

논문

# 셸 적층 주조 구상흑연주철의 기계적 성질에 미치는 합금원소 및 열처리의 영향

김효민 \*\* · 권민영 \*\*\* · 친병철 \*\*\*\* · 권도영 \*\*\*\* · 김기엽 \*\*\*\*\* · 권해욱 \*†

\*영남대학교 공과대학 신소재공학부, \*\*영남대학교 대학원 첨단뿌리산업공학과, \*\*\*영남대학교 대학원 신소재공학과, \*\*\*\*해원산업(주), \*\*\*\*\* 한국폴리텍대학 창원캠퍼스 신소재응용과

## Effects of Alloying Element and Heat Treatment on the Mechanical Properties of Ductile Cast Iron Poured into Shell Stack Mold

Hyo-Min Kim\*\*, Min-Young Kwon\*\*\*, Byung-Chul Chun\*\*\*\*, Do-Young Kwon\*\*\*\*, Gi-Yeob Kim\*\*\*\*\* and Hae-Wook Kwon\*†

\*School of Mat. Sci & Eng., Yeungnam Univ., Gyeongbuk 38541, Republic of Korea

\*\*Dept. of Advanced Root Industry Eng., Graduated School, Yeungnam Univ., Gyeongbuk 38541, Republic of Korea

\*\*\*Dept. of Mat. Sci. & Eng., Graduated School, Yeungnam Univ., Gyeongbuk 38541, Republic of Korea

\*\*\*\*Haewon Ind. Inc., Gyeongbuk 40113, Republic of Korea

\*\*\*\*\*Dept. of Advanced Material Application., Korea Polytechnics Colleges, Changwon 51518, Republic of Korea

### Abstract

The effects of Alloying Element and Heat Treatment on the mechanical properties of ductile cast iron poured into shell stack molds were investigated. The strength and hardness were increased and the elongation was decreased roughly with the increased amounts of tin and copper added, respectively. Those were greatly increased with the increased amount of tin added and the elongation was roughly decreased with it. In the simultaneous addition of copper and tin, the strength and hardness of the tin increased, but the elongation rate decreased. Those were greatly increased and this was decreased with normalizing. In the case of specimens with smaller section sizes during austempering processing, the strength and hardness were higher than those with larger sections, but the elongation rate was lower.

**Key word:** Ductile cast iron, Mechanical properties, Shell stack mold, Alloying element, Cast iron

### 1. 서론

구상흑연주철은 주로 페라이트와 펄라이트가 혼합된 기지에 구상흑연이 분산되어 있다. 구상흑연주철 용탕을 주입한 후 응고 및 냉각이 일어날 때 오스테나이트 기지의 탄소 고용도가 감소하며 이 때 밀려난 탄소 원자가 공정 응고시 형성한 구상흑연으로 확산한다. 오스테나이트가 안정한 고온으로부터

서냉 시 공석 온도 아래에서는 불안정한 오스테나이트가 변태하여 탄소 고용도가 매우 낮은 페라이트가 형성한다. 냉각 속도가 빠를 경우 탄소들이 구상 흑연으로 확산하는 시간이 충분하지 않아 펄라이트와 페라이트의 혼합 기지 조직이 형성한다[1,2].

일반적으로 구상흑연주철은 열처리하여 미세조직과 기계적 성질을 제어할 수 있으며 목적에 따라 열처리 방법은 달라진다.

- 김효민: 박사과정, 권민영: 석사과정, 친병철: 연구소장, 권도영: 과장, 김기엽: 교수, 권해욱: 명예교수

Received: Feb. 15, 2020 ; Revised: Apr. 24, 2020 ; Accepted: May. 13, 2020 Journal of Korea Foundry Society  
†Corresponding author: Hae-Wook Kwon (Yeungnam Univ.)  
2020. Vol. 40 No. 3, pp. 76-84  
Tel: +82-53-810-2477, Fax: +82-53-810-4628 http://dx.doi.org/10.7777/jkfs.2020.40.3.76  
E-mail: hwkwon@ynu.ac.kr pISSN 1598-706X / eISSN 2288-8381

© Korea Foundry Society, All rights reserved.  
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

그리고 열처리 반응성을 높이기 위하여 구리 및 주석 등과 같은 합금원소를 첨가한다. 이와 같은 합금 원소는 구상흑연주철을 오스테나이트화 처리 한 후 냉각하는 동안 오스테나이트가 펄라이트로 분해하는 것을 지연시키는 역할을 한다[2,3].

