



탄소 마스터배치를 위한 새로운 엔지니어링 기술

표상길 · 강창기 · 김기석* · 박수진*†

(주)화승R&A

*인하대학교 화학과

접수일(2013년 1월 2일), 수정일(1차: 2013년 1월 23일, 2차: 3월 21일), 게재확정일(2013년 4월 3일)

New Engineering Techniques for Carbon Master Batch

Sang-Gil Pyo, Chang-Gi Kang, Ki-Seok Kim*, and Soo-Jin Park*†

R&D Team, R&D Center, HWASEUNG R&A, 147-1, Gyo-dong, Yangsan, Gyeongnam, 626-210, Korea

*Department of Chemistry, Inha University, Incheon 402-751, Korea

(Received January 2, 2013, Revised January 23, 2013, March 21, Accepted April 3, 2013)

요약 : 본 고에서는 카본블랙 및 다양한 유기화합물의 혼합에 의해 제조되는 카본 마스터배치의 제조를 위한 신규 엔지니어링 시스템에 대하여 논의하고자 한다. 자동차 타이어와 일상 생활용품에서 각종 산업용품의 소재로 사용되는 고분자 수지는 색상 및 물성 조절을 위하여 대부분 충전제를 사용하고 있으며, 충전제로 카본블랙 또는 실리카가 가장 널리 사용되고 있다. 국내 부품소재산업은 원재료의 배합 등 재료개발의 측면에서는 비약적인 발전을 이루어 냈다. 하지만 제품의 대량생산을 위해 필수적인 요소인 엔지니어링 기술분야는 더딘 기술발전과 높은 해외의존도로 인해 산업적 측면에서 빠르게 성장하지 못하고 있는 실정이다. 따라서, 본 고에서는 카본 마스터배치 생산을 위한 제조 시스템으로 최근 국내 기업에서 개발된 신규 엔지니어링 기술에 대한 소개를 하고자 한다.

ABSTRACT : In this work, we have discussed new engineering systems for preparing carbon master batch composed by carbon black and various organic compounds. In general, polymer resin, which applied for automobile tire, household items, and various industry items, is used with the fillers including carbon black and silica to control the color or properties. Domestic part and material industry has been remarkably developed in that the development of materials including the compounding of raw materials. Meanwhile, the engineering technique for mass production has not reached to a requirement of industry due to slow technique development and high dependence on foreign. Thus, we will focus on the introduction of new engineering technique developed by domestic company for preparing carbon master batch.

Keywords : Carbon master batch, Carbon black, Filler, Engineering technique.

I. 서론

자동차 타이어와 일상 생활용품에서 각종 산업용품의 소재로 사용되는 고분자 수지는 색상 및 물성 조절을 위하여 대부분 충전제를 사용하고 있으며, 충전제로 카본블랙 또는 실리카가 가장 널리 사용되고 있다. 고분자 수지에 첨가된 충전제는 고분자 수지의 기계적 강도 및 내마모성을 높이는 것은 물론 가공성 향상 등 다양한 물성에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.^{1,4}

충전제로 카본블랙은 대부분 furnace process로 만들어지는 furnace black이 주로 사용되며, 이러한 카본블랙은 구상의 입자로 존재하기 보다는 서로 연결된 사슬 모양의 일차적인 구조를 갖는다. 또한, 이들의 함량이 증가함에 따라 상호간의

van der Waals 힘에 의해 그물 형상의 이차적인 구조를 형성한다고 알려져 있다. 이러한 충전제로 카본블랙은 표면적이 큰 미분체로서 다른 물질과의 친화력보다는 응집 현상이 일어나 다른 매질이나 고분자 매트릭스에 쉽게 분산되지 않기 때문에 카본블랙의 이러한 특성을 개선하기 위해 표면처리 기술 또는 마스터배치 (master batch) 등의 기술이 연구되어 왔다.⁵⁻¹⁰

최근에는 산업적으로 제품의 대량생산을 위한 방법으로 마스터배치법을 대부분 사용하고 있다. 마스터배치란 충전제로 카본블랙과 다양한 유기물 등의 화합물을 고분자 수지에 고농도로 분산시켜 작은 알갱이 (pellet) 형태로 제조한 제품을 의미한다. 폴리에틸렌 (polyethylene), 폴리프로필렌 (polypropylene), 에틸렌비닐아세테이트 (ethylene vinylacetate), 폴리카보네이트 (polycarbonate), 폴리비닐클로라이드 (polyvinylchloride), 폴리에틸테레프탈레이트 (polyethylene terephthalate), 그리고 rubber 등의 고분자 수지를 사용하여 압출이나 사출 등의 방법으로

