차세대 건축구조용 강재개발

임 성 우*

1. 머리말

1970년대 초부터 시작된 한국의 제철산업은 일본 등 선진 제철소의 철강제조 프로세스 및 강재개발에 관한 기술개발 동향을 주시하고 이에 대한 추적개발에 집중적인 노력을 함으로써 단기간 내에 선진 제철소와 대등한 수준에 이르렀다. 그러나 이러한 기술개발 방법은 고부가가치강을 개발하고 실용화하는데는 거의 한계에 부딪힌 상태이다. 특히 단순히 외국 강재를 복제하는 기술로는 사회가 요구하는 강재의 요구성능를 만족시키는 건축구조용 강재를 개발하기에는 많은 어려움이 따른다. 더욱이 과거와는 달리 현대의 건축구조용 강재는 고강도화 또는 경우에 따라서는 고연질화는 물론이고 환경친화성, 기능성, 내구성, 미관성 및 경제성 등 다양한 성능이 요구되고 있다.

환경적인 측면에서 살펴보면 사회 모든 분야가 소비 에너지와 배출 이산화탄소의 총량을 줄이고 재료의 리사이클링에 관심을 기울이고 있다. 특히 재료의 리사이클링에 대해서는 건축구조용 강재가 타 경합소재에 비해서 훨씬 많은 장점을 갖는 분야 중의 하나이다. 이중에서도 재료측면에서는 부재의 재이용보다 전기로 제품으로 재활용하는 방법이 강재의 리사이클링에는 현실적으로 기여도가 크다. 이때 전기로 제품으로 강재의 리사이클링의 효율성을 보다 높이기 위해서는 기술적으로 많은 어려움이 따르겠지만 합금원소 첨가량을 줄이는 방향으로 신제품 개발이 이루어지는 것이 바람직하다. 이것은 강재의 생산단가를 낮춰서 철골 건축물의 경제성 제고에도 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

건축물이 고층화 및 장스팬화 됨에 따라서 다양한 기능을 갖는 고강도강이 요구된다. 일반적으로 고강도강이 될수록 인장강도 상승에 따라서 항복강도도 그 이상으로 상승되기 때문에 항복비가 높아져서 항복이후 소성변형에 의한 에너지 흡수능력이 저하하는 경향을 보인다. 또한 항복비 저하와 함께 부재의 인성과 관련이 있는 소재의 연신율이 급격히 저하한다. 이러한 현상을 극복하기 위해서는 적절한 열처리를 통해서 강재의 기지조직을 개선해야 한다. 한편 고강도강과는 직접적인 관계는 없지만 협항복점화도 안정한 골조설계 등을 위해서 향후 건축구조용 강재가 지향해야할 과제중의 하나이다. 이를 위해서는 판두께에 따른 항복강도의 분산을 제어할 필요가 있다. 이외에도 시공성과

* 포항산업과학연구원 강구조연구소 건축구조연구팀

경제성에 있어서 관건이 되는 예열 저감형 및 대입열 용접 등이 가능한 강재 개발은 건축분야에서는 반드시 필요로 하는 사항이다.

철강재의 취약점인 녹에 대해서 스테인리스강은 꿈의 강재라고 할 수 있을 정도로 내구성 면에서는 우수하지만 철강재와 비교했을 경우 단가에서 4배 이상이기 때문에 구조부재로 사용하기보다는 의장성 등 미관이 필요로 하는 부위에 주로 사용된다. 최근에는 메인테넌스가 필요없는 무도장 내후성강재가 새로운 구조용 강재로 각광받으면서 각국에서는 보다 성능이 우수한 내후성 강재개발에 박차를 가하고 있다.

이상과 같이 고강도이면서 다양한 성능을 요구하는 건축구조용 강재를 개발하기 위해서 포항제철에서는 일반강 대비 강도 2배, 수명 2배의 꿈의 강재인 차세대 건축구조용 강재 개발을 목표로 해서 산업자원부의 지원하에 1997년 12월부터 5개년간 HIPERS-21(High PERformance structural Steel for 21 century) Project를 포항산업과학연구원과 현대중공업과 공동으로 수행중에 있다. 본고에서는 HIPERS-21 Project의 구성과 개발하고자 하는 강재의 개발목표 및 특성 그리고 적용분야에 대해서 간단히 소개하고자 한다.

2. 신강종의 해외개발동향

2.1 일본의 동향

제철산업에 있어서는 선두주자인 일본은 그간의 철강제조 프로세스의 노하우를 바탕으로 지금까지 어느 누구도 시도해 보지 못한 초세립 강재를 개발하는 Project를 정부 지원하에 수행 중에 있다. 신강재 개발의 핵심기술인 결정입자의 초세립화는 고가의 합금원소에 의존하지 않고 강도를 높일 수 있을뿐만 아니라 합금원소가 첨가되지 않았기 때문에 용접성이 우수한 강재를 제조할 수 있는 새로운 개념의 제조기술이다.

일본의 초세립 강재를 개발하는 Project에는 Super Metal Project와 STX-21 Project가 있다. Super Metal Project에서는 통산성 산하 JRCM(금속계재료 연구개발센타)이 고로 5사와 연구조합을 결성하여 1997년부터 2001년까지 5개년 계획으로 정부지원 연구비로 자동차 경량화 및 초고층 빌딩에 적합한 강재를 개발중에 있다. 그러나 10~20㎛ 정도의 결정입계를 갖는 일반 강재를 1㎛정도로 초세립하는 어려움 때문에 강재의 제조 가능한 두께를 10㎜로 제한하고 있어서 궁극적으로는 건축구조용 강재로 사용하는데에는 어려움이 따를 것으로 예상된다. 한편 과학기술청 산하 NRIM(금속재료기술연구소)이 주관하는 STX-21 Project는 Super Metal Project와 마찬가지로 1997년부터 시작하였으나, 개발기간이 10년이고 개발강재도 800MPa급 구조용 강재뿐만 아니라 1500MPa급 고력볼트용 강재와 내열강 및 내식강을 포함하고 있다. 그러나 구조용 강재의 경우 1단계 연구가 완료되는 2001년까지는 두께 10㎜, 2단계 연구가 완료되는 2006년까지 두께 25㎜의 강재개발을 목표로 하고 있어서 실제 응용분야는 Line Pipe로 국한될 것으로 전망되고 있다. 또한 1500 MPa급 고력볼트용 강재도 제조 열처리 등의 어려움으로 인해서 사용처를 자동차용 스프링강으로 변경중에 있다. 이상에서 보는바와 같이 일본의 초세립 강재개발 Project는 초기의 의도했던 것과는 달리 제조상의 어려움으로 인해서 사용분야가 건축 및 교량에서 자동차나 Line Pipe용으로 바뀌가고 있는 추세이다.

2.2 중국의 동향

중국은 한국과 일본에서 추진중인 초세립강 개발 Project와 유사한 연구를 1999년에 착수하였다. 초세립 강재를 개발하기 위해서 중국의 동북대학교를 포함한 3개 대학, 2개 연구소 및 3개 철강사가 공동으로 참여하여 800 MPa급 구조용 강재뿐만 아니라 1500 MPa급 고력볼트용 강재를 개발중에 있다. 그러나 착수시점이 늦어서 현재까지는 한국과 일본에서의 선행연구를 재현하는 단계에 있다.