노멀라이징 처리는 탄화물을 제거하고 펄라이트 기지를 얻기 위한 강화 열처리이다. 주방 상태에서 탄화물이 존재하면 900~920°C의 범위로 그리고 탄화물이 존재하지 않으면 850°C의 온도로 가열하여 2시간 동안 유지한다. 그리고 두께가 25 mm 이상으로 두꺼울 경우에는 냉각 팬을 사용하여 강제적으로 공냉한다. 냉각 속도가 충분히 빠르지 않으면 일부의 페라이트가 형성하여 강도와 경도가 낮아진다. 표준화 처리는 탄화물을 제거하고 펄라이트 기지를 얻기 위한 강화 열처리이다. 주방 상태에서 탄화물이 존재하면 900~920°C의

범위로 그리고 탄화물이 존재하지 않으면 850°C의 온도로 가열하여 2 시간 동안 유지한다. 그리고 단면적이 작을 경우에는 정지된 공기 중에서 그리고 두께가 25 mm 이상으로 두꺼울 경우에는 냉각 팬을 사용하여 강제적으로 600°C까지 공냉한다. 냉각 속도가 충분히 빠르지 않으면 일부의 페라이트가 형성하여 강도와 경도가 낮아진다[4,5].

오스템퍼링 처리는 높은 강도 및 연성을 동시에 가지는 오스페라이트 기지 조직을 얻기 위한 열처리이다. 이와 같은 조직을 가지는 주철 재료를 오스템퍼드 구상흑연주철 (austempered ductile cast iron, ADI)이라 한다. 오스템퍼드 구상흑연주철은 강도, 인성 및 마모 저항 등의 특성을 조합한 획기적인 특성을 나타내는 주철의 한 종류이다. 오스템퍼드 구상흑연주철은 높은 연성과 인성을 가지는 보통의 구상

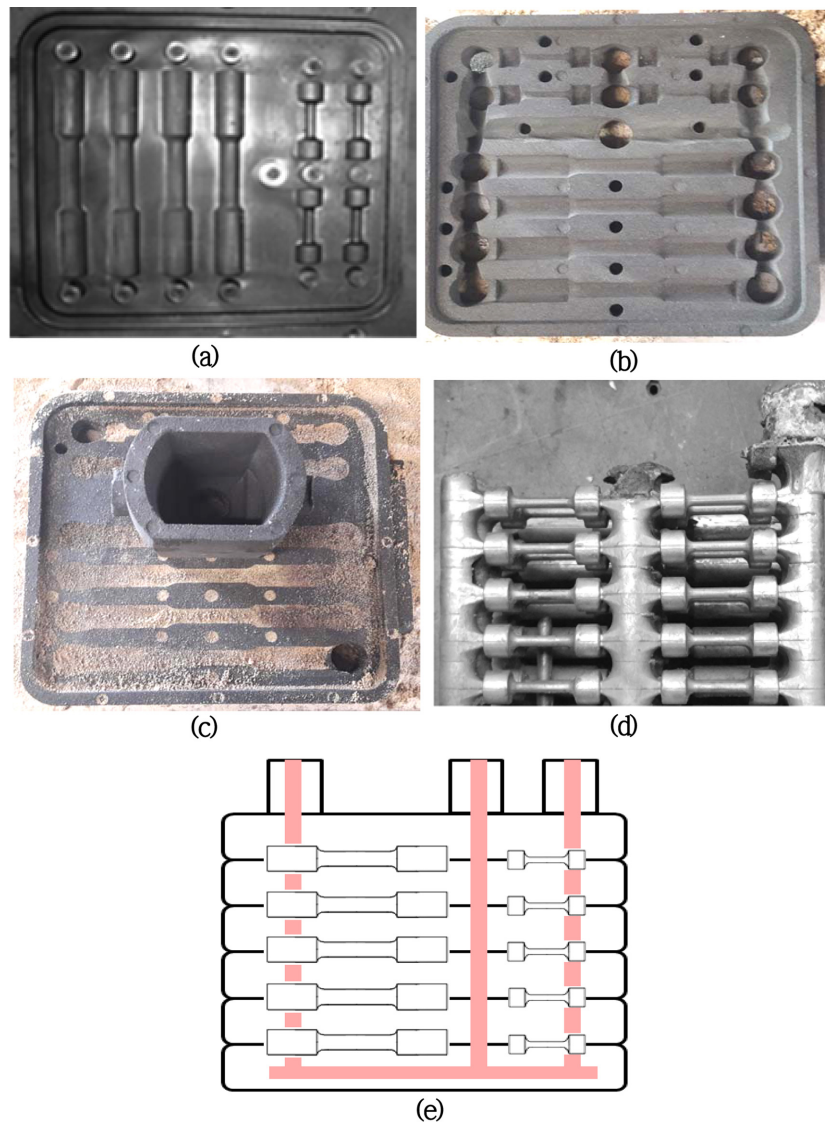


Fig. 1. Die to produce shell plate for stack mold, (a), upper planes of bottom, (b), and top plates, (c) and test casting obtained after shake out, (d), stack mould figure, (e).



형에 소형 레이들을 이용하여 용탕을 주입하여 화학 조성 분석용 시편을 얻었다. 셀 주형관에 주입된 용탕이 완전히 응고하고 상온으로 냉각한 후 탈사하여 최종 시험 주조품을 얻었다.

### 2.3 합금 원소의 영향 실험

셀 적층 주조 시 주조품의 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 합금 원소인 구리 및 주석을 단독 첨가 및 동시 첨가 하였다. 먼저 탄소, 규소 및 잔류 마그네슘의 함량을 각각 3.75, 2.65 및 0.04wt%로 일정하게 하고 구리 함량을 0.30~0.90wt% 범위에서 0.30wt% 간격으로 변화시켰으며 주석 함량은 0.02~0.10wt% 범위에서 0.02wt% 간격으로 변화시켜 그 영향을 시험하였다. 그리고 구리 함량을 0.30wt%로 일정하게 하고 주석 함량을 0.02~0.10wt% 범위에서 0.02wt% 간격으로 변화시켜 이들 두 원소의 동시첨가의 영향을 실험 하였다.

### 2.4 열처리 실험

3.1 kW 용량의 발열체가 칸탈인 상용 및 최고온도가 각각 900 및 1,200°C인 박스로를 이용하여 열처리하였다. 시험 주조품의 가운데 층으로부터 얻은 단면 수축부의 길이와 직경이 각각 62.5 및 12.50 그리고 32.5 및 6.25 mm인 시험 주조품을 탈사 및 절단하여 얻었다. 시험 주조품을 노르말라이징 처리 할 경우에는 900°C의 온도에서 1시간 동안 오스테나이트화 처리 한 후 압축공기와 냉각 팬으로 강제 급공냉 하였다. 그리고 오스텨퍼링 처리 한 경우에는 900°C에서 1시간 동안 오스테나이트화 처리한 후 7.8 kW 용량의 발열체가 니크롬선인 사용 및 최고 온도가 900 및 1200°C인 염욕로를 이용하여 Austempering 처리 하였다. 350°C의 온도로 유지되고 있는 질산나트륨과 질산칼륨을 각각 45 및 55% 혼합한 저온용 혼합염을 사용한 염욕로에 열간 퀴칭한 후 30, 60 및 90분동안 등은 유지하였다.

### 2.5 화학 성분 분석 및 미세조직, 기계적 성질 분석

셀 적층 주조 시 최종 주조품의 화학 조성을 확인하기 위하여 얻은 화학 조성 분석용 칩 시편의 표면을 벨트 그라인더를 이용하여 연마한 후 에미션 스펙트로미터(emission spectrometer)를 이용하여 분석하였다. 주방 상태의 구상화율과 화학 조성 변화에 따른 기지 조직의 변화를 확인하기 위하여 미세조직을 관찰하였다. KS B 0801 4호 표준 인장 시편 및 서브사이즈 인장 시편을 절단한 후 절단면을 보통의 방법으로 조연마하고 다이아몬드 슬러리로 1 μm 등급까지 세 연마하였다. 부식시키기 전 시편의 흑연 조직과 3.0% 나이탈 용액으로 부식 시킨 후의 기지 조직을 광학 현미경으로 관찰 하였다. 그리고 화상분석 장치를 이용하여 구상화율, 흑연립 수 및 기지 조직 중 펄라이트 부피 분율을 측정하였다.

직경과 표점거리가 각각 12.50 및 50 mm인 KS B 0801 4호 표준 시편과 직경과 표점거리가 각각 6.25 및 25 mm인

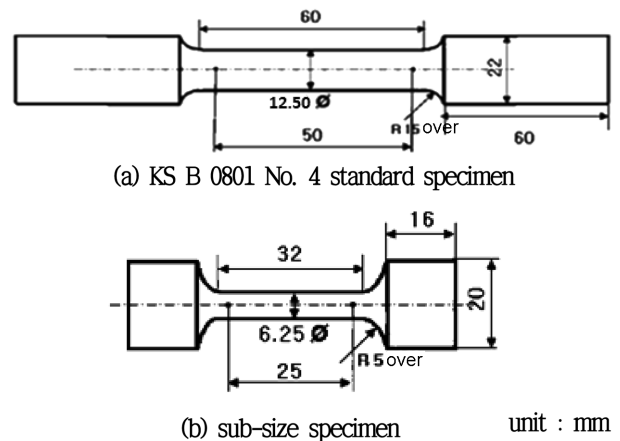


Fig. 2. Tensile test specimen.

서브사이즈 인장시편을 얻어 인장 시험을 하였다. 두 종류의 인장시편의 모양과 크기는 Fig. 2에서 보이는 바와 같다.

50톤 용량의 만능 재료 시험기를 이용하여 인장시험 하였다. 표준 시편의 경우 분당 2 mm의 크로스 헤드 속도 조건에서 그리고 서브사이즈 인장시편의 경우에는 STS 316L 스테인리스 강 치구와 조립하여 만능 재료 시험기에 장착 시킨 후 분당 1 mm의 크로스 헤드 속도 조건에서 시험하였다. 투영기를 이용하여 인장 시험 전후의 단면 직경과 표점 거리를 측정하여 항복 및 인장 강도 그리고 연신율을 계산하였으며 각 조건별로 3회 시험하여 평균값을 얻었다. 그리고 각 조건별로 나머지 1개씩의 단면 수축부가 각각 12.5 및 6.25 mm인 시험 주조품을 절단하고 연마 후 브리넬 경도 시험을 하였다. 5번 시험하여 최대 값과 최소 값을 제외한 나머지의 평균값을 얻었다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 합금 원소의 영향

#### 3.1.1 구리의 영향

주방 상태의 기계적 성질과 기지 조직에 미치는 구리 첨가의 영향을 시험하기 위하여 구리 함량을 0.30~0.90wt% 범위에서 0.30wt% 간격으로 변화시켜 실험하였으며 그 결과는 Fig. 3에서 보이는 바와 같다. 이 때, 탄소, 규소 및 잔류 마그네슘 함량은 각각 3.75, 2.65 및 0.04wt%으로 일정하게 하였다.

단면 수축부의 직경이 6.25 mm로 작은 시편의 경우 구리 함량이 0.30wt%에서 0.30wt% 간격으로 0.90wt%까지 증가함에 따라 인장 강도는 438.5에서 573.2 N/mm<sup>2</sup>으로 증가하였다. 그리고 브리넬 경도 값은 206에서 240까지 증가하였으며 연신율은 2.81에서 2.53%으로 감소하였다. 단면 수축부의 직경이 12.50 mm로 큰 시편의 경우 구리 함량이 0.30wt%에서 0.30wt% 간격으로 0.90wt%까지 증가함에 따라 인장 강도와

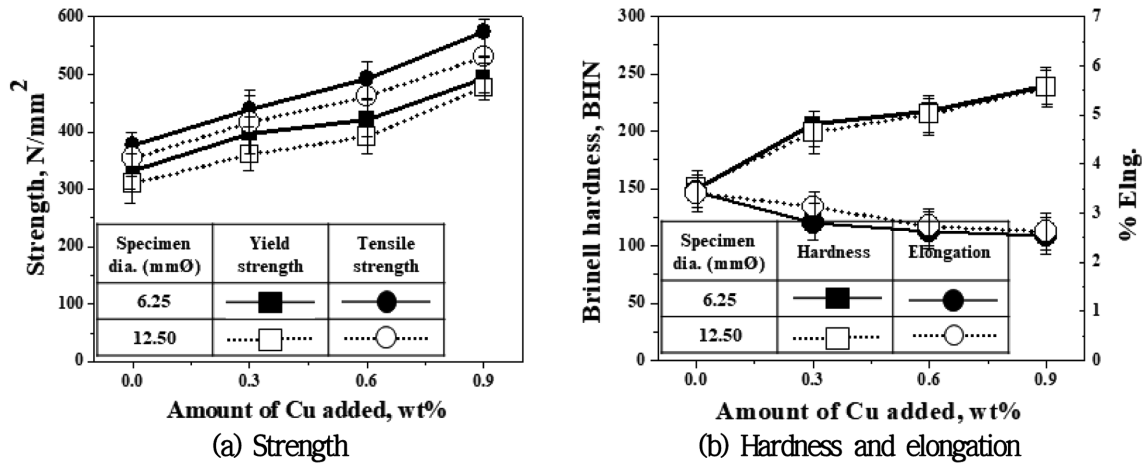


Fig. 3. Effects of the section size and amount of copper content on the mechanical properties of the specimen obtained from the center layer of 5-story shell stack mold.

경도는 각각 415.3에서 530.3 N/mm<sup>2</sup>으로 그리고 199에서 238 까지 증가하였으며 연신율은 3.13에서 2.62%로 감소하였다.

그 원인을 밝히기 위하여 각 시편의 미세조직을 관찰하였으며 그 결과는 Table 3에서 보이는 바와 같다. 단면 수축부의 직경이 작은 시편 및 큰 시편 모두 구리 함량이 0.30wt%에서 0.30wt% 간격으로 0.90wt%까지 증가함에 따라 구상화율은 대부분 90% 이상으로 나타났다. 그리고 단면 수축부의 직경이 작은 시편 및 큰 시편은 구리 함량이 증가함에 따라 기지 조직 중 펄라이트 부피 분율이 각각 42.1에서 81.0 그리고 45.3에서 79.8%으로 증가하였다. 구리는 응고 시, 탄화

물 형성을 촉진시키지 않고, 기지에 녹아 들어가 탄소 확산을 억제하여 펄라이트 형성을 촉진시키므로 펄라이트 부피 분율에 의하여 인장 강도 및 경도가 증가하고 연신율이 감소하였다.