*Corresponding Author. E-mail: spark@inah.ac.kr

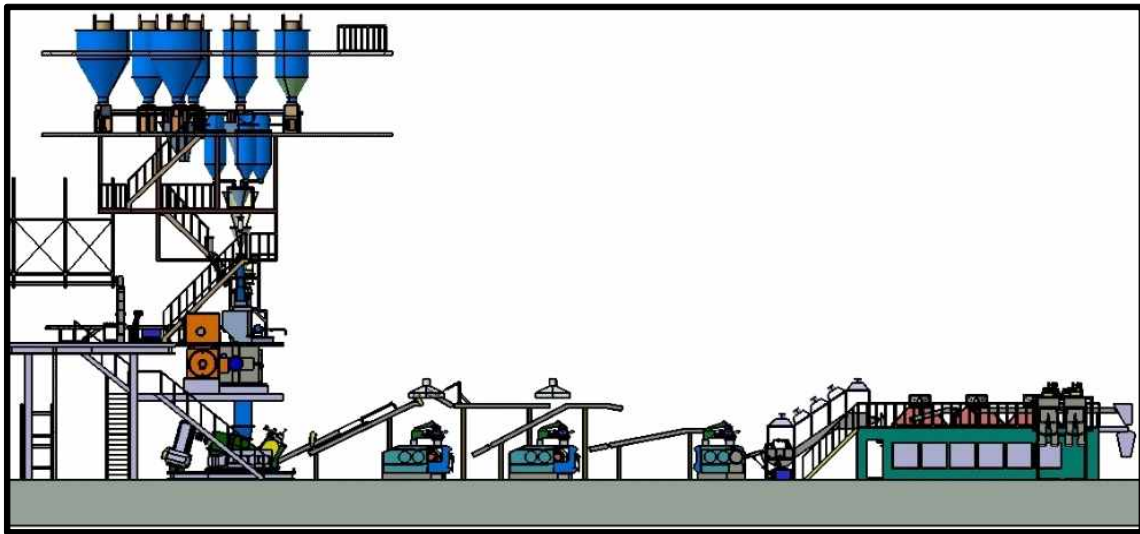


Figure 1. Traditional process system for preparing carbon master batch.

가공 성형하여 제품을 만들 때 제품에 색상이나 어떠한 특수한 기능을 부여하기 위해서는 원하는 기능의 첨가제를 고분자 수지 내에 균일하게 혼합하여야 한다. 그러나 이러한 기능을 가진 첨가제들은 일반적으로 대부분이 가루 또는 액체 상태로 직접적으로 고분자 수지와 혼합하여 사용하기가 어려울 뿐만 아니라, 혼련성이 나빠져서 첨가제의 분산 불량으로 불량품 생산율이 높아지고 물성을 저하시키는 원인이 된다.¹¹⁻¹⁵

마스터배치란 기존의 이러한 단점을 해결하기 위하여 개발된 방법으로서 압출이나 사출 등의 플라스틱 및 고무 가공 공정 중에 미리 제조된 마스터배치를 혼입시킴으로써 미세한 가루 형태를 갖는 일반적인 염/안료 또는 필러의 계량을 정확하게 할 수 있으며, 분산을 좋게 하고 작업 중의 비산성을 저하시킬 수 있다. 마스터배치는 크게 나누어 원하는 색깔을 내기 위하여 사용하는 칼라 마스터배치 (Color Master Batch)와 특수한 기능을 부여하기 위하여 사용하는 기능성 마스터배치 (Functional Master Batch)로 나눌 수 있으며, 칼라 마스터배치가 가장 범용적으로 많이 사용된다.

부품소재산업은 제조업의 핵심근간산업이자 대표적인 장치산업으로써, 핵심원천기술의 확보와 생산설비의 우수성에 따라 기업의 성과가 좌우된다고 할 수 있다. 그 동안 국내 고무 산업을 포함한 부품소재산업은 원재료의 배합 등 재료개발의 측면에서는 비약적인 발전을 이루어 냈다. 하지만 제품의 대량생산을 위해 필수적인 요소인 원재료의 정밀 계량기술과 대형 정련설비 제작기술 등 생산설비분야의 더딘 기술발전과 높은 해외의존도로 인해 산업적 측면에서는 빠르게 성장하지 못하고 있는 실정이다. 또한, 부품소재의 대량생산을 통한 규모의 경제 효과와 함께 생산공정의 합리화를 통해 부가적인 생산 가공비용의 절감을 위해서는 부품소재 제조를 위한 엔지니어링 기술의 국산화는 필수적이라 할 수 있다.

따라서 본고에서는 카본 마스터배치 (Carbon Master Batch; CMB) 대량 생산을 위한 새로운 엔지니어링 기술로 국내 기업에서 개발되어 적용중인 원료의 연속 정밀 계량 및 공기반송 시스템과 CMB 생산공정에서 제품의 품질에 가장 큰 영향을 미치는 요소 중 하나인 원료들의 혼련 과정에서 발생하는 온도 제어를 위한 신규 냉각 제어 시스템에 대하여 논의하고자 한다.

2. 카본 마스터배치를 위한 신규 엔지니어링 기술

(1) 플러그식 공기 반송 시스템 (Pneumatic Plug Conveying System)

CMB를 생산하기 위해서는 주원료인 카본블랙을 비롯해 필러, 약품, 배합유 등 수십 종의 화학원료를 사용하여 배합과정의 정련의 과정을 거쳐야 하는데, 이러한 화학원료들은 파우더 형태의 미세한 분말로 쉽게 비산되는 특징을 가지고 있다. 대부분의 CMB 생산공장은 카본블랙과 필러, 약품 등 주원료의 충전 작업이 최상층에서 이루어지고, 충전된 주원료는 배합 공식에 따른 계량의 과정을 거친 후 중력에 의해 하층의 정련설비로 이송이 되도록 설계된 중력식 원료 이송 시스템 (Figure 1)을 사용하고 있다. 일반적인 중력식 이송 시스템을 사용할 경우 원료 이송 과정에서 호퍼와 배관의 연결 부위 등을 통해 미세분말의 비산이 발생한다. 이렇게 비산되어 버린 원료들은 작게는 공장의 바닥이나 생산설비를 오염시키고 크게는 작업자들의 호흡기를 통해 체내로 흡입되어, 작업환경 악화에 따른 근로의욕 저하를 유발하고, 이는 곧 생산성 하락으로 연결될 수도 있다.

따라서 이러한 화학원료들이 생산공정에서 얼마나 잘 취급되고 관리되는가에 따라서 생산현장의 청결뿐 아니라 작업환

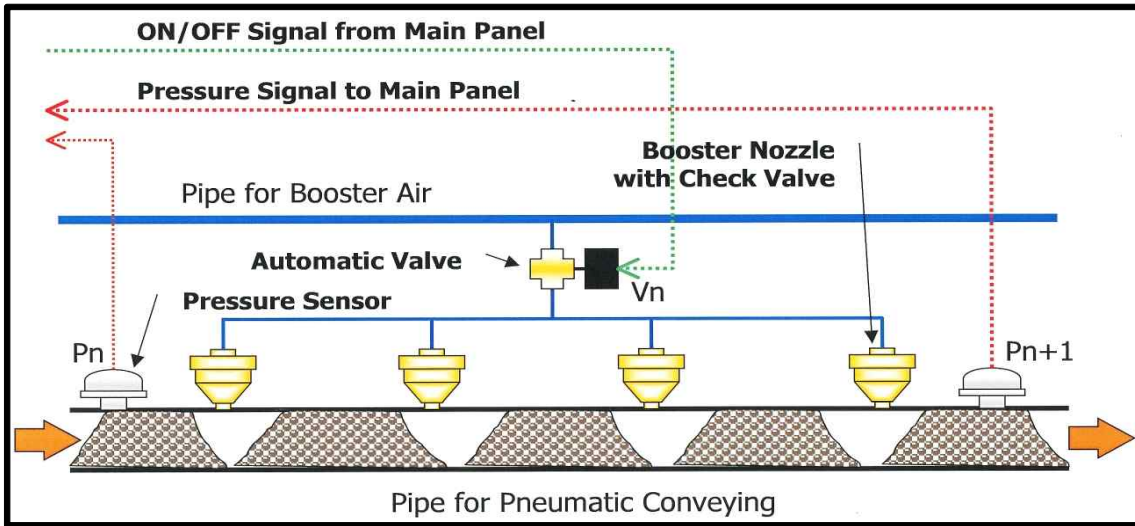


Figure 2. Operation principle (I) of pneumatic plug conveying system.

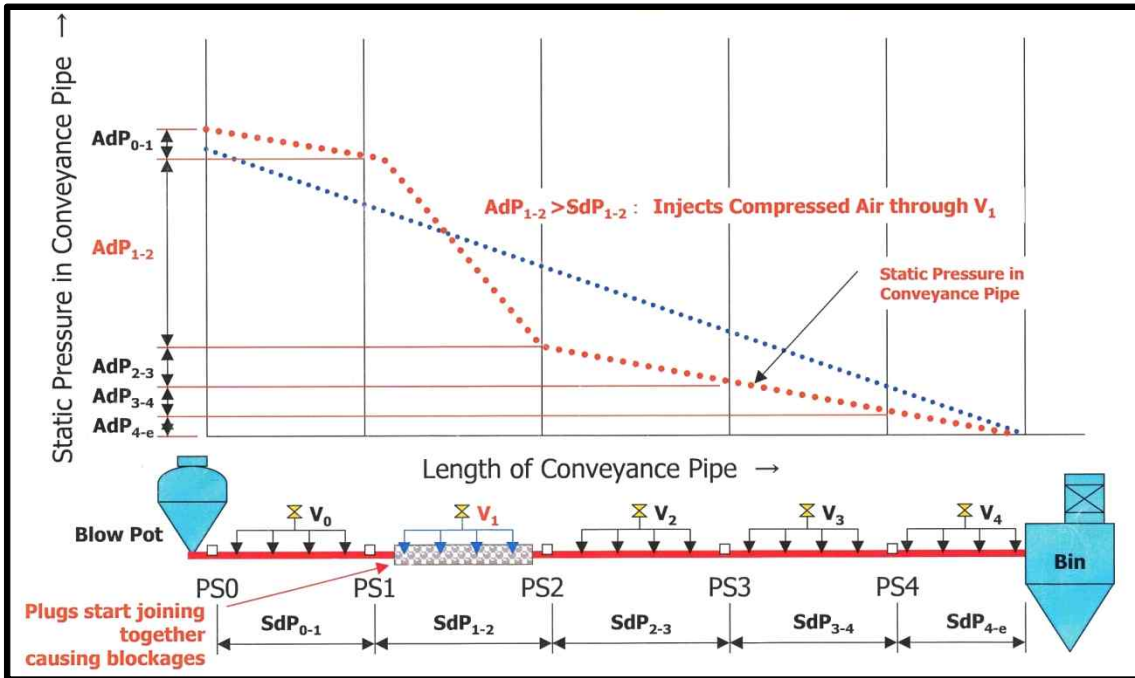


Figure 3. Operation principle (II) of pneumatic plug conveying system.

경의 개선, 원료의 Loss를 감소에 따른 생산수율 향상 등이 가능하다 할 수 있다. 이러한 개념을 바탕으로 기존의 원료의 이송방식인 중력식 이송 시스템의 단점을 보완할 수 있는 신규 원료 이송 시스템에 대한 연구가 이루어져 왔고, 그 결과 개발된 신규 원료 이송 시스템은 플러그식 공기 반송 시스템이라 할 수 있다.

Figure 2와 3에서 보는 바와 같이, 플러그식 공기 반송 시스템이란 블로워나 석선을 사용하는 일반적인 공기 반송 시스템과는 달리, 파이프 라인에 일정한 간격으로 설치된 플러그들

이 파이프 내부의 차압에 의해 작동되는 방식이다. 압력 센서에 의해 파이프 내부의 압력이 평균적인 압력차 보다 크게 감지되면, 그 원인을 파이프의 막힘으로 판단하여 시스템의 작동이 시작된다. 압력 센서에서 파이프가 막혔다는 신호를 전달하고, 전달된 신호에 의해 밸브가 개방되며 플러그로부터 압축공기가 분사된다. 분사에 의해 파이프 내부의 압력차가 평균치 이하로 내려가게 되면 ($P_n - P_{n+1}$), 센서가 이를 감지하여 밸브를 닫고 플러그의 압축공기의 분사가 정지된다.

일반적인 공기 반송 시스템이 아닌 플러그식 공기 반송 시스템을 적용한 가장 큰 이유는 CMB 제조에 사용되는 주원료인 카본블랙의 물성을 보존하기 위해서이다. 카본블랙은 흑색의 매우 미세한 탄소분말인데, 물질의 특성상 입자가 쉽게 부서지며 서로 엉켜버리는 경향이 매우 높다. 서로 엉켜 덩어리 형태가 되어버리면 분산성이 매우 낮아지게 되어 다른 원료들과 혼련이 어렵게 되고, 불량품이 생산될 확률이 높아진다. 블로워나 석션 시스템을 이용하게 되면 카본블랙이 고속으로 이송되는 과정에서 파이프의 내벽에 부딪혀 입자들이 파괴되고 엉켜버려 원료의 Loss율이 높아지고 제품의 수율이 낮아지는 원인이 된다. 반면, 플러그식 공기 반송 시스템을 적용하면 카본블랙이 저속으로 이송되어 본래의 물성이 잘 보존된 상태로 혼련 공정에 투입될 수 있다. 그 외에도 플러그식 공기 반송 시스템을 적용하여 다음과 같은 혁신적인 결과를 얻을 수 있었다.

1. 원료 충전실과 정련 설비실의 이원화 (격벽 설치)를 통한 친환경적 생산현장 실현
2. 원료의 Loss율 최소화 ($\pm 0.2\%$ 대)를 구현함으로써 Storage Tank가 불필요하여 원가절감 효과
3. 공장 건축물의 저층화 (기존 4층높이 (33 m)에서 현재 2층높이 (14 m)로 약 19 m 저층화 실현) (Figure 4)
4. 계량설비가 단층구조로 되어있어 유지보수가 매우 쉽고, 1층에 위치하고 있어 건물 진동에 의한 간섭문제를 해결하여 더욱 안정적이고 정밀한 계량 가능

(2) Fuzzy 제어 냉각 시스템

CMB 생산공정에서 제품의 품질에 가장 큰 영향을 미치는 요소들 중의 하나는 원료들의 혼련 과정에서 발생하는 온도이다. 혼련 되는 원료에 따라 Banbury 챔버 내부는 120~180°C까지 온도가 상승하게 되고, 원료의 특성에 따른 용융점이 이루

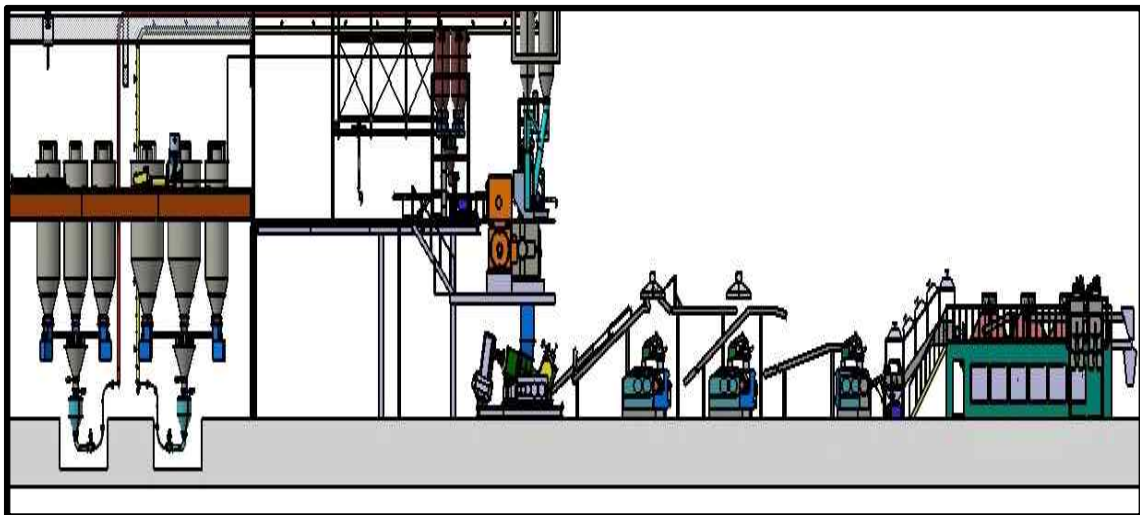


Figure 4. New process system for preparing carbon master batch.

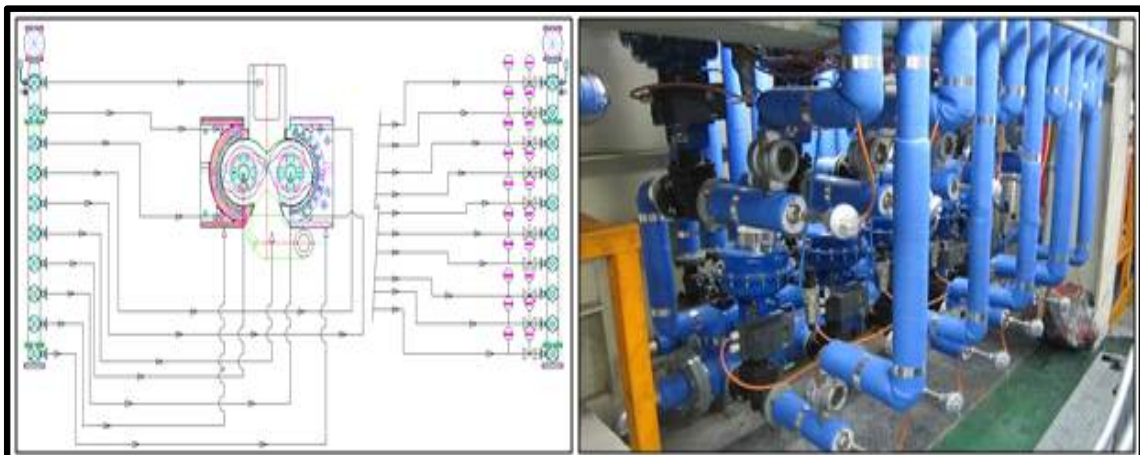


Figure 5. PDI control of each 10 point segment in Banbury chamber by cooling water.

어지는 과정에서 제품의 품질이 결정된다. 따라서 이러한 혼련 온도의 변화를 얼마나 잘 제어하는가가 CMB 생산공정의 핵심 기술 중의 하나라고 볼 수 있다. 보다 효과적이고 효율적인 혼련 온도의 제어와 냉각 효과를 위해, 최근 국내에서 CMB 제조의 선두 주자라 할 수 있는 화승소재는 기존의 일괄적인 냉각 제어 방식에서 탈피하여 Fuzzy 이론을 적용한 냉각수의 PID 제어 방식을 세계최초로 적용하였다.

Figure 5에서 보는 바와 같이, 화승소재는 부산대학교 고분자공학과 연구소와 산학협력을 통해 혼련시 재료 특성에 맞는

banbury 챔버 내부의 열 이력을 산출하고, 그에 따른 데이터를 바탕으로 챔버 내부를 10곳으로 구분, 각각의 segment별 냉각수 Fuzzy 제어를 적용하여 챔버 내부에 산포되어 있는 열분포를 균일화 하는데 성공하였다. 또한 블레이드 비율이 4:1인 4 wing rotor를 장착하고 rotor의 회전비율을 1:1로 맞추므로써 발열을 최소화 시켜, 비정상적인 혼련 온도가 제품 품질에 미치는 영향을 최소화 하였다.

기존의 일괄 냉각 제어방식은 챔버 내부에 순환되는 냉각수의 온도가 일정하지 않고, 챔버 내부의 위치에 따라 발열 온도

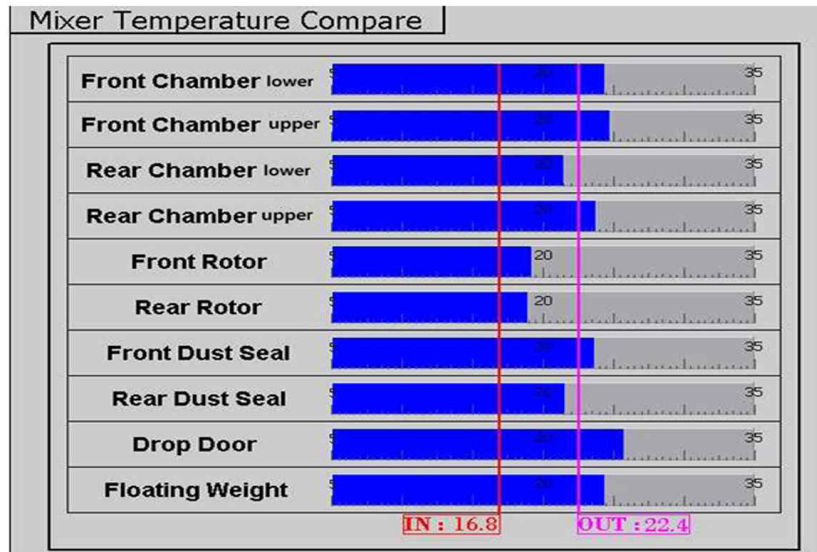


Figure 6. Temperature graph of cooling water in Fuzzy theory-applied chamber.

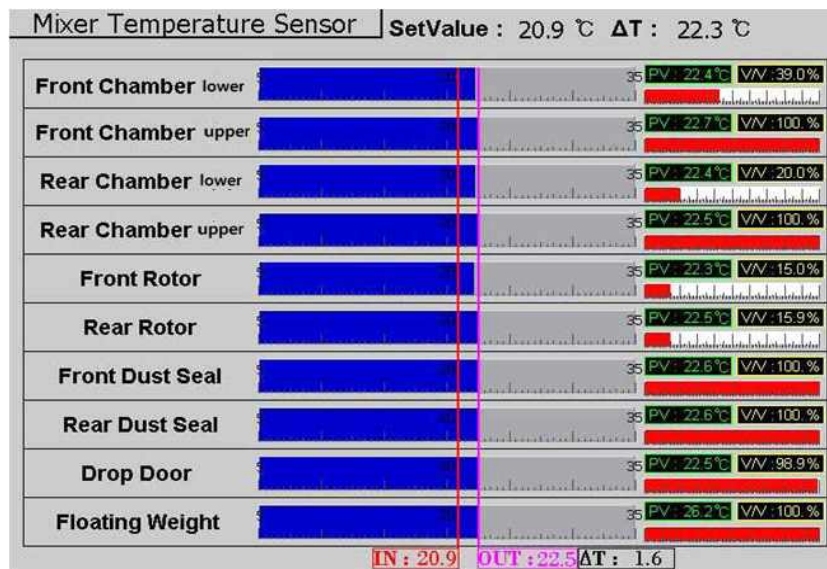


Figure 7. Temperature graph of cooling water in PID control-applied chamber.

가 달라져 균일한 품질의 제품을 연속적으로 생산하는데 어려움이 있었다. 반면, 챔버 내부 10 point segment의 달라진 온도를 Fuzzy 이론을 적용하여 냉각수 개별 PID 제어 기술을 적용하면, 챔버 내부에 순환되는 개별 냉각수의 온도를 일정하게 유지할 수 있다. 혼련시 챔버 내부의 어느 위치에 관계없이 일정하게 제어되어, 챔버 내부가 전체적으로 온도 편차 없이 균등하게 냉각 될 수 있다.

이러한 개별 냉각수 PID 제어 기술은 냉각수의 온도를 Fuzzy 이론에 적용시키는 것으로부터 시작된다. 예를 들어, 어떤 새로운 컴파운딩 개발시 적정 온도를 몇도에 놓고 혼련을 해야 되는지는 엄청난 노력이 필요하기 때문에, 경험상 적당한 가정 수치를 결정하고 마는 것이다. 여기서 애매함은 애매한 그대로 취급하는 이론이 있어야 하는데, 이것이 fuzzy 집합론의 개념이다. 각 대상의 (세그먼트별) 어떤 모임에 속한다 또는 앓는다는 이진법 논리로부터, 각 대상이 그 모임에 속하는 정도를 소속 함수 (멤버십 함수)로 나타냄으로써 수학적으로 표현할 수 있다.

$$\mu A(x) : X \rightarrow [0, 1] \quad (A: \text{냉각수}, : x: \text{발열}) \quad (1)$$

x가 Fuzzy 집합 A에 속하는 정도로 멤버십 함수가 1에 가까우면 X가 A에 속하는 정도가 높다 (발열이 높다)는 것을 나타내고, 0에 가까우면 낮다 (발열이 낮다)는 것을 나타낸다. Fuzzy 이론이 적용된 챔버 내부 냉각수 온도 그래프를 Figure 6에 나타내었다.

Fuzzy 이론에 따라 냉각수 온도의 정도가 설정이 되고 나면, 냉각수 온도는 PID제어 방식을 통해서 제어된다. PID 제어 (Proportional, Integral and Derivative Control: 비례-미분-적분 제어)는 현재 냉각수 온도에 대한 계속적인 피드백 (feedback) 값을 산출하고, 이를 설정값 (S/V)과 비교하여 오차를 계산, 이 오차값을 이용하여 제어가 필요한 제어값을 계산하는 방식이다.

Figure 7은 PID 제어가 적용된 냉각수의 온도 상태를 나타내는 그래프로, 챔버 내부의 위치에 상관없이 냉각수의 온도가 균일하게 제어되고 있음을 알 수 있다. 또한, Figure 8에서 PID 제어를 통해 제어되고 있는 segment별 냉각수들의 온도 차이는 표준편차 그래프를 통해 확인이 가능하다.

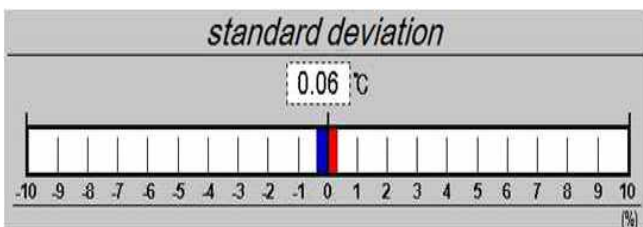


Figure 8. Standard deviation of cooling water temperature.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (x_i - m)^2} \quad (2)$$

또한 Figure 9에서 보는 바와 같이, 원료들의 혼련 과정에서 발열이 낮게 나타나는 배합은 냉동능력이 낮아도 되므로 결국 ΔT가 작게 나타나게 된다. 그렇기 때문에 예를 들어 혼련 온도의 목표치를 160 °C로 맞추어 놓았다고 해도 냉동기의 전체 부하 열량은 적게 사용되기 때문에, 즉 ΔT가 작아지게 되기 때문에 (일반적으로 챔버 내부의 ΔT는 2 °C를 기준으로 함. 이 경우 2 °C 보다 훨씬 작게 나타남) 2 °C 내외를 맞추려고 냉동기 가동능력을 낮추어 (가동중지) 결국 tank 수온을 올림으로써 ΔT 2 °C 부근으로 맞추게 된다. 결과적으로 Figure 10에 나타난 바와 같이 tank 수온이 올라가면 표준편차와 ΔT가 같이 큰 차이로 벗어나는 지점을 설정하여 냉동기 가동시점으로 잡을 수 있다.

$$\text{발열온도} = \sinh(\Delta T) \times \text{tank 수온} + \text{챔버 히스테리 온도} \quad (1 \text{ h 기준}) \quad (3)$$

이러한 기술들을 바탕으로 더욱 정교한 혼련온도의 제어가 가능하게 됨에 따라, 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다.

1. 냉각수 온도 편차 감소에 따른 생산제품의 품질 개선
2. 신규배합의 개발온도 여건을 자동으로 제공

또한 이렇게 향상된 냉각효율의 기술 덕분에, 기존의 CMB와 FMB (Final Master Batch)를 각각 분리된 생산라인에서 제조하던 기존의 2단계 생산공정 (2 stage)을 개선하여 하나의 생산라인에서 CMB와 FMB의 제조 (1 stage: single pass)가 가능하게 되었다. 이러한 생산공정의 통합을 통해서 다음과 같은 효과를 얻게 되었다.

1. 생산공정 감소에 따른 에너지 절감과 그에 따른 탄소배출량 절감
2. Single pass 개발적용으로 생산현장 인원절감
3. 설비라인의 통합으로 인한 투자비용 감소

(3) 설비 제어 시스템

이렇게 구성된 생산설비는 system의 전산화를 통해 최대의 성능을 발휘하게 되며, 가시적인 생산성 향상을 이루어 낸다.

1) 분산 제어 시스템

우선, 석유화학산업 등 정밀화학 산업에서 사용되는 DCS (Distribution Control System: 분산 제어 시스템)를 고무제조업에 적용할 경우, 생산설비로 유입되는 냉각수의 온도, 압축공기의 압력, 스팀의 압력, 전력 변화와 구동모터의 진동이 관계

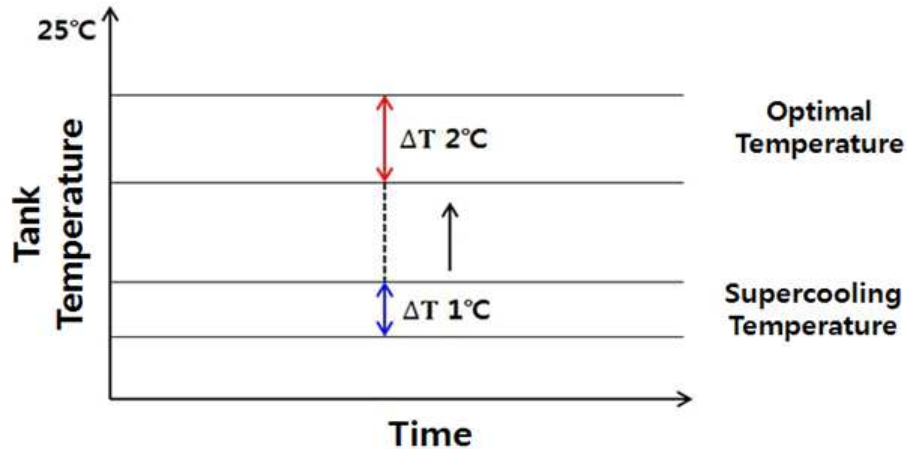


Figure 9. Auto-tracking theory of mixing temperature.

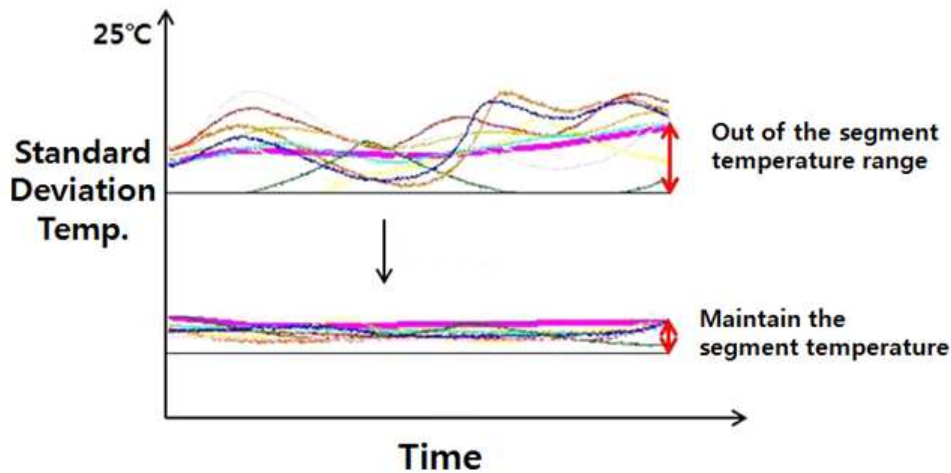


Figure 10. Standard deviation theory of mixing.

실의 운영요원에 의해 제어되고 시스템에 24시간 모니터링 되어, 유틸리티 설비의 효과적인 운용과 관리를 통한 생산성 향상에 기여할 수 있다.

2) 생산 관제 시스템

두번째로, MES (Manufacturing Execution System: 생산 관제 시스템)를 적용하여, 모든 생산작업의 지시는 관제실의 운영 요원만을 통해서 이루어지는 작업 지시의 일원화, scheduling 기능을 통한 공정의 최적화, 현재 진행중인 공정의 상태 및 공정 결과 확인 등의 생산 정보의 데이터를 실시간 수집하고, 이를 통해 통계적인 품질 관리를 위한 데이터를 확보 하여 품질 경영의 기틀을 마련할 수 있다. 또한 lot tracking 기능으로 제품의 불량 발생 시 원자재부터 최종 완제품까지 작업지시별, batch별 또는 pallet 별 생산공정의 어느 부분에서

실수가 발생하였는지 확인이 가능하여, 품질저하에 따른 피해를 최소화 하고 빠른 복구를 통한 수익 창출에 기여할 수 있다.

3) 인간-기계 인터페이스

마지막으로, HMI (Human-Machine Interface: 인간-기계 인터페이스)를 적용하여, 현장에서 작업자들이 보다 직관적이고 보다 쉽게 현재 공정을 이해할 수 있도록 작업자 편의성을 최대로 고려한 기능의 구현으로, 작업자들이 더욱 쉽고, 실수 없이 생산 업무를 이행 할 수 있다.

3. 맺음말

앞에서 살펴본 CMB 제조를 위한 화승소재에서 개발한 신규 엔지니어링 기술의 특징을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 플러그식 공기 반송 시스템을 사용하여 원료 충전실과 정련 설비실의 이원화로 친환경적 생산현장을 실현하였으며, 원료의 Loss율을 최소화 ($\pm 0.2\%$ 대)하고, 공장 건축물을 기존 4층높이 (33 m)에서 현재 2층높이 (14 m)로 약 19 m의 저층화의 실현이 가능하다. 또한, 계량설비를 단층구조로 설계하여 유지보수가 매우 쉽고, 1층에 위치하고 있어 건물 진동에 의한 간섭문제를 해결하여 더욱 안정적이고 정밀한 계량이 가능하다.

둘째, Fuzzy 제어 냉각 시스템의 적용으로 냉각수의 온도 편차 감소에 따른 생산제품의 품질 개선이 가능하고, 신규배합의 개발온도 여건을 자동으로 제공하여 보다 다양한 컴파운딩 재료의 개발이 가능하다. 또한 냉각효율의 상승효과로 인해 기존의 2단계 생산공정 (2 Stage)을 1단계 생산공정 (1 Stage: Single Pass)으로 통합하는, 새로운 공정기술의 개발과 적용이 가능하게 되어, 생산공정의 통합으로 인한 투자비용 절감과 함께 에너지 절감 및 그에 따른 탄소배출량의 절감, 생산현장의 인원절감 효과까지 얻을 수 있다.

셋째, DCS (Distribution Control System: 분산 제어 시스템)를 적용하여 설비에 사용되는 냉각수의 온도, 압축공기의 압력, 스팀의 압력, 전력 변화와 구동모터의 진동 등을 관리하고 제어하여 설비의 가동효율을 높이고, MES (Manufacturing Execution System: 생산 관제 시스템)를 사용하여 작업 지시의 일원화, 공정의 최적화 및 생산 정보 데이터의 실시간 수집 및 통계적인 품질 관리 데이터를 확보 하여 품질 경영의 기틀을 마련할 수 있다. 또한, 작업자들에게 최적의 작업환경을 구축하기 위한 HMI (Human-Machine Interface: 인간-기계 인터페이스)의 적용으로, 작업자들이 직관적이고 쉽게 공정을 이해하여 실수 없이 생산 업무를 이행 할 수 있다.

지금의 산업현장은 더욱 정밀하고 신뢰할 수 있는 안정된 품질을 요구하는 반면, 원재료비와 에너지 비용의 상승에 따른 생산비 증가와 노동력 부족 등의 해결방안으로, 친환경 자동화 설비의 성장과 발전은 필연적이다. 그러므로 이 글을 통하여, 이러한 고부가가치의 엔지니어링 기술을 CMB 제조공장뿐만 아니라 타이어 제조업체 및 기타 유사업체에 소개하고 확대 적용시켜, 우리나라의 고무화학 산업계의 전체적인 생산 효율성이 높아지는 계기가 되기를 바란다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 엔지니어링 원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

Reference

1. M. Mohsen, M. H. Abd-El Salam, A. Ashry, A. Ismail, H.

- Ismail, "Positron Annihilation Spectroscopy in Carbon Black-silica-styrene Butadiene Rubber (SBR) Composites under Deformation", *Polym. Degrad. Stab.*, **87**, 381 (2005).
2. W. Y. Kim, D. S. Lee, G. C. Yug, "Properties of Vulcanizing Rubbers Filled with Carbon Black", *The Korean J. Rheology*, **2**, 1 (1990).
3. E. M. Dannenberg, "The Effects Of Surface Chemical Interactions on the Properties of Filler-reinforced Rubbers", *Rubber Chem. Tech.*, **48**, 410 (1975).
4. S. S. Choi, "Influence of Filler Composition Ratio on Properties of Both Silica and Carbon Black-filled Styrene-butadiene Rubber Compounds", *Elastomer*, **36**, 37 (2001).
5. S. J. Park, J. S. Kim, K. E. Choi, "Filler-elastomer Interactions: 4. Effect of Plasma Treatment on Surface Properties of Carbon Blacks", *Elastomer*, **36**, 94 (2001).
6. J. N. Israelachvili, "Intermolecular and Surface Forces", Academic Press, San Diego, 1992.
7. A. I. Medalla, "Carbon Black-polymer Composites", Marcel Dekker, New York, 1984.
8. J. B. Donnet, A. Voet, "Carbon black", Marcel Dekker, New York, 1976.
9. J. L. White, "Rubber processing", Hanser, Munich, 1995.
10. S. J. Park, J. S. Kim, "Role of Chemically Modified Carbon Black Surfaces in Enhancing Interfacial Adhesion between Carbon Black and Rubber in a Composite System", *J. Colloid Interface Sci.*, **232**, 311 (2000).
11. M. A. Mabry, F. H. Rumpf, J. Z. Podobnik, S. A. Westveer, A. C. Morgan, B. Chung, M. J. Andrew, USP 6,048,923.
12. M. J. Wang, T. Wang, Y. L. Wong, J. Shell, K. Mahmud, "NR/carbon black Masterbatch Produced with Continuous Liquid Phase Mixing", *Elastomers and Plastics*, **55**, 388 (2002).
13. K. