타났다.

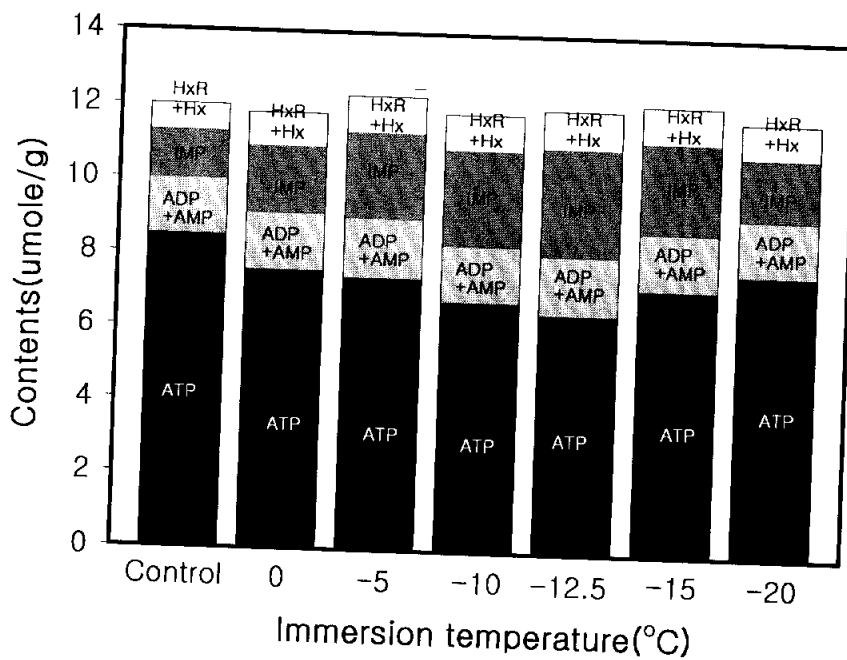


Fig. 10. Effects of brine temperature on the ATP related compounds in olive flounder muscle.

■ ; ATP
 ▨ ; ADP+AMP
 ▩ ; IMP
 ▤ ; HxR+Hx

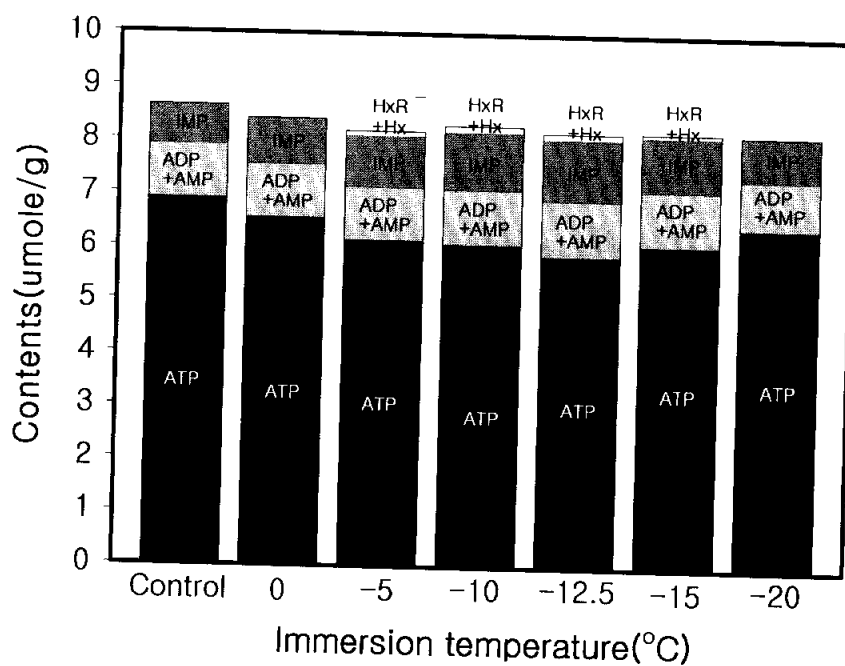


Fig. 11. Effects of brine temperature on the ATP related compounds in black rockfish.

■ ; ATP
 □ ; ADP+AMP
 ▒ ; IMP
 ; HxR+Hx

1. 5. 근육의 조직학적 변화

어육의 사후 연화 기구에 대해서는 Z선의 붕괴(Seki and Tsuchiya, 1991; Yachibana and Tsuchimoto, 1990 ; Goll et al., 1983), actin과 myosin 사이의 결합의 약화(農原・志水, 1988 ; Goll et al., 1983 ; Parrish and Lusby, 1983), 탄성 단백질인 connectin의 분해(Seki and Watanabe, 1984), 그리고 결합 조직의 약화(火田江 等, 1989) 등의 방법으로 설명되고 있으며, 최근에는 이들 중에서 결합 조직의 약화에 의한 근육의 연화설이 유력하게 설명되어지고 있다. 즉, 근섬유와 근섬유는 주로 collagen으로 되어 있는 세포외 matrix라고 불리는 구조로 접착되어 있으며(Duance et al. 1977), 전도가 좋은 생선회 특유의 씹힘성은 근원 섬유 자체가 아니고 세포외 matrix 강도에 의한 것으로 알려져 있다(Ando et al., 1991b).

브라인 용액에 침지온도를 달리한 넵치육편 100g/cm²의 압력을 가한 후에 검경용 표본을 만들어서 표면조직을 광학현미경으로 관찰한 결과를 Fig. 12에 나타내었다. 즉살의 경우 일부의 세포사이에 약간의 간격이 관찰되었으며, 침지온도가 저하함에 따라 세포사이의 간격이 넓어지는 것을 확인 할 수 있었다.

상기의 근섬유의 조직학적인 변화는 파괴강도의 변화 결과와 밀접한 관계를 나타내고 있다. 즉, -12.5℃까지 근섬유 사이의 간격이 넓지 않은 것은 이 온도까지 근섬유와 근섬유를 연결시키고 있는 세포의 matrix(V형 collagen 섬유)의 붕괴가 거의 없는 상황 즉, background toughness의 저하가 일어나지 않았음을 시사하며, 이 때에 근육의 수축에 의한 장력 발생 즉, actomyosin toughness 증가한다. 따라서, background toughness에 actomyosin toughness가 더하여지기 때문에 -12.5℃에서 파괴강도가 최대값을 나타내는 것으로 해석되며, 이보다 높은 온도에서는 actin과 myosin의 결합에 의한 actomyosin toughness가 충분히 증가하지 않았으며, -12.5℃보다 낮은 온도에서는 저온에 의

해서 actomyosin toughness는 다소 증가하나, 세포외 matrix(V형 collagen 섬유)의 붕괴가 발생하게 됨으로 background toughness가 저하하게 되어 파괴강도가 낮아지는 것으로 판단된다.

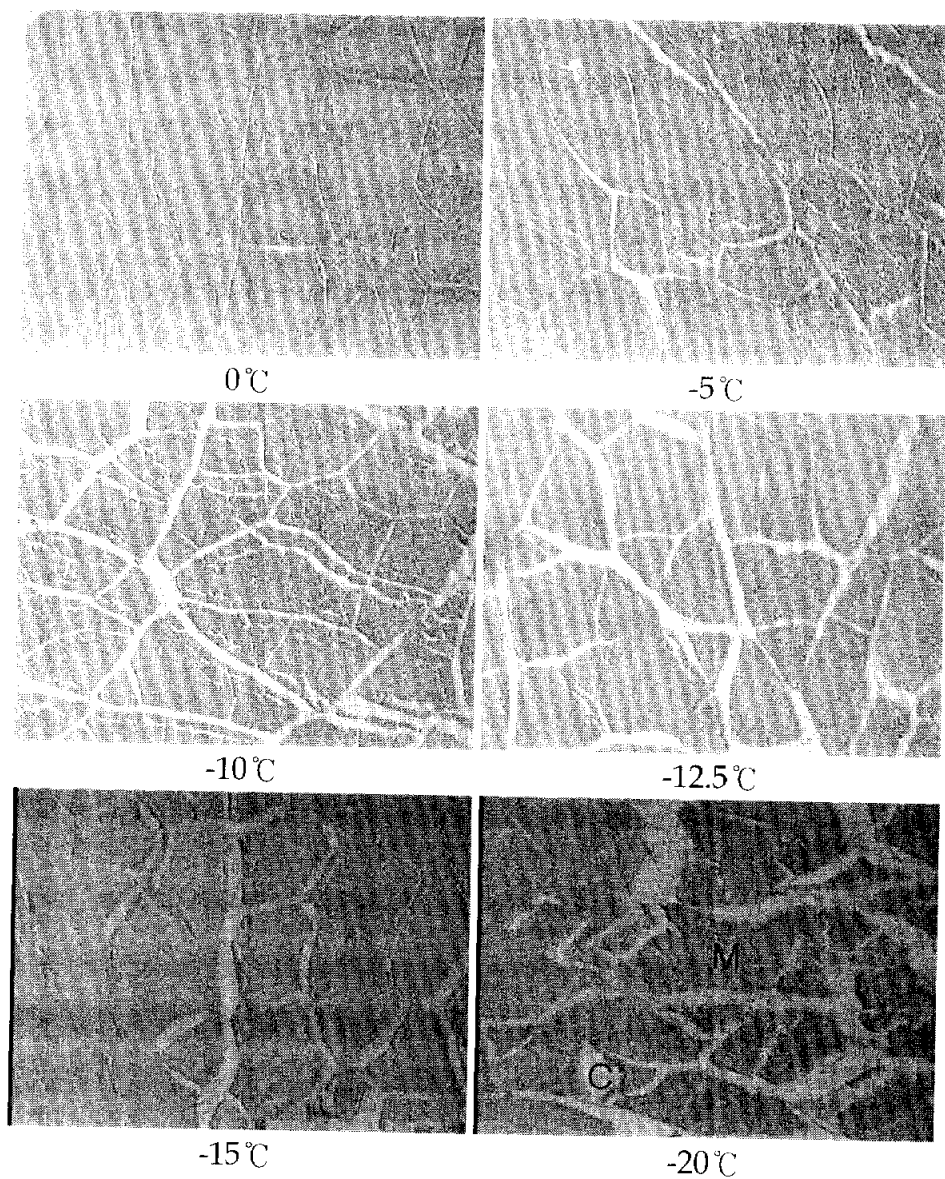


Fig. 12. Light microscopy of olive flounder muscle by brine temperature.

C ; extracellular matrix structure

M ; muscle fiber

2. 육질향상을 위한 최적 침지시간의 설정

2. 1. 파괴강도(breaking strength)의 변화

육질의 단단함에는 육중의 결합조직의 주성분인 collagen의 함량 및 분포 형태에 따라서 결정되어지는 background toughness(어종에 따른 고유의 단단함)와 사후 근육중의 ATP의 분해에 의해서 myosin과 actin의 결합에 의한 actomyosin toughness(근육 수축에 의한 단단함)로 나누어 진다(山木·丸山, 1998). Cho and Lee(1994)는 background toughness는 사후 초기에 collagen matrix의 붕괴로 서서히 저하된다고 하였으며, 반면에 actomyosin toughness는 사후 초기에 ATP의 분해로 actomyosin 복합체가 형성되기 때문에 서서히 증가된다고 하였다. 어육의 단단함은 어종, 신선도 및 조리후의 저장조건 등에 영향을 받음이 알려져 있으며, 육질이 단단한 어종일수록 고급 횡감으로 취급된다.

브라인 온도에 따른 물리·화학적인 특성을 살펴본 결과, 넙치, 우럭 등의 어육에서 가장 높은 육질향상을 보인 온도는 -12.5°C 였으므로, 온도는 -12.5°C 로 고정하고 침지시간을 2.5분, 5분, 7.5분, 10분, 15분으로 하여 침지시간에 의한 육질향상의 영향을 조사하였다.

넙치와 우럭외에 국내에서 생선횡감으로 많이 소비되고 있는 방어, 송어, 농어 등도 포함하여 파괴강도 변화를 Fig. 13, 14, 15, 16, 17에 나타내었다. 넙치와 우럭은 즉살구에서 각각 1.48kg과 1.57kg이었고, 2.5분은 1.73kg과 1.75kg, 5분은 1.95kg과 1.97kg, 7.5분은 1.68kg과 1.85kg, 10분은 1.49kg과 1.71kg, 15분은 1.43kg과 1.65kg으로, 5분 침지시에 육질의 단단함이 즉살구에 비해 각각 약 30%와 25% 가장 높은 상승률을 보였다.