3.1.2 주석의 영향

주방 상태의 기계적 성질과 기지 조직에 미치는 주석 첨가의 영향을 시험하기 위하여 주석 함량을 0.02~0.10wt% 범위에서 0.02wt% 간격으로 변화시켜 실험하였으며 그 결과는 Fig. 4에서 보이는 바와 같다. 이 때, 탄소, 규소 및 잔류 마그네슘의 함량은 각각 3.75, 2.65 및 0.04wt%으로 일정하

Table 2. Chemical analyses of specimens.

Element		Element(wt%)									
		C	Si	Mn	P	S	Mg	Al	Cu	Sn	Fe
Cu	0.30	3.75	2.65	0.300	0.336	0.013	0.040	0.031	0.29	-	Bal.
	0.60	3.74	2.65	0.302	0.337	0.011	0.040	0.032	0.60	-	Bal.
	0.90	3.74	2.66	0.301	0.331	0.010	0.038	0.030	0.89	-	Bal.
Sn	0.02	3.74	2.65	0.299	0.340	0.012	0.039	0.028	-	0.019	Bal.
	0.04	3.74	2.66	0.299	0.335	0.009	0.040	0.031	-	0.040	Bal.
	0.06	3.74	2.66	0.301	0.338	0.011	0.041	0.030	-	0.059	Bal.
	0.08	3.77	2.64	0.302	0.334	0.010	0.041	0.031	-	0.081	Bal.
	0.10	3.75	2.65	0.301	0.336	0.010	0.041	0.029	-	0.102	Bal.
0.3wt%Cu + Sn	0.02	3.74	2.65	0.301	0.336	0.012	0.040	0.031	0.290	0.019	Bal.
	0.04	3.75	2.66	0.300	0.336	0.010	0.040	0.028	0.290	0.040	Bal.
	0.06	3.74	2.65	0.301	0.337	0.011	0.040	0.032	0.300	0.060	Bal.
	0.08	3.75	2.66	0.303	0.335	0.009	0.039	0.031	0.310	0.080	Bal.
	0.10	3.75	2.65	0.301	0.336	0.009	0.040	0.031	0.300	0.100	Bal.

Table 3. Effects of section size and alloying element on the microstructure of ductile cast iron poured into shell stack mold.

Element	Specimen diameter. (mm)	Nodularity (%)	Nodule count (#/mm <sup>2</sup> )	Vol.% Pearlite	Vol.% Ferrite	Carbon equivalent	
Cu	0.30	6.25	91.6	293	42.1	57.9	4.63
		12.50	90.3	286	45.3	54.7	
	0.60	6.25	92.7	332	57.3	42.7	4.64
		12.50	91.2	315	56.5	43.5	
	0.90	6.25	90.5	342	81.0	19.0	4.63
		12.50	90.4	327	79.8	20.2	
Sn	0.02	6.25	91.5	289	64.9	35.1	4.63
		12.50	90.7	281	56.6	43.4	
	0.04	6.25	91.1	301	69.9	30.1	4.62
		12.50	91.5	290	68.3	31.7	
	0.06	6.25	90.4	331	73.2	26.8	4.63
		12.50	90.8	311	71.4	28.6	
	0.08	6.25	91.2	347	85.1	14.9	4.63
		12.50	91.3	334	81.6	18.4	
	0.10	6.25	92.5	358	90.3	9.7	4.64
		12.50	93.1	345	86.4	13.6	
0.3wt%Cu + Sn	0.02	6.25	89.9	314	66.6	33.4	4.63
		12.50	90.4	303	61.2	38.8	
	0.04	6.25	90.8	339	84.1	15.9	4.63
		12.50	91.1	324	79.7	20.3	
	0.06	6.25	91.5	346	85.6	14.4	4.63
		12.50	90.6	321	82.6	16.4	
	0.08	6.25	90.2	368	93.2	6.8	4.62
		12.50	90.3	351	91.3	8.7	
	0.10	6.25	91.3	386	96.2	3.8	4.63
		12.50	90.5	379	93.5	6.5	

게 하였다.

단면 수축부의 직경이 6.25 mm로 작은 시편의 경우 주석 함량이 0.02wt%에서 0.10wt% 간격으로 0.10wt% 까지 증가함에 따라 인장 강도는 520.1에서 681.3 N/mm<sup>2</sup>으로 증가하였다. 그리고 브리넬 경도 값은 212에서 253까지 증가하였으며 연신율은 2.75에서 2.13%으로 감소하였다. 단면 수축부의 직경이 12.50 mm로 큰 시편의 경우 주석 함량이 0.02wt%에서 0.10wt%까지 증가함에 따라 인장 강도와 경도는 각각 492.6에서 613.5 N/mm<sup>2</sup>으로 그리고 209에서 243까지 증가하였으며 연신율은 3.10에서 2.52%으로 감소하였다.

그 원인을 규명하기 위하여 각 시편의 미세조직을 관찰하

였으며 그 결과는 Table 3에서 보이는 바와 같다. 단면 수축부의 직경이 작은 시편 및 큰 시편 모두 주석 함량이 0.02wt%에서 0.10wt% 간격으로 0.10wt%까지 증가함에 따라 구상화율은 대부분 90%이상으로 나타났다. 그리고 단면 수축부의 직경이 작은 시편 및 큰 시편은 주석 함량이 증가함에 따라 기지 조직 중 펄라이트 부피 분율이 각각 64.9에서 90.3 그리고 56.6에서 86.4%으로 증가하였다. 따라서 인장 강도 및 경도는 증가하고 연신율은 감소하였다. 주석은 매우 강력한 펄라이트 형성 촉진 원소이다. 응고 시, 흑연 표면에 편석 하여 탄소의 확산을 억제하는 방법으로 펄라이트 형성을 촉진시키므로 펄라이트 부피 분율에 의하여 강도

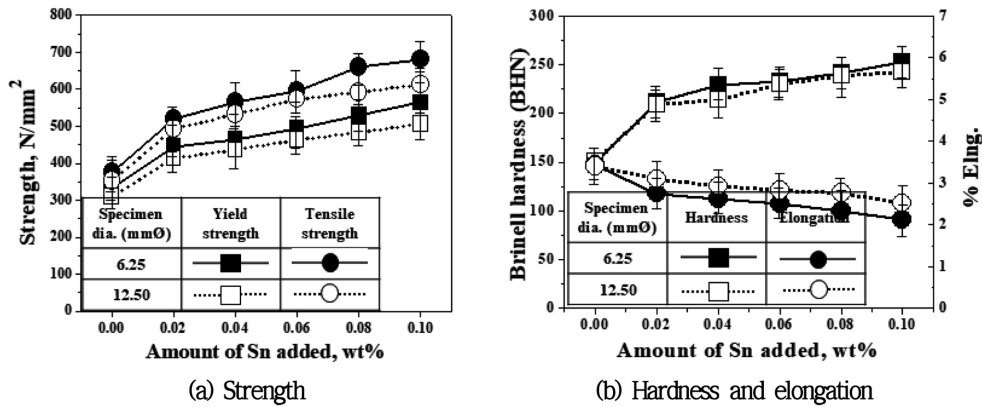


Fig. 4. Effects of the section size and amount of tin content on the mechanical properties of the specimen obtained from the center layer of 5-story shell stack mold.

및 경도가 증가하고 연신율이 감소하였다.

### 3.1.3 구리 및 주석 동시 첨가의 영향

주방 상태의 기계적 성질에 미치는 구리 및 주석 동시 첨가의 영향을 시험하기 위하여 구리 함량을 0.30wt%로 일정하게 하고 주석 함량을 0.02~0.10wt% 범위에서 0.02wt% 간격으로 변화시켰으며 그 결과는 Fig. 5에서 보이는 바와 같다. 이 때 탄소, 규소 및 잔류 마그네슘 함량은 각각 3.75, 2.65 및 0.04wt%로 일정하게 하였다.

단면 크기가 작은 시편의 경우에 주석 첨가량이 0.02wt%에서 0.10wt% 간격으로 0.10wt%까지 증가함에 따라 항복 강도 및 인장 강도는 495.6에서 592.4 그리고 593.5에서 776.2 N/mm<sup>2</sup>로 증가하였으며 브리넬 경도는 230에서 269으로 증가하였고 연신율은 2.52에서 1.91%로 감소하였다. 단면 크기가 큰 시편의 경우 항복 강도 및 인장 강도는 465.9에서 579.2 그리고 562.6에서 734.8 N/mm<sup>2</sup>로 증가하였으며 브리넬 경도는 212에서 256으로 증가하였고 연신율은 2.83

에서 2.03%으로 감소하였다.

그 원인을 규명하기 위하여 미세조직을 관찰하였으며 그 결과는 Table 3에서 보이는 바와 같다. 단면적 수축부의 직경이 작은 주조 시편 및 큰 주조 시편은 구리 첨가량이 0.30wt%으로 일정한 조건에서 주석 함량이 0.02wt%에서 0.10wt%까지 증가함에 따라 구상화율은 대부분 90%이상으로 나타났고, 펄라이트 부피 분율은 각각 66.6에서 96.2 그리고 61.2에서 93.5%으로 증가하였다. 따라서 강도 및 경도는 증가하고 연신율은 감소하였다. 또한 구리 및 주석은 응고 시 기지에 녹아 들어가 탄소 확산을 억제하는 방법으로 펄라이트 형성을 촉진시킨다. 또한 구리 및 주석 동시 첨가의 영향은 첨가량을 변화시켜 결과를 분석하고 그 원인에 대하여 더 연구할 필요가 있다.

### 3.2 열처리

기계적 성질 및 미세조직에 미치는 Normalizing 및 Austempering 처리 조건의 영향을 시험하였다. Normalizing

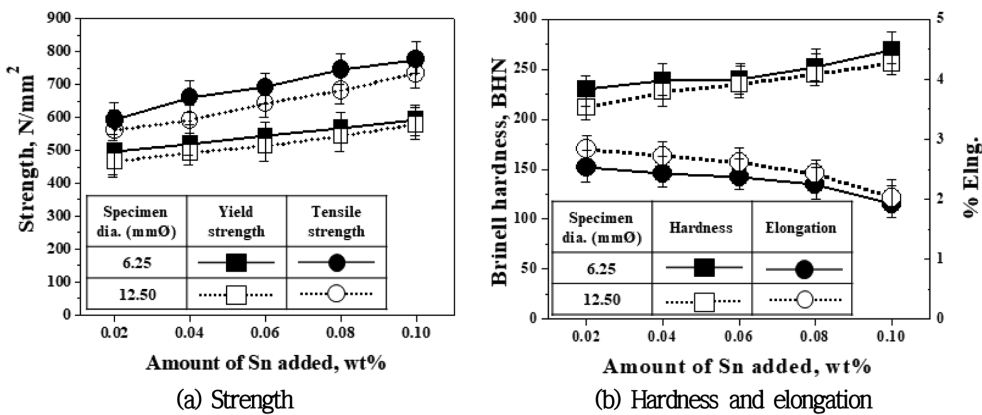


Fig. 5. Effects of the section size and amount of copper 0.3wt% and tin content on the mechanical properties of the specimen obtained from the center layer of 5-story shell stack mold.

처리의 기계적 성질에 미치는 영향 실험 결과는 Table 4 그리고 Fig. 6에서 보이는 바와 같다. 단면 크기가 작은 시편 경우의 항복 강도, 인장 강도 및 경도는 각각 704.6, 792.7 N/mm<sup>2</sup> 및 273으로 나타났으며 연신율은 1.93%이다. 그리고 단면 크기가 큰 시편의 경우 항복 강도, 인장 강도 및 경도는 각각 676.5, 726.3 N/mm<sup>2</sup> 및 265으로 나타났으며 연신율은 2.05%이다. 모든 경우에 단면 크기가 작은 시편의 경우 큰 시편에 비하여 강도와 경도는 더 높았으며 연신율은 더 낮았다. 주방상태의 미세조직이 다르고 오스테나이트화 처리한 후 강제공냉시 단면 크기가 작은 시편의 냉각속도가 큰 시편에 비하여 더 빠르기 때문인 것으로 생각된다.

Austempering 처리의 기계적 성질 관찰 결과는 Table 4 및 Fig 7에서 보이는 바와 같다. 단면 크기가 작은 시편의 경우 큰 시편에 비하여 강도 및 경도는 더 높았으며 연신율은 더 낮았다. 단면이 상대적으로 작은 시편의 경우 Austempering 열처리 시간이 더 길어져서 고체 상태에서 오스테라이트 형성 반응이 더 많이 일어났기 때문인 것으로 생각된다. Austempering

Table 4. Effects of section size and heat-treatment on the mechanical properties.

Heat-treatment	Specimen diameter (mm)	Mechanical Properties				
		Y. S. (N/mm <sup>2</sup> )	T. S. (N/mm <sup>2</sup> )	%Elong	BHN	
Normalizing	6.25	704.6	792.7	1.93	273	
	12.50	676.5	726.3	2.05	265	
Austempering time(min)	30	6.25	824.4	842.3	1.86	286
		12.50	782.5	803.4	1.96	273
	60	6.25	857.4	955.1	1.73	315
		12.50	810.6	916.2	1.89	293
	90	6.25	880.6	980.4	1.62	329
		12.50	842.8	942.5	1.79	306

The aim contents of C and Si were 3.75 and 2.65wt%, respectively.  
\*The aim content of Mn and Mg were 0.3 and 0.04wt%.

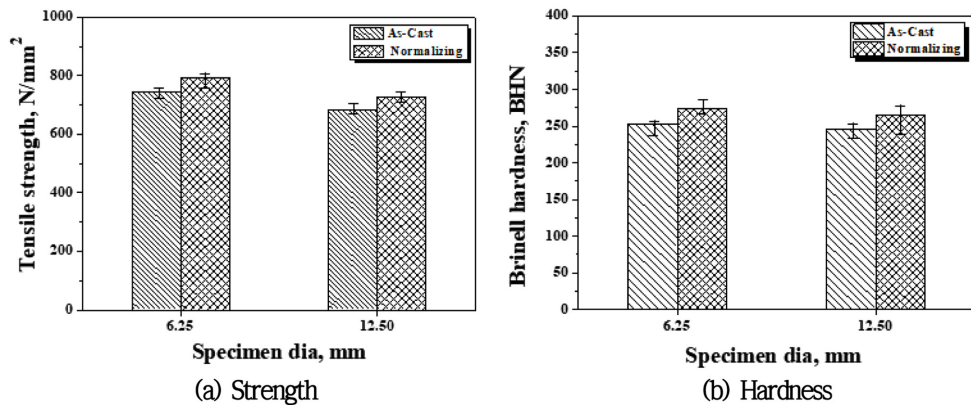


Fig. 6. Effects of the section size and normalizing on the mechanical properties of the specimen obtained from the center layer of 5-story shell stack mold.

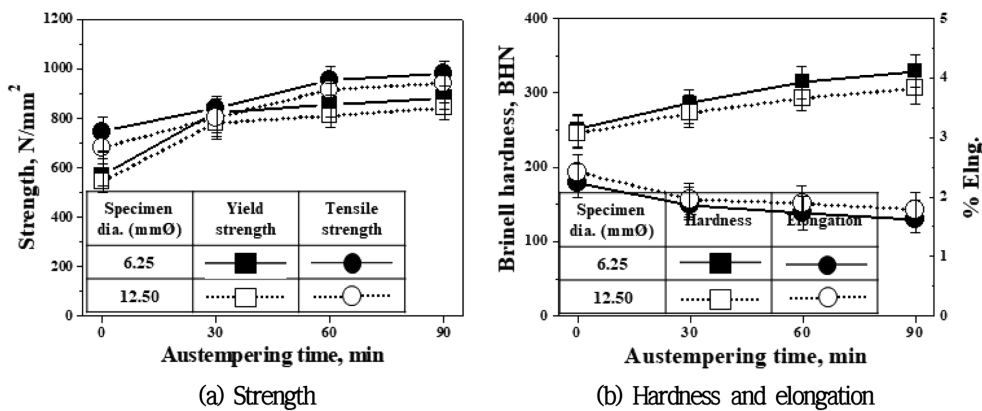


Fig. 7. Effects of the section size and austempering time on the mechanical properties of the specimen obtained from the center layer of 5-story shell stack mold.



처리한 시편의 경우 주방 상태와 비교하여 강도 및 경도가 크게 증가하였다. Austempering 시간이 90분으로 클 때 강도와 경도는 크고 연신율은 작았다.

350°C의 온도에서 90분 동안 단면크기가 작은 시편을 Austempering 처리한 결과 인장강도, 항복강도 및 경도는 각각 880.6, 980.4 N/mm<sup>2</sup> 및 329으로 나타났고, 연신율은 1.62%으로 나타났다. 그리고 단면 크기가 큰 시편의 인장강도, 항복강도 및 경도는 각각 942.5, 842.8 N/mm<sup>2</sup> 및 306으로 나타났고, 연신율은 1.79%으로 나타났다.

#### 4. 결 론

셀 적층 주조 구상흑연주철의 기계적 성질에 미치는 합금원소 및 열처리의 영향을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 구리 함량이 증가함에 따라 강도 및 경도는 증가하였으나 연신율은 감소하였다.
- 2) 주석 함량이 증가함에 따라 강도 및 경도가 증가하였으나 연신율은 감소하였다.
- 3) 구리 및 주석의 동시 첨가 시 주석 함량이 증가함에 따라 강도 및 경도는 증가하였으나 연신율이 감소하였다.
- 4) Normalizing 처리 시 모든 경우에 단면 크기가 작은

시편의 경우 큰 시편에 비하여 강도와 경도는 더 높았고 연신율은 더 낮았으며 주방 상태에 비하여 강도 및 경도가 크게 증가하고 연신율은 감소하였다.

5) Austempering 처리 시 단면 크기가 작은 시편의 경우 큰 시편에 비하여 강도 및 경도가 높았으나 연신율은 더 낮았다.

#### References

- [1] W. F. Smith, Structure and Properties of Engineering Alloys, McGraw - Hill Inc., NY (1993) 353-361.
- [2] M. Gagne, The Sorel Metal Book of Ductile Iron, Rio Tinto Iron & Titanium Inc., London (2004) 23-45.
- [3] J. D. Mullins, "Ductile Iron I, Production", Rio Tinto Iron & Titanium Inc., translated into Korean by M. H. Kim et al. (1992).
- [4] E. L. Kotzin, ed., Metalcasting & Molding Processes, AFS, IL (1981) 29-30.
- [5] M. Hohansson, AFS Trans., "Cast Iron", **85** (1977) 117-118.
- [6] A. Alagarsamy et al., Ductile Iron Handbook, AFS, IL (1992) 204.
- [7] Park IM, Chung WS and Chol NY, Basis and Practice of Iron Casting, (1996) 19-22.