3. 차세대 건축구조용 강재개발 Project

3.1 강재개발

21세기 사회 환경 및 기술적 변화를 고려할 때

지금까지의 건축구조용 강재는 미래사회의 Needs를 충족히 만족시킬 수 없을 것으로 예상된다. 향후 요구되어지는 차세대 건축구조용 강재는 획기적인 고강도와 고안정성을 특징으로 하며, Infrastructure의 장수명화를 위한 성능을 만족하며, 수요가 측면에서 사용성이 용이하고, 친 환경성이 요구된다. 이러한 제성질을 균형있게 만족시킬 수 있는 방법으로는 결정립 미세화가 가장 적정한 방법으로 알려져 있다. 세립화를 이용한 차세대 건축구조용 강재를 개발하기 위해서 한국에서도 일본과 마찬가지로 정부의 지원하에 1997년 말부터 5개년 계획으로 포항제철이 총괄주관기관으로 강재개발을 주도하고 있으며, 건축분야의 실용화를 위해서 사용자 입장에서 포항산업과학연구원 강구조연구소와 현대중공업이 세부주관기관으로 HIPERS-21 Project에 참여하고 있다. 일본과 다른 점이 있다면 제철소가 강재개발을 주도하고 있고, 수요가가 Project에 직접 참여하고 있다는 점이다. 또한 내용면에서도 HIPERS-21 Project는 구조용 강재와 고력볼트용 강재 및 해변용 내후성 강재를 개발한다는 점에 있어서는 STX-21 Project와 유사하나, 개발기간이 5년이고 개발하고자 하는 강재의 목표강도가 구조용 강재의 경우는 600MPa급, 고력볼트용 강재의 경우는 1300MPa급으로 다소 낮은 것이 차이점이다. 특히 그림 1에서 보는 것처럼 일본과는 달리 건축분야와 토목분야를 주사용처로 하고 있는 점은 양국에서 개발되고 있는 강재의 큰 차별성을 보여준다.

600MPa급 구조용 강재개발에서는 항복강도가 4.5t/㎠ 이상, 연신율은 20% 이상, 충격흡수에너지는 0℃에서 47J 이상의 성능을 보유할 것으로 예상되는 세립형 건축구조용 강재를 제조하기 위해서 Oxide Metallurgy와 적절한 열처리를 이용해서 오스테나이트 결정입자를 미세하게 한 다음 기존의 제철소 설비가 허용하는 범위내에서 강압하를 하여 결정입자를 5㎛ 이하로 세립화하고 있다. 이때 세립화에 따른 항복강도의 상승으로 항복비가 높아지는 현상을 방지하기 위해서 기지조직을 Ferrite와 Bainite가 혼재된 조직으로 개발방향을 유도함으로써 항복비를 0.85 이하로 제어하려고 노력하고 있다. 그림 2는 개발중인 600MPa급 세립형 차세대 건축구조용 강재의 응력-변형도 곡선을 나타낸다. 한편 특수 합금원소를 첨가하지 않았기 때문에 탄소당량을 건축구조용 TMCP 강재 동등이하의 수준으로 낮게 제어할 수 있어서 예열이 필요없는 세립형 차세대 건축구조용 강재는 용접시 열영향부의 조직이 조대해져서 연화현상이 발생될 우려가