그러나, 방어의 경우는 즉살구가 1.25kg, 2.5분은 1.31kg, 5분은 1.35kg, 7.5분은 1.52kg, 10분은 1.46kg, 15분은 1.43kg으로 7.5분 침지시에 육질의 단단함의 상승률이 약 21%로 가장 좋은 결과를 나타내었다. 이와

같은 결과는 방어가 넙치나 우럭과는 달리 어체의 형태와 크기가 다르기 때문에 저온의 냉기가 육의 내부까지 침투하기까지의 시간이 오래 걸리기 때문에 상승률이 넙치나 우럭보다 낮은 것으로 사료된다.

방어와 형태적으로 비슷한 숭어, 농어 등은 방어와 유사한 경향을 나타내었다. 숭어의 경우는 즉살구가 1.51kg, 2.5분은 1.59kg, 5분은 1.82kg, 7.5분은 1.90kg, 10분은 1.71kg, 15분은 1.67kg이었고, 농어의 경우는 즉살구가 1.41kg, 2.5분은 1.55kg, 5분은 1.57kg, 7.5분은 1.85kg, 10분은 1.69kg, 15분은 1.59kg으로 7.5분 침지시 각각 25.8%와 31.2%로 가장 높은 상승률을 나타내었다.

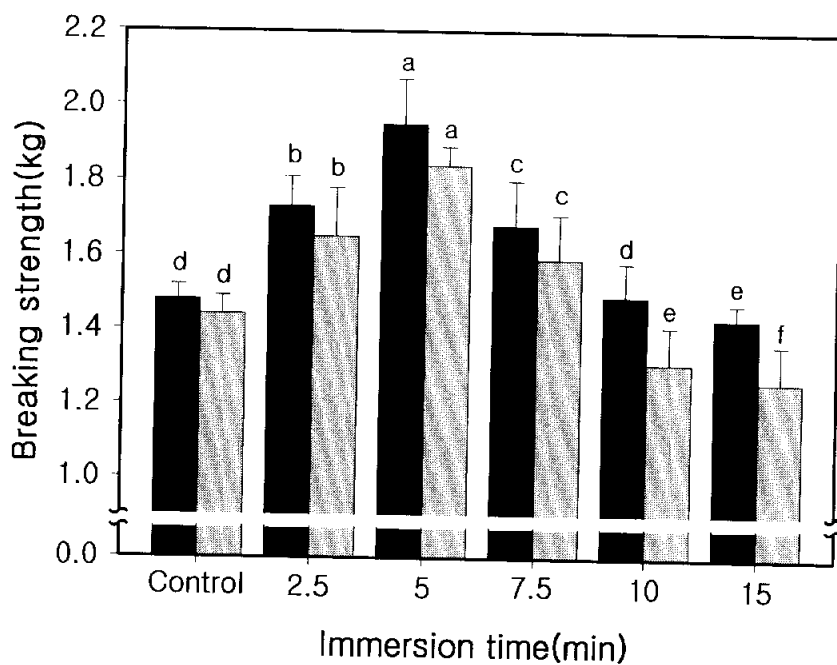


Fig. 13. Effects of immersion time on the breaking strength in olive flounder muscle.

■ : dorsal
 ▨ : ventral

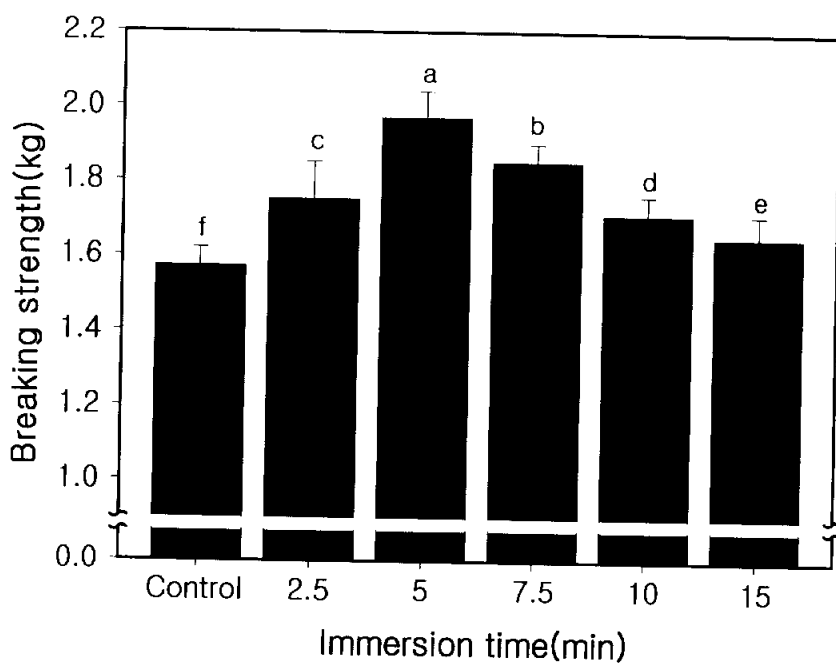


Fig. 14. Effects of immersion time on the breaking strength in black rockfish muscle.

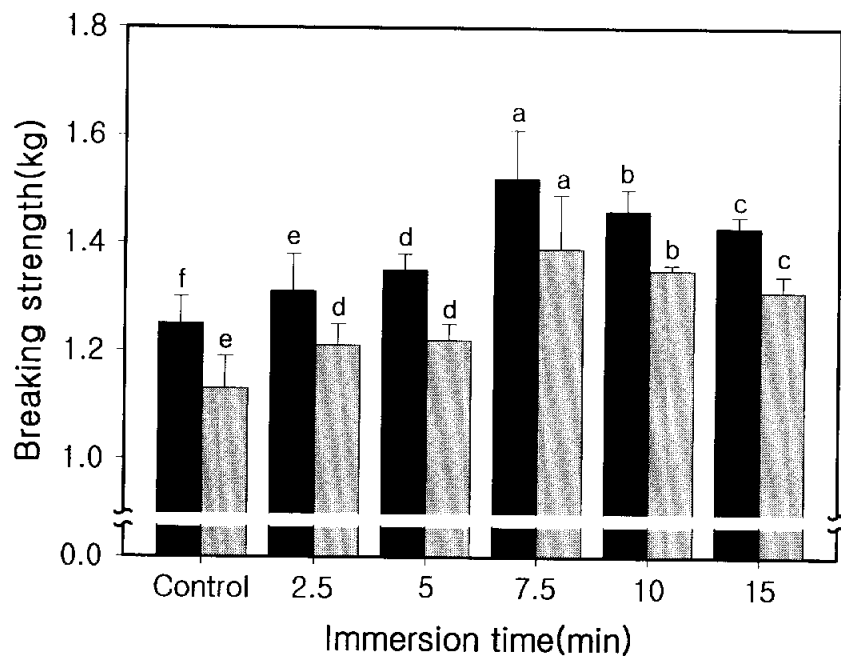


Fig. 15. Effects of immersion time on the breaking strength in yellowtail muscle.

■ : dorsal
 ▨ : ventral

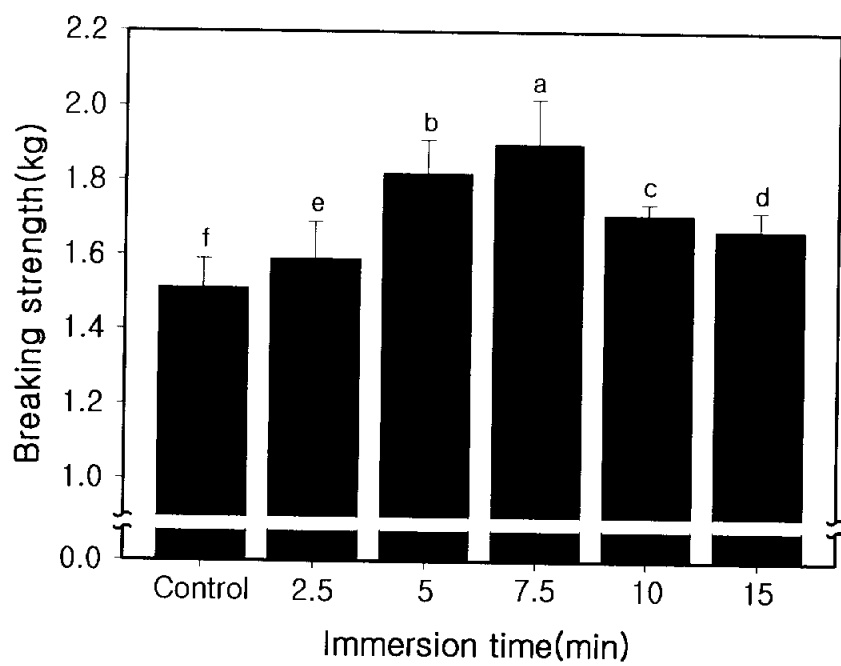


Fig. 16. Effects of immersion time on the breaking strength in common grey mullet muscle.

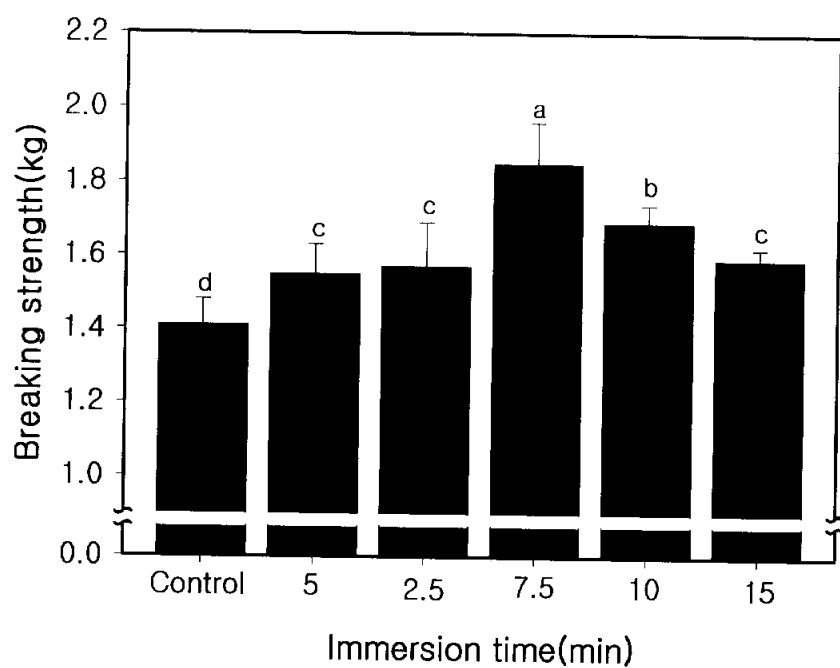


Fig. 17. Effects of immersion time on the breaking strength in common sea bass muscle.

2. 2. 사후경직도(rigor-index)의 변화

어육도 축육과 동일하게 사후의 근육이 수축하여 단단하고 불투명하게 되는 현상이 일어나는데 이것을 사후경직이라고 하며, 사후의 어육에서는 근소포체로부터 Ca^{2+} 이 유리하여 ATP를 분해시켜 경직이 시작되며, ATP의 소실과 더불어서 경직은 완료된다. 경직개시시간 및 경직지속시간은 어류의 종류, 생리조건, 에너지 소모정도, 운동정도, 사육수온, 치사조건 및 저장온도등의 영향을 받음이 알려져 있으며, 근육의 사후 경직은 ATP 분해에 의하여 actin과 myosin의 불가역적 가교 결합에 의하여 일어남이 알려져 있다(Pate 등, 1980; Whiting, 1980; Watabe 등, 1989). 브라인 온도를 -12.5°C 로 고정하고 침지시간은 2.5분, 5분, 7.5분, 10분, 15분으로 하여 5°C 저장 중 넙치, 우럭, 방어, 송어, 농어의 사후 경직도 변화를 Fig. 18, 19, 20, 21, 22에 나타내었다. 넙치의 경우 즉살구가 29시간 후 90% 였으며, 2.5분은 26시간 후 85%, 5분은 20시간 후 80%, 7.5분 18시간 후 78%, 10분은 13시간 후 70%, 15분은 8시간 후 64%로, 침지시간이 길어질수록 최고경직까지의 도달시간이 짧아지고 최고경직율도 낮아지는 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 Kim(1998)이 보고한 전기치사에 의한 육질의 변화에서 나타낸 바와 같이 전기자극을 가한 것이 즉살한 것에 비하여 완전경직의 도달시간은 빠르게 진행되었으며, 전기자극시간이 길어질수록 경직이 촉진된다는 보고와 일치하였다. 이는 침지시간이 길어짐에 따라 ATP의 분해가 촉진되어 actin과 myosin 간의 불가역적 가교 결합이 이루어지기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 우럭은 즉살구가 24시간 후 90% 였으며, 2.5분은 22시간 후 84.8%, 5분은 19시간 후 78.8%, 7.5분은 17시간 후 75%, 10분은 13시간 후 69%, 15분은 8시간 후 60% 방어, 송어, 농어 등도 이와 유사한 결과를 나타내었다.

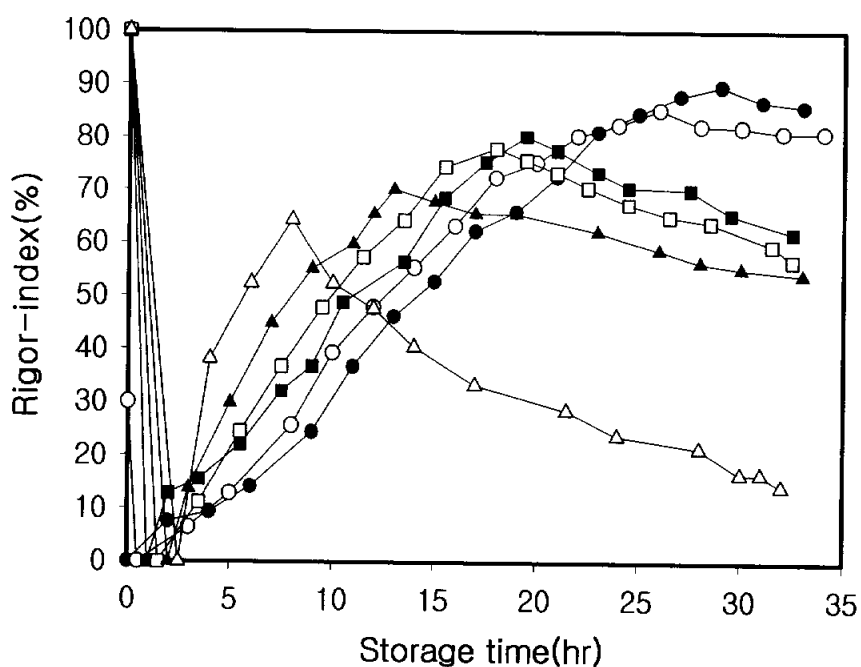


Fig. 18. Changes of rigor-index in olive flounder muscle by immersion time.

- ; control(spiking at the head instantly)
- ; 2.5min at 12.5°C
- ; 5min at 12.5°C
- ; 7.5min at 12.5°C
- ▲ ; 10min at -12.5°C
- △ ; 15min at -12.5°C

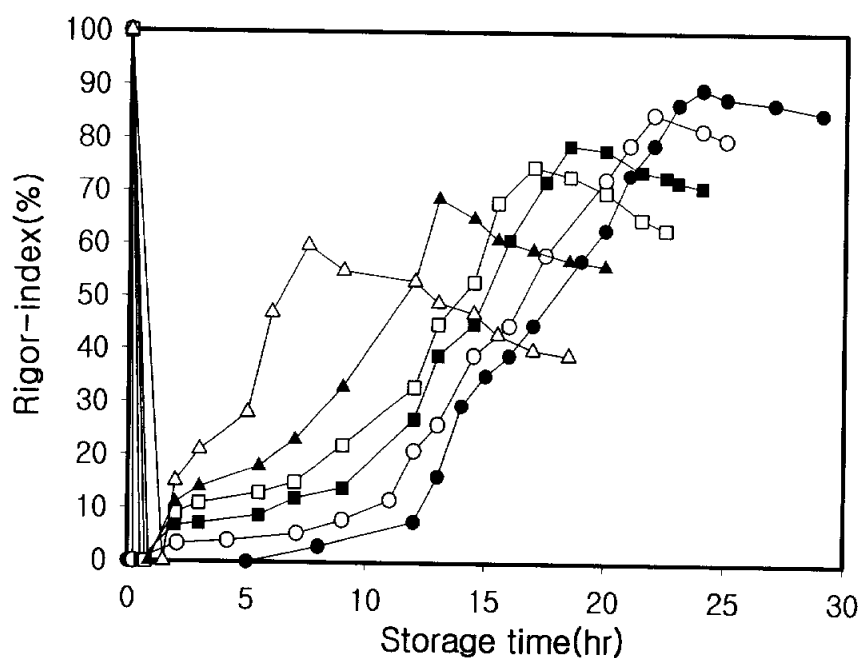


Fig. 19. Changes of rigor-index in black rockfish muscle by immersion time.

- ; control(spiking at the head instantly)
- ; 2.5min at -12.5°C
- ; 5min at -12.5°C
- ; 7.5min at -12.5°C
- ▲ ; 10min at -12.5°C
- △ ; 15min at -12.5°C

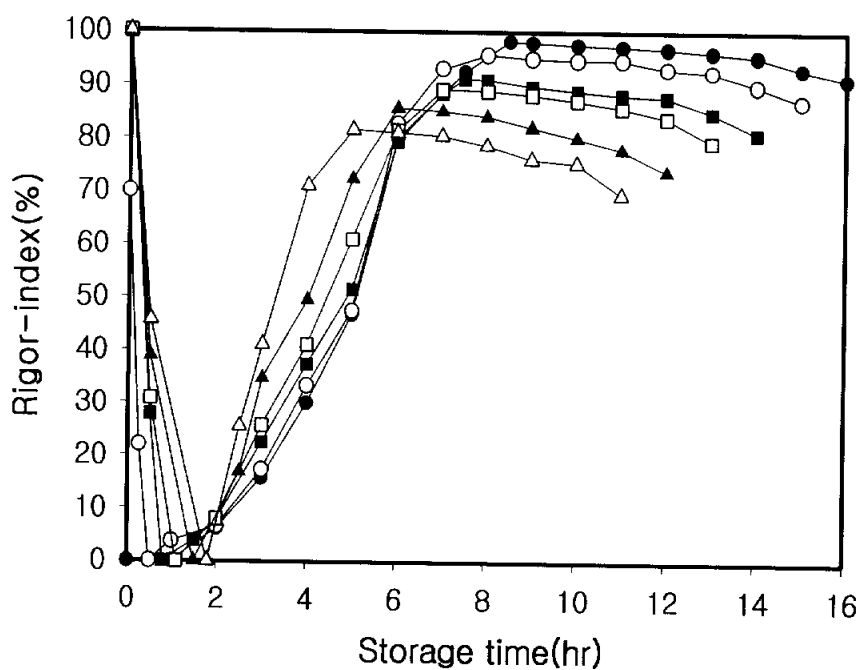


Fig. 20. Changes of rigor-index in yellowtail muscle by immersion time.

- ; control(spiking at the head instantly)
- ; 2.5min at -12.5°C
- ; 5min at -12.5°C
- ; 7.5min at -12.5°C
- ▲ ; 10min at -12.5°C
- △ ; 15min at -12.5°C

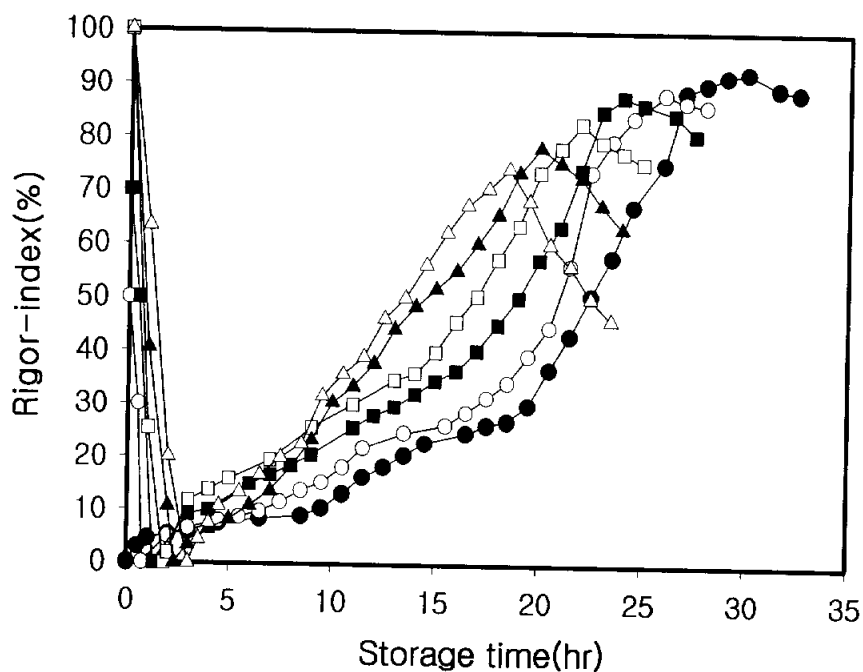


Fig. 21. Changes of rigor-index in common grey mullet muscle by immersion time.

- ; control(spiking at the head instantly)
- ; 2.5min at -12.5°C
- ; 5min at -12.5°C
- ; 7.5min at -12.5°C
- ▲ ; 10min at -12.5°C
- △ ; 15min at -12.5°C

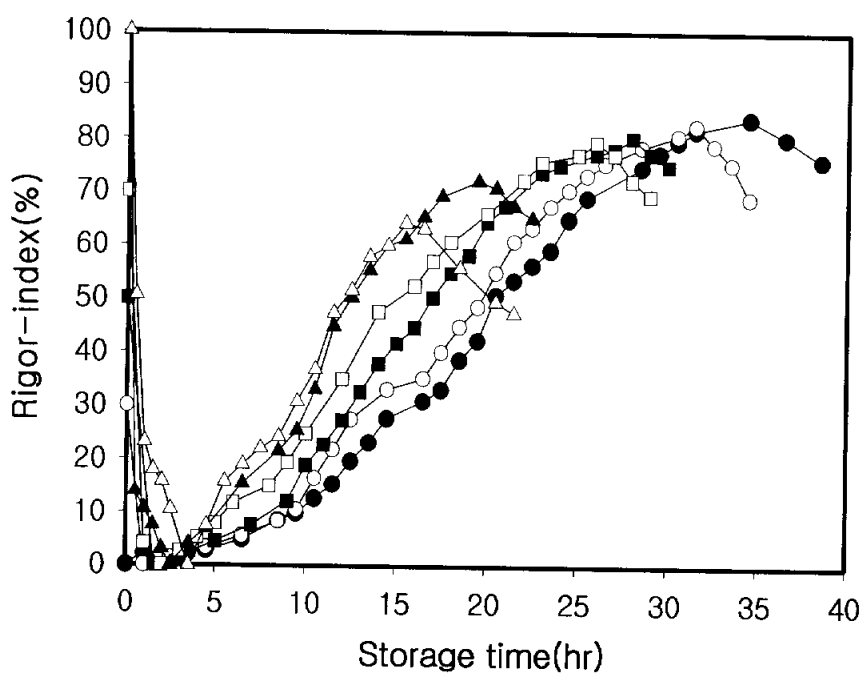


Fig. 22. Changes of rigor-index in common sea bass muscle by immersion time.

- ; control(spiking at the head instantly)
- ; 2.5min at -12.5°C
- ; 5min at -12.5°C
- ; 7.5min at -12.5°C
- ▲ ; 10min at -12.5°C
- △ ; 15min at -12.5°C

2. 3. 유산(lactate)함량의 변화

사직후(死直後)의 근육에는 유산이 거의 축적되어 있지않으며, ATP값이 감소하기 시작하는 시점에서 경직이 개시되는데, 이 시점에서 유산량도 증가하기 시작한다. 사후경직도가 100%에 도달한 완전 경직기 시점에서 creatine phosphate 및 ATP가 거의 완전히 소실됨과 동시에 유산의 축적량은 최대값에 도달하게 된다. 브라인 온도를 -12.5°C 로 고정하고 침지시간은 2.5분, 5분, 7.5분, 10분, 15분으로 하여 넙치, 우럭, 방어, 송어, 농어의 유산함량 변화를 Table 3에 나타내었다. 넙치의 경우 즉살구가 $7.5 \pm 0.2 \mu\text{mole/g}$ 이었으며, 2.5분은 $8.0 \pm 0.2 \mu\text{mole/g}$, 5분은 $8.7 \pm 0.2 \mu\text{mole/g}$, 7.5분은 $8.2 \pm 0.6 \mu$, 10분은 $7.8 \pm 0.5 \mu\text{mole/g}$, 15분은 $7.7 \pm 0.3 \mu\text{mole/g}$ 으로 5분 침지시 가장 높은 함량을 나타내었다. 우럭도 이와 유사한 경향을 보였다. 그러나 방어의 경우 즉살구가 $13.8 \pm 0.3 \mu\text{mole/g}$ 였으며, 2.5분은 $14.0 \pm 0.1 \mu\text{mole/g}$, 5분은 $14.9 \pm 0.3 \mu\text{mole/g}$, 7.5분은 $25.1 \pm 0.5 \mu\text{mole/g}$, 10분은 $19.8 \pm 0.2 \mu\text{mole/g}$, 15분은 $15.3 \pm 0.7 \mu\text{mole/g}$ 으로 7.5분 침지시 가장 높은 함량을 나타내었다. 또한 방어와 형태가 유사한 송어, 농어 등도 이와 유사한 경향을 보였는데, 송어는 즉살구가 $6.1 \pm 0.2 \mu\text{mole/g}$ 였으며, 2.5분은 $6.5 \pm 0.3 \mu\text{mole/g}$, 5분은 $7.0 \pm 0.1 \mu\text{mole/g}$, 7.5분은 $7.3 \pm 0.1 \mu\text{mole/g}$, 10분은 $6.8 \pm 0.3 \mu\text{mole/g}$, 15분은 $6.4 \pm 0.4 \mu\text{mole/g}$ 의 함량 변화를 보였고, 농어의 경우 즉살구가 $6.3 \pm 0.1 \mu\text{mole/g}$ 였으며, 2.5분은 $8.4 \pm 0.3 \mu\text{mole/g}$, 5분은 $11.4 \pm 0.2 \mu\text{mole/g}$, 7.5분은 $13.5 \pm 0.3 \mu\text{mole/g}$, 10분은 $10.2 \pm 0.2 \mu\text{mole/g}$, 15분은 $6.7 \pm 0.4 \mu\text{mole/g}$ 의 함량을 나타냈다.

이상과 같이 침지시간에 따른 근육중의 유산 축적량의 변화는 ATP분해와 상관이 깊다는 Watabe et al.(1991)의 보고와 일치하였으며, 넙치와 우럭은 ATP분해가 가장 많은 5분 침지시에, 방어, 송어, 농어 등은 7.5분 침지시에 가장 높은 유산함량을 보였다.

Table 3. Effects of immersion time on the lactate contents in various fishes muscle

Immersion time(min)	Lactate contents(μ mole/g)				
	olive flounder	black rockfish	yellowtail	common grey mullet	common sea bass
Control	7.5 ($\pm 0.2^{el}$)	6.1 ($\pm 0.3^f$)	13.8 ($\pm 0.3^e$)	6.1 ($\pm 0.2^e$)	6.3 ($\pm 0.1^f$)
2.5	8.0 ($\pm 0.2^c$)	7.4 ($\pm 0.3^b$)	14.0 ($\pm 0.1^e$)	6.5 ($\pm 0.3^d$)	8.4 ($\pm 0.3^d$)
5	8.7 ($\pm 0.2^d$)	7.7 ($\pm 0.2^a$)	14.9 ($\pm 0.3^d$)	7.0 ($\pm 0.1^b$)	11.4 ($\pm 0.2^b$)
7.5	8.2 ($\pm 0.6^b$)	7.1 ($\pm 0.5^c$)	25.1 ($\pm 0.5^a$)	7.3 ($\pm 0.1^a$)	13.5 ($\pm 0.3^a$)
10	7.8 ($\pm 0.5^d$)	6.6 ($\pm 0.3^d$)	19.8 ($\pm 0.2^b$)	6.8 ($\pm 0.3^e$)	10.2 ($\pm 0.2^c$)
15	7.7 ($\pm 0.3^d$)	6.3 ($\pm 0.5^e$)	15.3 ($\pm 0.7^c$)	6.4 ($\pm 0.4^d$)	6.7 ($\pm 0.4^e$)

^{l)}Means with the same alphabet are not significantly by Duncan's multiple range test($\alpha=0.05$)

2. 4. ATP 관련화합물(ATP related compound)의 변화

어육의 사후, ATP의 분해 속도는 저장온도, 치사조건, 방혈유무등에 영향을 받으며, 저장온도가 낮을수록 분해가 촉진되며(Kim and Cho, 1992), 치사조건은 전기자극시킨 것이 분해가 가장 촉진됨이 알려져 있다(이 등, 1995). 그리고, 방혈유무는 어종에 따른 차이는 있지만, 넙치를 시료로한 실험에서는 무방혈이 방혈보다 ATP의 분해가 억제된다고 보고하고 있다(조 등, 1996).

넙치, 우럭, 방어, 숭어, 농어를 12.5℃의 저온 브라인에 침지시간(2.5분, 5분, 7.5분, 10분, 15분)에 따라 침지후에 ATP관련화합물의 변화를 Fig. 23, 24, 25, 26, 27에 나타내었다. ATP 관련화합물의 전체함량은 넙치가 약 12.0 μ mole/g이었고, 우럭 약 8.3 μ mole/g, 방어 약 8.0 μ mole/g, 숭어 약 8.1 μ mole/g, 농어 약 8.0 μ mole/g 함유되어 있었다. 넙치 대조구의 경우 전체 ATP관련화합물 중 ATP가 8.5 μ mole/g이었고, 2.5분은 7.0 μ mole/g, 5분은 6.5 μ mole/g, 7.5분은 7.4 μ mole/g, 10분은 7.8 μ mole/g, 15분은 8.0 μ mole/g으로 5분 침지한 경우 가장 낮은 ATP 함량을 보였으며, 우럭의 경우 대조구가 6.9 μ mole/g이었고, 2.5분은 6.5 μ mole/g, 5분은 5.9 μ mole/g, 7.5분은 6.3 μ mole/g, 10분은 6.8 μ mole/g, 15분은 6.5 μ mole/g으로 5분 침지시 가장 낮은 함량을 보였다. 그러나 방어의 경우 대조구가 7.6 μ mole/g이었고, 2.5분은 7.7 μ mole/g, 5분은 7.1 μ mole/g, 7.5분은 6.5 μ mole/g, 10분은 7.3 μ mole/g, 15분은 7.4 μ mole/g으로 넙치, 우럭과 달리 7.5분 침지시 가장 낮은 함량을 보였다. 방어와 형태가 유사한 숭어와 농어의 경우도 7.5분 침지시 가장 낮은 ATP 함량을 나타냈다. 이는 상기에서 보고한 바와 같이 어체의 형태에 따른 차이인 것으로 판단되며 넙치와 우럭은 5분, 방어, 숭어, 농어는 7.5분 침지시 최적의 조건으로 사료된다.

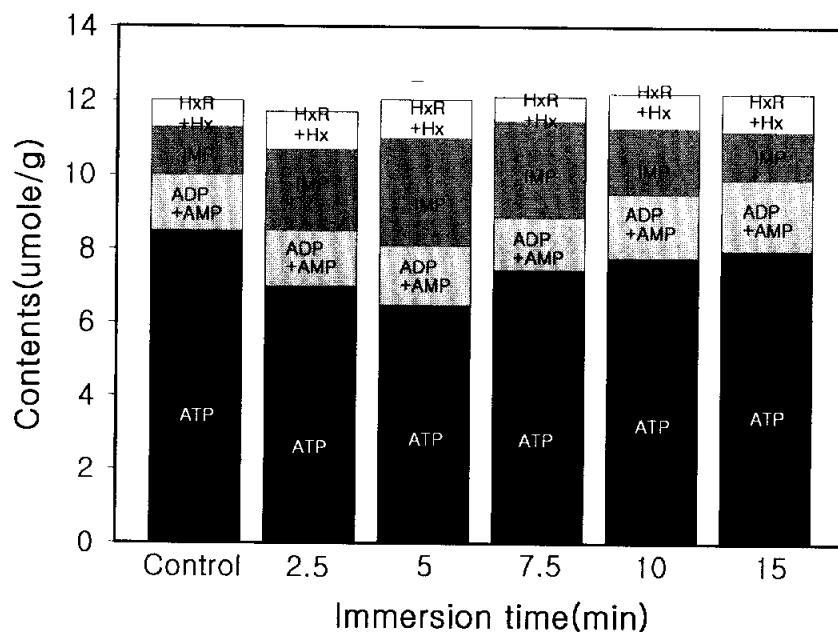


Fig. 23. Effects of immersion time on the ATP related compounds in olive flounder muscle.

■ ; ATP
 □ ; ADP+AMP
 ▨ ; IMP
 ▩ ; HxR+Hx

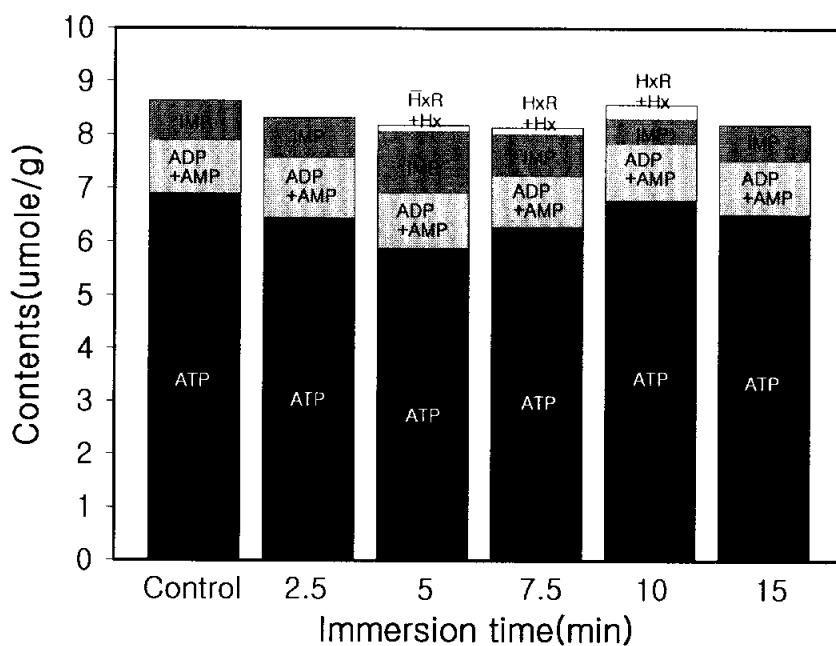


Fig. 24. Effects of immersion time on the ATP related compounds in black rockfish muscle.

■ ; ATP
 □ ; ADP+AMP
 ▒ ; IMP
 ■ ; HxR+Hx

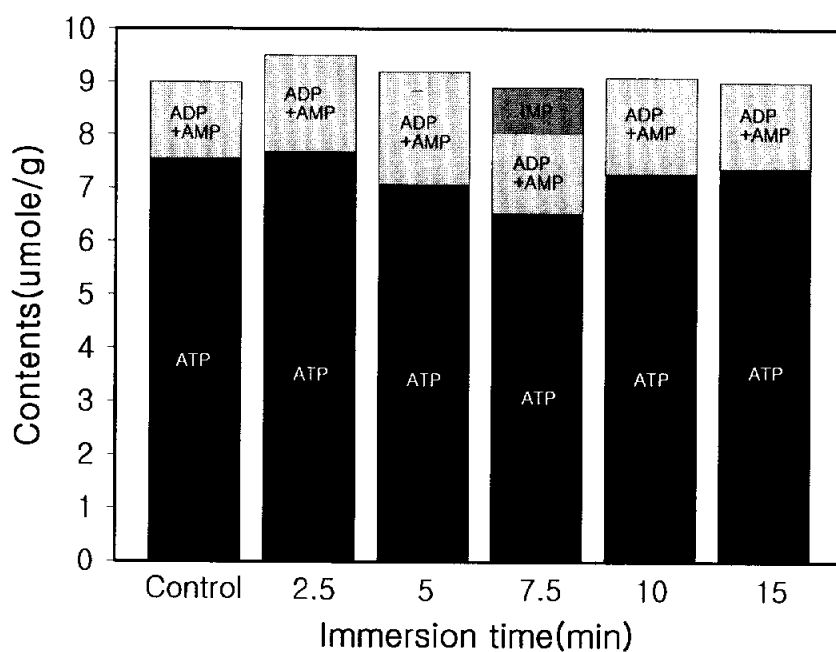


Fig. 25. Effects of immersion time on the ATP related compounds in yellowtail muscle.

■ ; ATP
 □ ; ADP+AMP
 ▒ ; IMP
 ; HxR+Hx

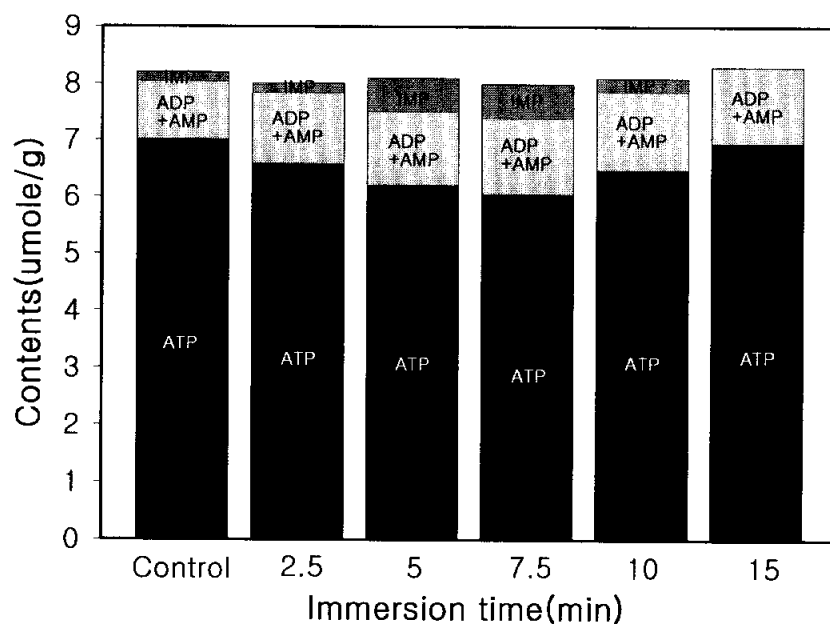


Fig. 26. Effects of immersion time on the ATP related compounds in common grey mullet muscle.

■ ; ATP
 □ ; ADP+AMP
 ▒ ; IMP
 ; HxR+Hx

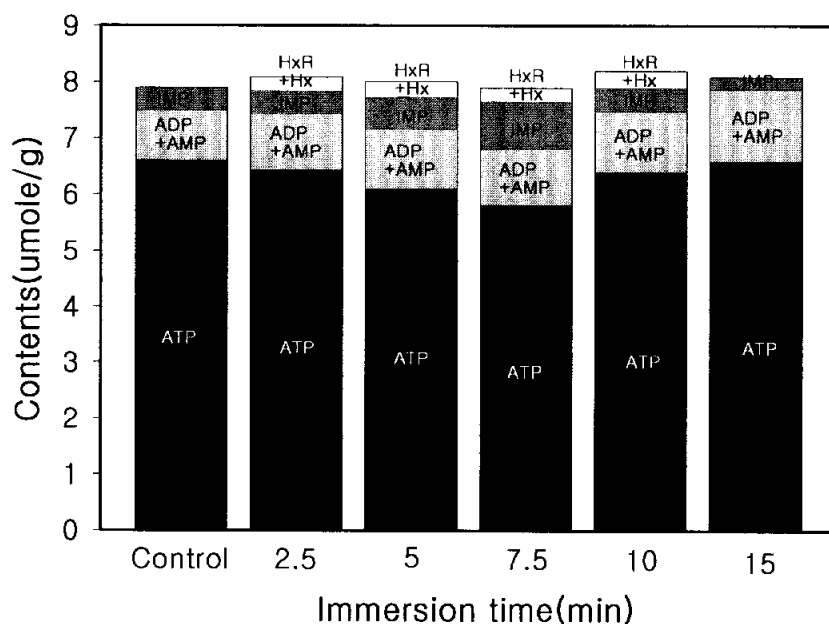


Fig. 27. Effects of immersion time on the ATP related compounds in common sea bass muscle.

■ ; ATP
 □ ; ADP+AMP
 ▒ ; IMP
 ■ ; HxR+Hx

2. 5. 근육의 조직학적 변화

생선회 육질의 단단함에 있어서 중요한 물리적 강도에 영향을 미치는 것은 결합 조직중에서는 thick collagen 섬유로 된 間質性 결합 조직(힘줄, 근극막 등)보다는 thin collagen 섬유로 되는 세포 주변의 결합 조직(근내막 등)으로 V형 collagen이며, 이것은 어떠한 원인에 의하여 V형 collagen 섬유 즉, 세포와 matrix의 기계적 강도가 감소하여 세포 주변의 결합 조직이 붕괴하여 육질이 연해지게 된다(Hallet and Bremner, 1988).

저온 브라인 침지시간에 따른 근육의 조직학적 변화를 Fig. 28에 나타내었다. 저온 브라인에 침지시 육온이 약 5℃로 근육내의 빙결정에 의한 근육의 손상이 아닌, 저온에 의한 ATP의 분해로 actomyosin 복합체의 형성으로 인한 장력 때문에 근육이 물리적으로 손상을 받은 것으로 판단되며 침지시간이 길어질수록 근육의 손상정도는 큰 것으로 관찰되었다.

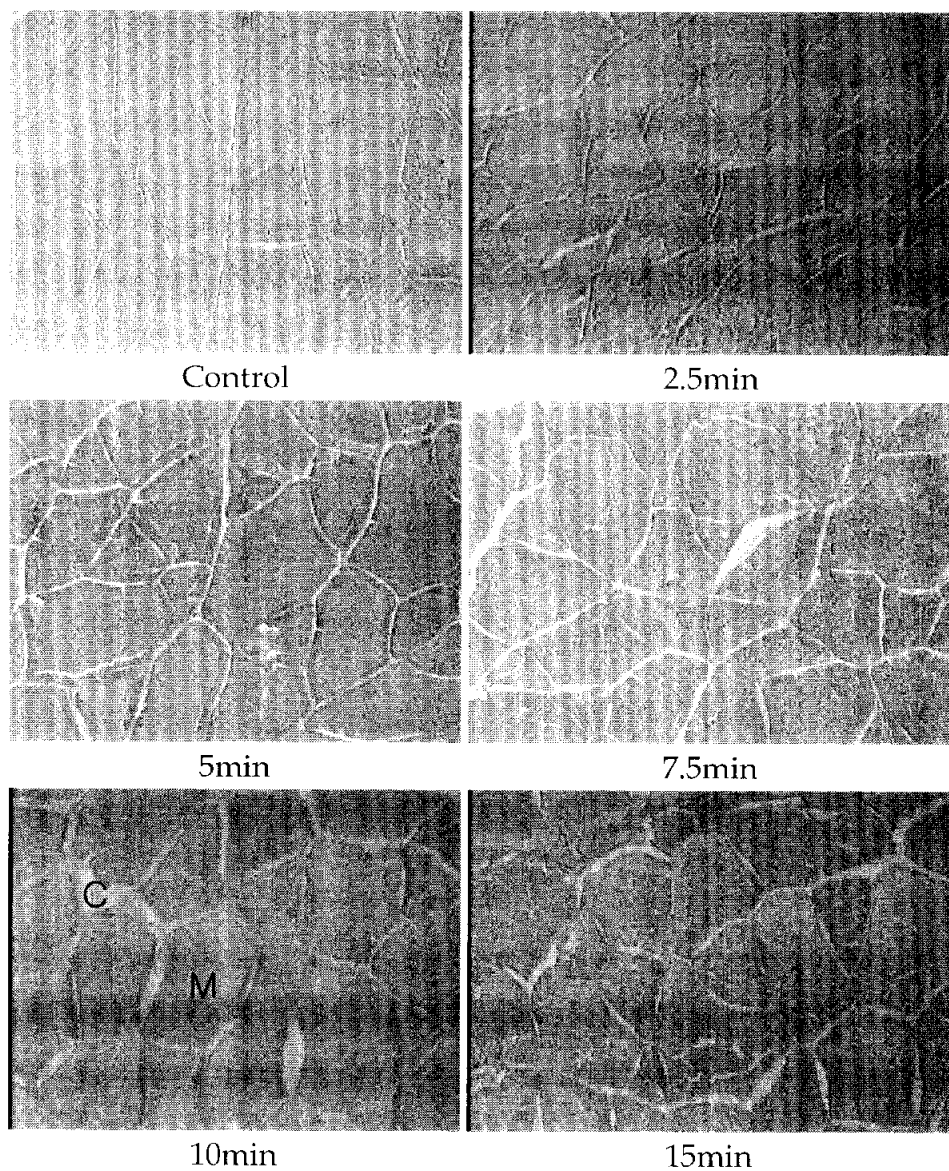


Fig. 28. Light microscopy of olive flounder muscle during storage at 5°C by immersion time.

C ; extracellular matrix structure M ; muscle fiber

3. 생선횃감의 종류에 따른 변화

3. 1. 파괴강도(breaking strength)의 변화

넙치, 우럭, 방어, 송어, 농어를 최적 침지조건(넙치와 우럭은 -12.5°C , 5분, 방어, 송어, 농어는 -12.5°C , 7.5분)으로 저온 브라인에 침지한 후 육질의 단단함을 나타내는 파괴강도값을 측정한 결과를 Fig. 29에 나타내었다. 넙치와 우럭은 각각 대조구가 1.48kg과 1.57kg이었고, 최적 침지조건인 -12.5°C 의 브라인에 5분간 침지 했을때 각각 1.95kg과 1.97kg으로 약 31.8%와 25.5%의 파괴강도의 상승을 보였다. 또한 형태가 유사한 방어, 송어, 농어의 경우 각각 대조구가 1.25kg, 1.51kg, 1.41kg이었고, 최적 침지조건인 -12.5°C 의 브라인 용액에 7.5분간 침지했을시 각각 1.51kg, 1.90kg, 1.85kg으로 약 21.6%, 25.8%, 31.2%의 파괴강도의 상승효과를 나타냈다. 생선횃감의 종류별에 따라서 최적침지시간이 차이가 나는 것은 생선 형태의 차이때문으로 판단된다. 즉 넙치와 같이 체폭이 얇거나 우럭처럼 어체가 작은 것은 브라인 용액에 침지시 냉기의 전달이 빠르기 때문에 침지시간이 짧으며, 방어와 같이 체폭이 두꺼운 것은 냉기의 전달이 늦기 때문에 최적 침지시간이 길어지는 것으로 판단된다.

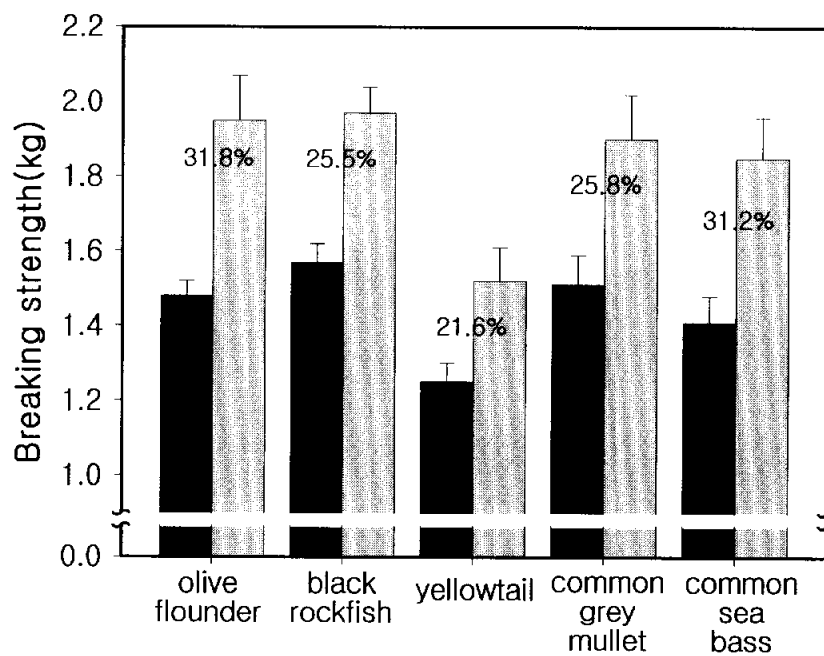


Fig. 29. Effects of different condition on the breaking strength in various fishes muscle.

■ ; the control

▨ ; the optimal condition

3. 2. 사후경직도(rigor-index)의 변화

넙치, 우럭, 방어, 송어, 농어 등을 최적 침지조건으로 저온 브라인에 침지한 후 사후경직도의 변화를 Fig. 30에 나타냈다. 다른 어종에 비해 방어가 사후경직의 진행이 가장 빨랐으며, 경직도의 증가는 즉살구와 최적 침지조건에서 침지한 것(-12.5℃, 7.5분)의 차이가 거의 없었으며, 최대경직도는 침지처리한 것이 약간 떨어졌다. 넙치는 사후경직의 진행이 방어보다 상당히 지연되었으며 -12.5℃에서 5분간 침지시킨 것이 침지시키지 않은 것보다 빨랐다. 그리고 우럭은 넙치보다는 사후경직의 진행이 약간 빨랐으나 동일한 경향을 나타내었으며, 송어, 농어도 유사한 경향을 보였다. 그러므로 동일한 어종을 경우 즉살구와 최적 침지조건에서 침지함에 따른 사후경직도의 변화에는 큰 차이가 없는 것으로 확인되었다.

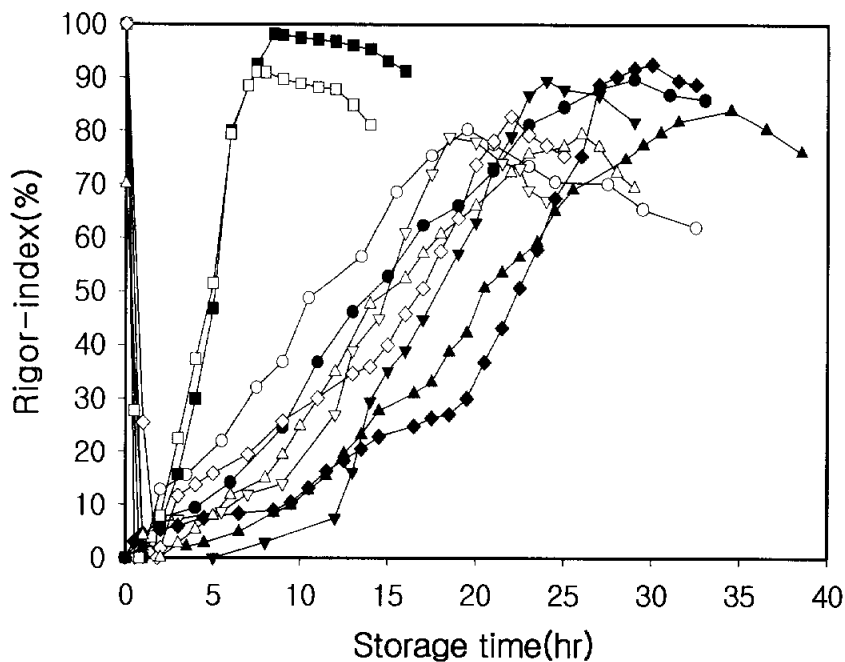


Fig. 30. Effects of different condition on the rigor-index in various fishes muscle.

- ; olive flounder(the control)
- ; olive flounder(-12.5℃ for 5min)
- ▼ ; black rockfish(the control)
- ▽ ; black rockfish(-12.5℃ for 5min)
- ; yellowtail(the control)
- ; yellowtail(-12.5℃ for 7.5min)
- ◆ ; common grey mullet(the control)
- ◇ ; common grey mullet(-12.5℃ for 7.5min)
- ▲ ; common sea bass(the control)
- △ ; common sea bass(-12.5℃ for 7.5min)

4. 어체 크기에 따른 변화

4. 1. 파괴강도(breaking strength)의 변화

상기의 결과를 바탕으로 생선회 어종별에 따라 설정된 최적조건을 이용하여 우리국민들이 선호하는 횡감종 어체의 크기를 달리한 넙치, 우럭, 방어, 송어, 농어 등을 저온 브라인에 침지시 파괴강도의 변화를 Fig. 31, 32, 33, 34, 35에 나타내었다. 어체의 크기에 따른 침지효과는 어체가 커짐에 따라 파괴강도의 증가는 있었으나, 파괴강도의 상승효과는 다소 감소하는 경향을 보였다. 즉, 넙치의 경우 400~600g과 600~800g을 비교한 결과 400~600g에서는 즉살구에 비해 최적 침지조건에서 침지한 경우 파괴강도가 약 33.3% 상승한 반면, 600~800g에서는 약 31.8%가 증가하였고, 우럭을 300~500g과 500~700g을 비교한 결과는 300~500g에서는 약 25.5%가 상승한 반면, 500~700g에서는 약 24%가 증가하였다. 방어의 경우, 500~700g과 800~1000g을 비교한 결과는 500~700g에서는 약 21.5%가 상승한 반면, 800~1000g에서는 약 20.1%가 증가하였다. 송어의 경우, 600~800g과 800~1000g을 비교하였을 때, 600~800g에서는 약 25.8%가 상승한 반면, 800~1000g에서는 약 23.2%가 상승하였다. 농어의 경우, 600~800g과 800~1000g을 비교한 결과는 600~800g에서는 약 31.2%가 상승한 반면, 800~1000g에서는 약 25.8%가 증가하였다. 이것은 어체가 커짐에 따라 브라인에 의한 냉기의 전달이 늦어지기 때문인 것으로 판단된다.

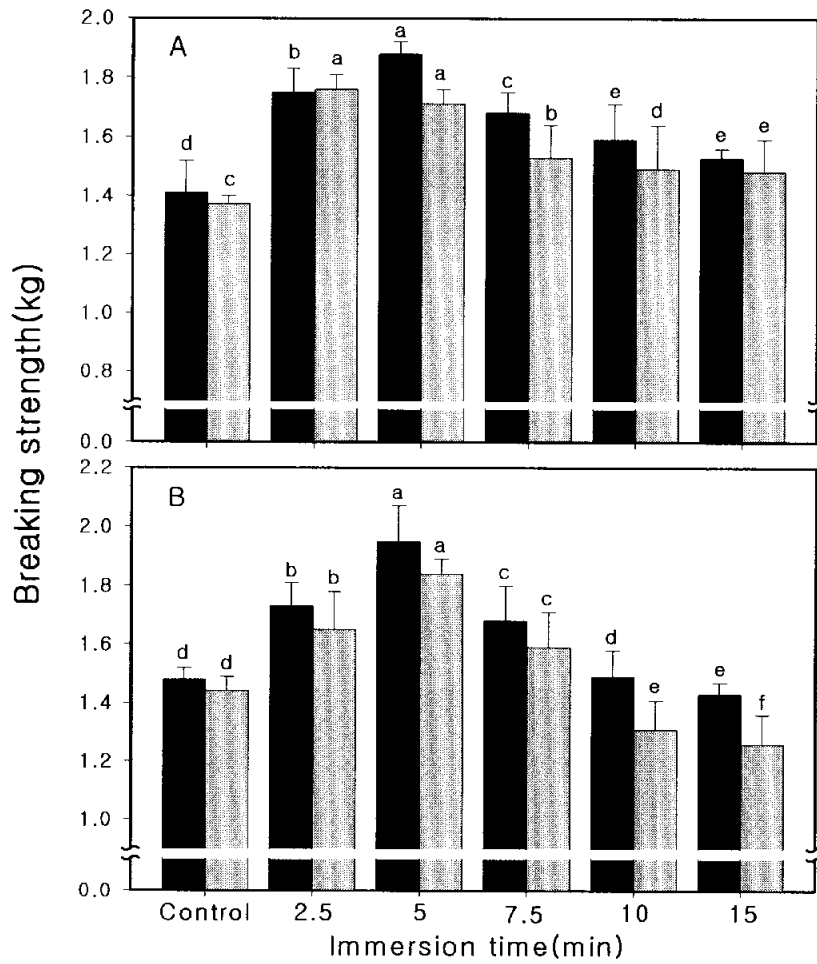


Fig. 31. Effects of different weight on the breaking strength in olive flounder muscle.

A ; 500g B ; 700g

■ ; dorsal

▨ ; ventral

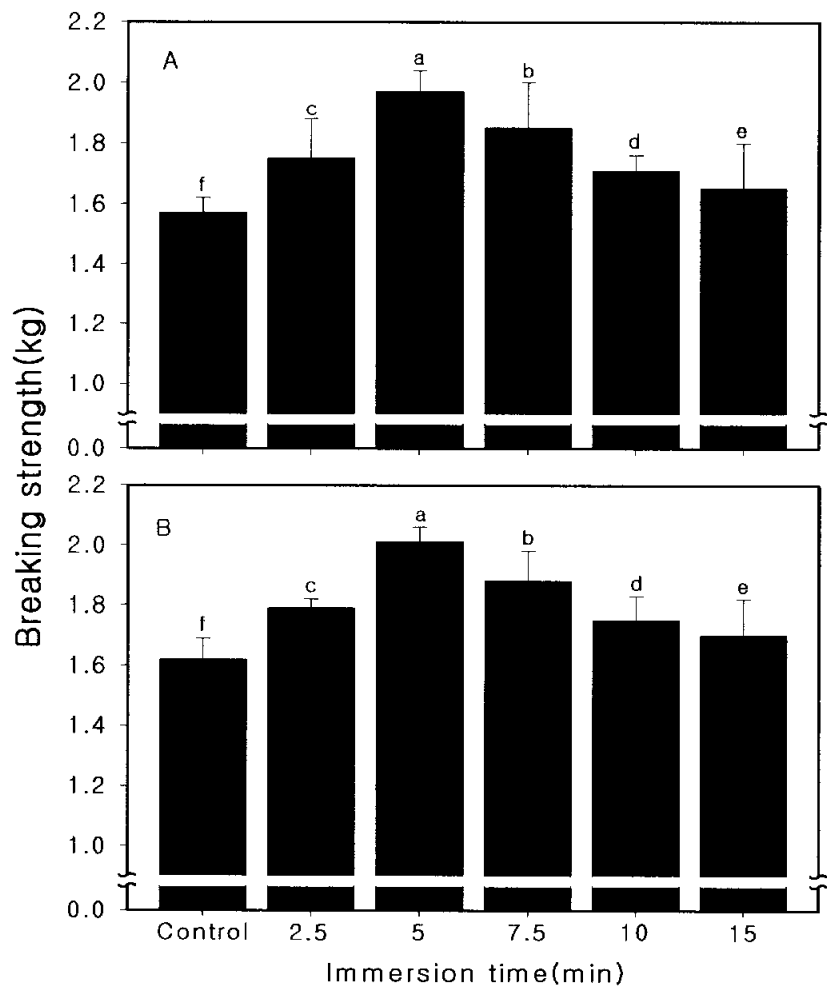


Fig. 32. Effects of different weight on the breaking strength in black rockfish muscle.

A ; 400g B ; 600g

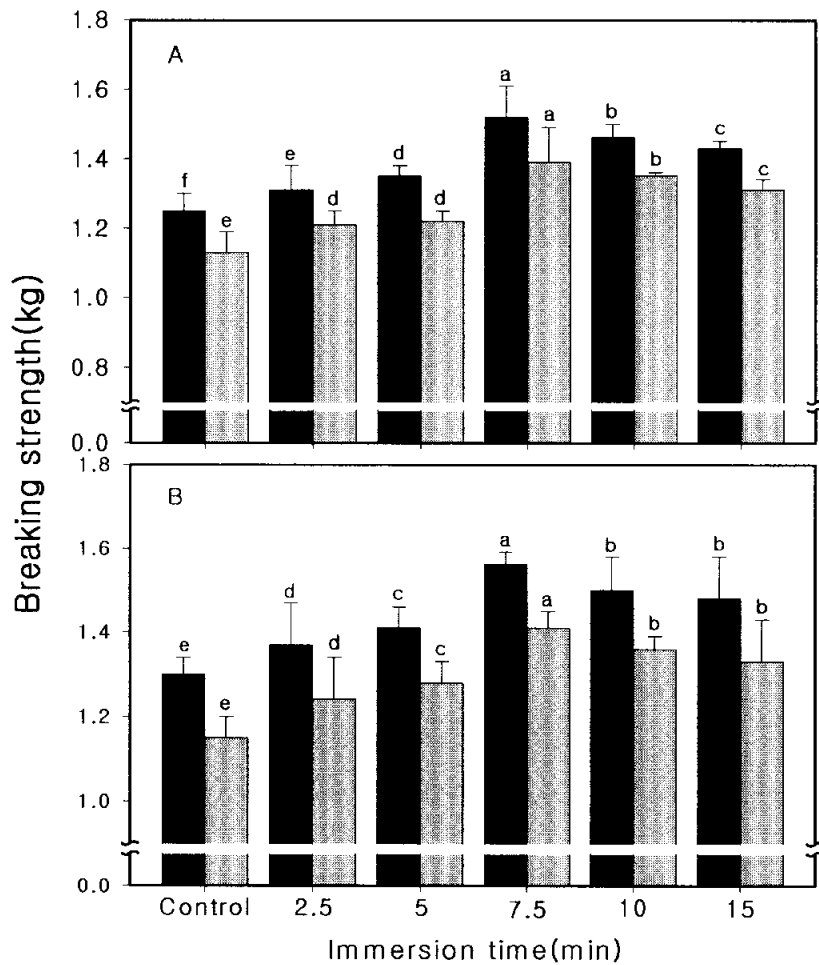


Fig. 33. Effects of different weight on the breaking strength in yellowtail muscle.

A ; 600g B ; 900g

■ ; dorsal

▨ ; ventral

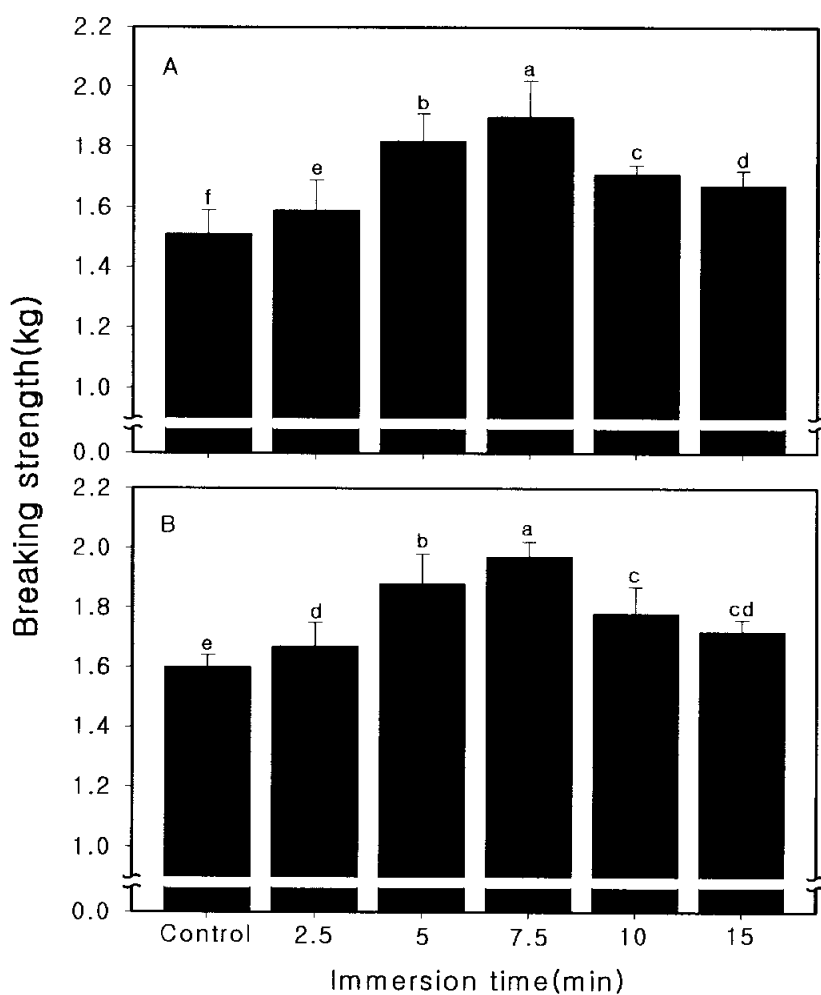


Fig. 34. Effects of different weight on the breaking strength in common grey mullet muscle.

A ; 700g B ; 900g

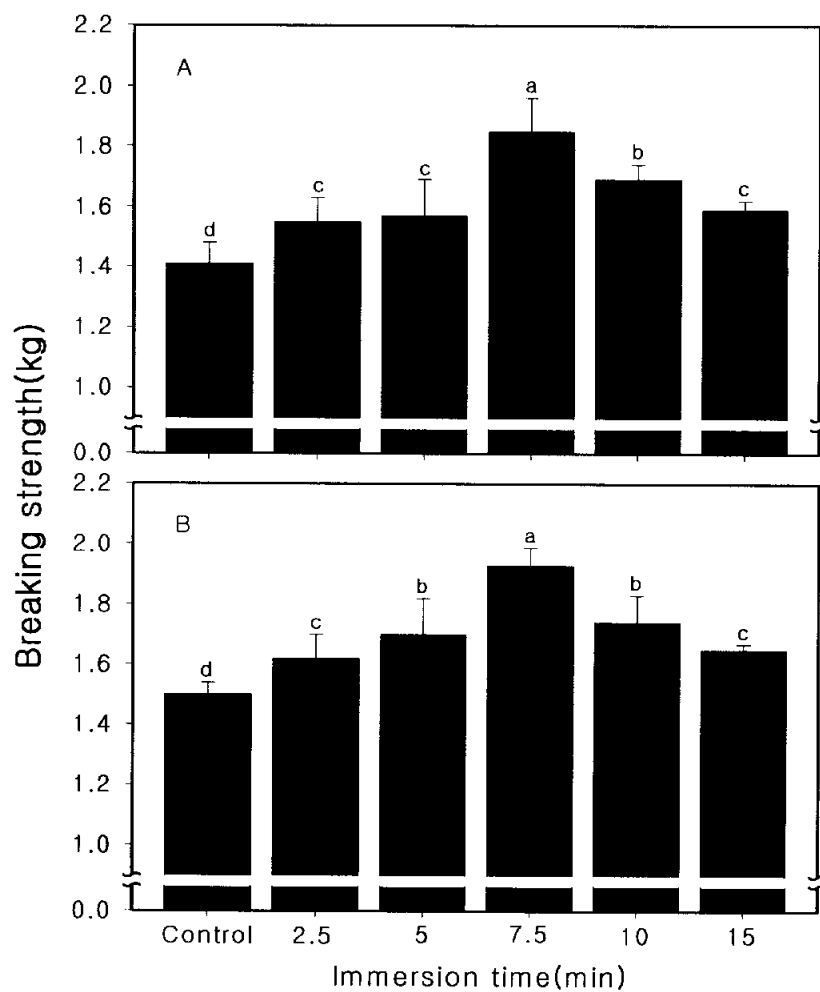


Fig. 35. Effects of different weight on the breaking strength in common sea bass muscle.

A ; 700g B ; 900g

4. 2. 사후경직도(rigor index)의 변화

어체 크기에 따른 넙치의 사후경직도 변화를 Fig. 36에 나타내었다. 어체의 크기가 감소함에 따라 최고경직 도달시간과 최고경직율 모두 감소 줄어드는 경향을 보였는데, 600~800g에서는 약 20시간 후 약 80%의 최고경직율을 보인 반면, 400~600g에서는 최적 침지조건(-12.5℃, 5분 침지)으로 침지시 약 18시간 이후 약 76%의 최고경직율을 보였다.

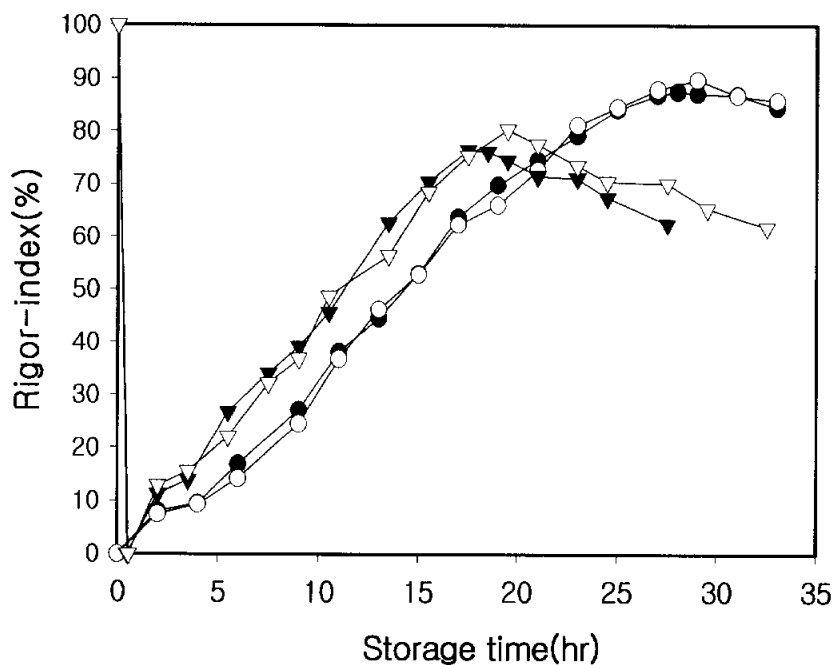


Fig. 36. Effects of different weight on the rigor-index in olive flounder muscle.

- ; 400~600g(spiking at the head instantly)
- ; 600~800g(spiking at the head instantly)
- ▲ ; 400~600g(-12.5℃ for 5min)
- △ ; 600~800g(-12.5℃ for 5min)

요 약

본 연구에서는 우리국민들이 선호하고 생선횡감으로 많이 소비되고 있는 넙치, 우럭, 방어, 숭어, 농어 등을 저온 브라인 용액을 이용하여 육질의 단단함을 향상시키기 위한 최적침지조건을 설정하고자 하였다.

1. 침지온도에 따른 넙치와 우럭의 파괴강도 변화는 즉살구에서 각각 1.48kg과 1.57kg이었으며, 최적 침지온도인 -12.5°C 에서는 1.95kg과 1.97kg으로 각각 약 30%와 25%의 상승률을 나타내었다. 그러나, 12.5°C 보다 침지온도가 높거나 낮아지면 파괴강도의 상승률이 낮게 나타났다. 그리고 침지시간에 따른 파괴강도의 변화는 넙치, 우럭, 방어, 숭어, 농어가 즉살구에서 각각 1.48kg, 1.57kg, 1.25kg, 1.51kg, 1.41kg이었으며, 넙치와 우럭은 최적 침지시간이 5분으로 각각 1.95kg, 1.97kg을 나타내었다. 그러나 방어, 숭어, 농어의 경우 7.5분 침지시 각각 1.52kg, 1.90kg, 1.85kg으로 21%, 26%, 31%의 파괴강도의 향상을 보였다.
2. 침지온도에 따른 사후 경직의 진행은 넙치와 우럭 모두 침지온도가 낮아짐에 따라 최고경직까지 도달시간이 짧아지고 최고경직율도 낮아지는 결과를 나타냈으며, 침지시간에 따른 사후 경직의 진행도 이와 유사한 경향을 보였는데 침지시간이 길어짐에 따라 넙치, 우럭, 방어, 숭어 그리고 농어의 최고경직까지의 도달시간이 짧아지고 최고경직율도 낮아지는 결과를 나타내었다.
3. 근육 중의 유산함량은 브라인의 온도가 저하함에 따라 증가하다가 -12.5°C 에서 최대값을 보였고, 그 보다 더 낮은 온도에서는 다시 감소하는 경향을 보였다. 또한 침지시간이 길어짐에 따라 유산함량이

증가하다가 넙치와 우럭은 5분에서, 방어, 송어, 농어는 7.5분 침지시에 최대값을 나타냈으며, 그 보다 침지 시간이 더 길어지게 되면 다시 감소하는 경향을 나타내었다.

4. 넙치, 우럭, 방어, 송어, 농어의 전체 ATP관련물질의 함량은 각각 $12.0 \mu\text{mole/g}$, $8.3 \mu\text{mole/g}$, $8.0 \mu\text{mole/g}$, $8.1 \mu\text{mole/g}$, $8.0 \mu\text{mole/g}$ 을 나타내었고, 브라인 온도에 따른 ATP의 함량은 넙치와 우럭 모두 즉살구에서 가장 높았으며, 브라인 온도가 낮아짐에 따라 ATP 함량이 감소하여 12.5°C 에서 최소값을 보였고, -12.5°C 보다 더 낮은 온도에서는 다시 증가하는 경향을 보였다. ATP함량과 파괴강도 사이에는 높은 상관관계를 보였으며, ATP함량이 가장 낮은 -12.5°C 에서 파괴강도는 가장 높게 나타났다. 침지시간에 따른 ATP의 함량은 넙치와 우럭은 5분 침지시 가장 낮은 함량을 보였고, 방어, 송어, 농어는 7.5분 침지시 가장 낮은 함량을 나타내었다.
5. 근육의 조직학적인 변화는 침지온도가 감소하고, 침지시간이 증가함에 따라 세포와 세포사이의 간격이 넓어져 collagen matrix의 구조가 점점 약화되는 경향을 보였다.
6. 즉살한 것과 최적 침지조건에서 침지한 것의 생선횡감별에 따른 파괴강도는 넙치, 우럭, 방어, 송어, 농어 등 모든 어종에서 침지한 것이 즉살구에 비해 높은 파괴강도를 보였으며, 상승률은 각각 31.8%, 25.5%, 21.6%, 25.8%, 31.2% 였다.
7. 넙치, 우럭, 방어, 송어, 농어 등을 저온 브라인에 침지시 어체의 크기에 따른 침지효과는 어체가 커짐에 따라 파괴강도의 증가는 있었으나, 파괴강도의 상승효과는 다소 감소하는 경향을 보였으며, 사후 경직도의 변화는 어체의 크기가 감소함에 따라 최고경직 도달시간

과 최고경직을 모두 다소 줄어드는 경향을 보였다.

결론적으로 생선횃갑용 어류를 저온 브라인 용액에 침지를 하면 육질의 향상을 가져올 수 있었고, 넙치와 우럭은 -12.5°C 에서 5분, 방어, 송어, 농어는 -12.5°C 에서 7.5분 침지시 육질향상을 위한 최적의 조건으로 조사되었다.

감사의 글

논문이 완성되기까지 세심한 지도와 끊임없는 관심, 사랑으로 항상 지도해 주시며, 제가 이 자리에 있게 이끌어 주신 조영제 교수님께 깊이 감사의 말씀을 전하고 싶습니다.

그리고, 논문발표와 심사과정에서 미처 착안하지 못한 부분까지도 교연하여 주시고 조언을 아끼지 않으신 식품공학과 장동석 교수님, 이근태 교수님, 김선봉 교수님, 양지영 교수님, 전병수 교수님, 안동현 교수님께도 감사의 말씀을 전하고자 합니다.

또한, 부족한 절 늘 함께 도와주시고, 배려해주신 김태진 선배님과 민진기 선배님을 비롯한 진흥원 선배님께 감사드리며, 항상 최선을 다하도록 용기와 조언을 아끼지 않으신 동명대학 이남걸 교수님 그리고, 한병수 선배님을 비롯한 수산가공실험실 선배님들께도 고마움을 전합니다. 또한, 기쁠 때나 슬플 때 함께 해온 조민성 선배님, 서덕훈 선배님, 심길보 선배님, 박대찬 선배님, 임철환 선배님께 깊이 감사드리며, 처음 실험실 생활 시작부터 함께 믿고 도와준 동기 박광호, 임성준, 김종택, 주정미 그리고 실험실 후배들 박정우, 정호진, 박영남, 주은정, 이재현, 김윤철, 오상민, 김아영, 정희정, 박철윤, 신상규, 최고운, 김지연, 권정희, 임형임, 엄혜원, 성화영, 홍윤경, 편성식 후배님께도 고마움을 전합니다. 그리고, 실험실이라는 인연으로 함께 동고동락 했던 모든분께 감사드립니다.

그리고, 못난 절 사랑으로 믿음으로 지켜봐 주신 조모님과 부모님, 형, 형수, 여동생 그리고 친지분들께 머리숙여 감사드립니다.

참고문헌

- Ando, M., H. Toyohara, Y. Shimizu and M. Sakaguchi. 1991a. Post-mortem tenderization of fish muscle proceeds independently of resolution of rigor mortis. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 1165~1169.
- Ando, M., H. Toyohara, Y. Shimizu and M. Sakaguchi. 1991b. Post-mortem tenderization of rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*)muscle caused by gradual disintegration of the extracellular matrix structure. *J. Sci. Food Agric.*, 55, 589~597.
- Ando, M., H. Toyohara, Y. Shimizu and M. Sakaguchi. 1991c. Post-mortem tenderization of rainbow trout muscle caused by gradual disintegration of the extracellular matrix structure. *J. Sci. Food Agric.*, 55, 589~597.
- Ando, M., H. Toyohara and M. Sakaguchi. 1992a. Post-mortem tenderization of rainbow trout muscle caused by the disintegration of collagen fibers in the pericellular connective tissue. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58(3), 567~570.
- Ando, M., H. Toyohara and M. Sakaguchi. 1992b. Three-dimensional structure of collagen fibrillar network of pericellular connective tissue in association with firmness of fish muscle. *Nippon Suisan*

- Gakkaishi, 58(7), 1361 ~ 1364.
- Ando, M., H. Toyohara, Y. Shimizu and M. Sakaguchi. 1993. Post-mortem tenderization of fish muscle due to weakening of pericellular connective tissue. Nippon Suisan Gakkaishi, 59, 1073 ~ 1076.
- Barker, S. B. and W. H. Summerson. 1941. The colorimetric determination of lactic acid in biological material. J. Biol. Chem., 138, 538 ~ 542.
- Bito, M., K. Yamada, Y. Mikumo and K. Amano. 1983. Studies on the rigor mortis of fish: 1. Difference in mode of rigor mortis among some varieties of fish by modified cutting's method. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., No. 109, 89(in Japanese).
- Cho YJ, Kim YY. Early changes after death of plaice, *Paralichthys olivaceus* muscle. 2. Temperature dependency on physicochemical and rheological properties. Bull. Korean Fish. Soc. 1993; **26**: 1 ~ 7 (in Korean).
- Cho YJ, Lee NG, Kim YY, Kim JH, Lee KW, Kim GB, Choi YJ. Early changes after death of plaice, *Paralichthys olivaceus* muscle. 6. Effect of killing methods on morphological changes of myofibrils and histological changes of muscle. Bull. Korean Fish. Soc. 1994; **27**: 327 ~ 334 (in Korean).

Cho YJ, Lee NG, Kim YY, Kim JH, Choi YJ, Kim KB, Lee KW.
Early changes after death of plaice, *Paralichthys olivaceus* muscle.
4. Effect of killing methods on rigor index and breaking strength
of muscle. Bull. Korean Fish. Soc. 1994; **27**: 41~61 (in Korean).

Cho YJ, Cho MS, Choi YJ. Effect of anesthesia killing and
non-bleeding on the breaking strength of plaice muscle. Bull.
Korean Fish. Soc. 1996; **29**: 912~913(in Korean).

Cho YJ, Cho MS, Kim SM, Choi YJ. Effect of anesthesia killing and
non-bleeding on physicochemical properties of plaice *Paralichthys
olivaceus* muscle at early period after death. Bull. Korean Fish.
Soc. 1997; **30**: 589~594 (in Korean).

Duance, V. C., D. J. Restall, H. Beard, F. J. Bourne and A. J.
Baily. 1977. The location of three collagen types in skeletal
muscle. FEBS Lett., 79, 248-252.

Iwamoto M, Yamanaka H, Abe H, Watabe S, hashimoto K.
Comparison of rigor-mortis progress between wild and cultured
plaices. Nippon Suisan gakkaiishi. 1990; **56**: 101~104.

Iwamoto M, Yamanaka H, Watabe S, Hashimoto K. Effects of
storage temperature on rigor-mortis and ATP degradation in

plaice *Paralichthys olivaceus* muscle. J. Food Sci. 1987; **52**: 1514~1517.

Iwamoto, M., H. Yamanaka, H. Abe, H. Ushio, S. Watabe and K. Hashimoto. 1988. ATP and creatine phosphate breakdown in spiced plaice muscle during storage, and activities of some enzyme involved. J. Food Sci., 53, 1162~1165.

Iwamoto, M., H. Ioka, M. Saito and H. Yamanaka. 1985. The relationship between rigor mortis of sea bream and storage temperatures. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 51, 443~449

Kim YY, Cho YJ. Early changes after death of plaice, *Paralichthys olivaceus* muscle. 1. Early changes after death and temperature dependency. Bull. Korean Fish. Soc. 1992; **25**: 189~196 (in Korean).

Kim JH, Lee NG, Kim YY, Lee KW, Cho YJ. Early changes after death of plaice, *Paralichthys olivaceus* muscle. 3. Effect of killing methods on changes in content of ATP and its related compounds and lactate. Bull. Korean Fish. Soc. 1993; **26**: 403~408 (in Korean).

Kim TJ. Effect of electrical stimulation on physicochemical properties of muscle protein from plaice. Pukyong National Univ. Ph. D.

degree 1998.

Seki, N. and H. Tsuthiya. 1991. Extensive changes during storage in carp myofibrillar proteins in relation to fragmentation. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 927-933.

Seki, N. and T. Watanabe. 1984. Connectin content and its post-mortem changes in fish muscle. *J. Biochem.*, 95, 1161-1167.

Tachibana, K., T. Doi, M. Tsuchimoto, T. Misima, M. Ogura, K. Matsukiyo and M. Yasuda. 1988. The effects of swimming exercise on flesh texture of cultured red sea-bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 54(4), 677-681.

Watabe, S., G. C. Hwang, H. Ushio, H. Yamanaka, K. Hatae and K. Hashimoto. 1991. Short thermal treatment effect on carp myofibril and sarcoplasmic reticulum: Possible mechanisms in rigor mortis acceleration by arai treatment. *J. Food Sci.*, 56(3), 653-656.

Watabe, S., G. C. Hwang, H. Ushio, K. Hatae, H. Yamanaka, and K. Hashimoto. 1990. Acceleration of physicochemical changes in carp muscle by washing in either chilled or heated water. *J. Food Sci.*, 55(3), 674~677.

- Watabe, S., H. Ushio, M. Iwamoto, H. Yamanaka and K. Hashimoto. 1989. Temperature dependency of rigor mortis of fish muscle: Myofibrillar Mg^{2+} -ATPase activity and Ca^{2+} uptake by sarcoplasmic reticulum. J. Food Sci., 54, 1107-1110, 1115.
- Watabe, S., M. Kamal and K. Hashimoto. 1991. Postmortem changes in ATP, creatine phosphate and lactate in sardine muscle. J. Food Sci., 56, 151-153.
- Watabe, S., G. C. Hwang, H. Ushio and K. Hashimoto. 1990. Changes in rigor-mortis progress of carp induced by temperature acclimation. Agric. Biol. Chem., 54(1), 219~221.
- Watabe S, Hwang GC, Ushio H, Hatae K, Yamanaka H, Hashimoto K. Acceleration of physicochemical changes in carp muscle by washing in either chilled or heated water. J. Food Sci. 1990; 55: 674~677.
- Will, P. A., R. L. Henrickson, R. D. Morrison and G. V. Odell. 1979. Effect of electrical stimulation on ATP depletion and sarcomere length in delay-chilled bovine muscle. J. Food Sci., 44, 1646-1648.
- Yamaguchi, S. and C. Takahashi. 1984. Hedonic functions of monosodium glutamate and four basic taste substances used at

various concentration levels in single and complex system.
Agric. Biol. Chem., 48(4) 1077~1081.

山本啓一,丸山工作. 1988. 筋収縮の制御. 筋肉, 105-120.

豊原治彦. 1991. 魚類における死後硬直の生化学と應用上の諸問題. 魚類の死後硬直(山中英明 編). 水産學シリーズ 86. 恒星社厚生閣, 東京, 42.

豊原治彦・志水 實. 1998. 魚體の死後硬直現象と魚肉の物性の關係. 日本水誌, 54(10), 1795~1798.

조영제·김육용. 1993. 넙치육의 사후조기 변화: 2. 물리화학적 및 물성적 특성의 온도의존성. 한수지, 26(1), 1~7.

김재현·이남걸·김육용·이근우·조영제. 1993. 넙치육의 사후조기 변화: 3. 치사방법이 ATP관련물질과 유산함량의 변화에 미치는 영향. 한수지, 26(5), 403-408.

조영제·이근우. 1994. 넙치육의 사후조기 변화: 5. 저장온도가 근원섬유의 형태학적 및 육의 조직학적인 변화에 미치는 영향. 한수지, 27(2), 114-120.

이남걸·양무희·조영제. 1995. 전기자극이 넙치육의 사후조기의 물리화학적 및 물성적 변화에 미치는 영향. 한수지, 28(1), 23-30.