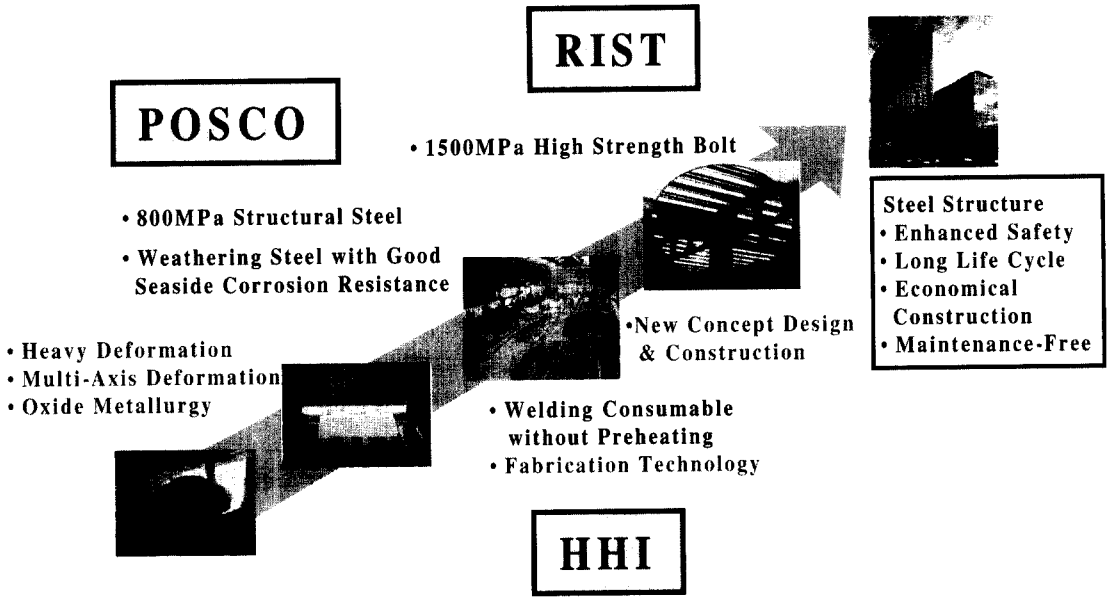

그림 1 개발전략 및 목표

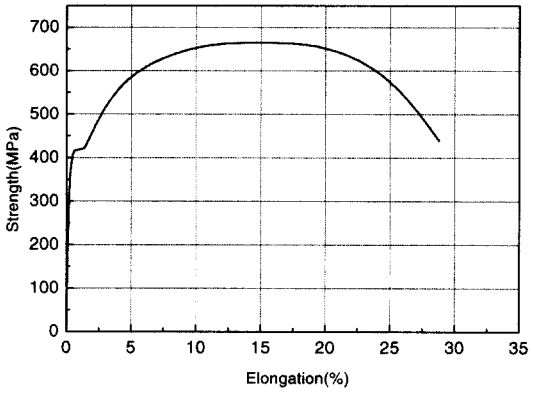

그림 2 차세대 강재의 응력-변형도 곡선

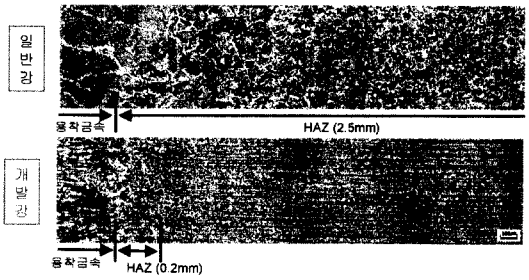

그림 3 일반강과 열영향부가 없는 강

있다. 이러한 연화현상을 방지하기 위해서 질소를 이용한 그림 3과 같은 열영향부가 거의 존재하지 않는 강재로의 개발도 병행 연구중이다. 한편 현대종합금속과 공동으로 세립형 차세대 건축구조용 강재에 적합한 SAW와 FCAW 용접재료도 개발중에 있다.

HIPERS-21 Project에서 가장 빠른 템포로 개발이 진행중인 1300 MPa급 고력볼트용 강재개발에서는 수소지연파괴에 대한 저항성이 우수한 강재를 제조하기 위해서 Carbide Free Microstructure를 갖는 강재를 개발하여 물성실험을 완료한 상태이다. 그림 4에서 보는 바와같이 수소지연파괴 저항성뿐만 아니라 일반 기계적 성질이 일본에서 개발된 동급의 고력볼트용 강재에 비해서 우수한 것으로 나타나고 있다. 향후에는 한국볼트와 공동으로 실공정에 필요한 제조기술 및 볼트 형상개발에 연구를 집중할 예정이다.

해변형 내후성 강재개발에서는 Ca와 Si-Ti 첨가에 의한 일반강 대비 내식성이 4배 증진된 500MPa급

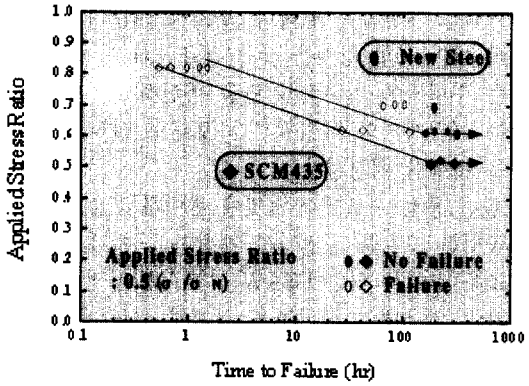

그림 4 수소지연파괴에 대한 저항성

강재를 개발하고, 이와 함께 Ni Rich Rust를 이용한 녹안정화 처리재 개발에 주안점을 두고 있다. 지금까지의 연구성과로는 안정화 녹인 α-FeOOH의 분율이 목표치보다 높은 수준으로 분석되고 있다.

3.2 실용화 기술

포항산업과학연구원 강구조연구소가 담당하고 있는 세립형 강재의 건축분야 적용연구는 크게 두가지로 구분할 수 있다. 첫 번째가 차세대 건축구조용 강재의 설계기준의 검증작업이다. 건축분야는 매우 보수적이기 때문에 신개발 강재가 매우 우수한 성능을 갖고 있더라도 건축구조용 강재로서 건설교통부의 고시가 있어야 사용이 가능하다. 그러나 지금까지 개발된 세립형 강재가 Pilot Plant 규모이기 때문에 부재평가를 하기에는 어려움이 따른다. 이로 인해서 제철소 설비를 이용한 실제 규모의 세립형 강재가 평가용으로 생산되는 2001년 하반기까지는 강도 수준에서는 차세대 건축구조용 강재와 동급이지만 항복비가 높은 용접구조용 SM570 강재를 이용하여 설계기준 검증에 필요한 인장재, 압축재, 휨재 및 기둥재 실험을 위한 지그제작 및 평가기준을 정립하는데 많은 연구를 하고 있다. 또한 건축구조물은 부재와 부재가 접합된 골조이므로 기둥-보 접합부 평가에 대한 기준정립과 차세대 건축구조용 강재에 적합한 접합상세 개발에도 다각적인 연구가 진행되고 있다. 두 번째 연구분야는 차세대 구조용강재가 설계기준을 만족한다고 했을 경우 차세대 건축구조용 강재에 적합한 구조

시스템을 개발하는 일이다. 구조시스템 개발을 위하여 이미 복합 강성을 갖는 구조물의 지진응답해석을 수행하여 이론적 기반을 마련하였으며, 향후에는 지금까지의 해석결과를 토대로 실구조물 실험을 수행할 예정이다.

한편 용접 프로세스 개발에 관여하고 있는 현대중공업은 고효율 용접기를 개발하고, 차세대 건축구조용 강재를 위한 FCAW 및 SAW 용접기술 정립하여 차세대 건축구조용 강재에 관한 용접시방서를 제시하는 작업에 많은 노력을 기울이고 있다.

4. 맺음말

현재 국내 건축구조물에 적용되는 강재의 강도는 500MPa급 수준으로 600MPa급 이상의 고강도강이 적용된 사례를 매우 찾아보기 힘들다. 그러나 건물이 고층화되고, 장스팬화됨에 따라서 일본과 마찬가지로 600MPa급 이상의 강도를 갖는 강재의 사용이 요구될 것으로 기대된다. 또한 구조물의 안전성을 확보하기 위해서 저 항복비의 강재가 필연적으로 필요할 것으로 예측되고 있다. 이와 아울러 시공성을 고려해서 예열이 필요없는 강재를 건축시장에서는 요청하고 있다. 이러한 제성질을 모두 만족시킬 수 있는 차세대 건축구조용 강재가 철골건축분야의 발전에 많은 기여를 할 것으로 기대해본다. 마지막으로 차세대 건축구조용 강재에 관한 보다 자세한 정보를 원하면 인터넷에서 「www.hipers21 co.kr」를 찾아보길 바란다.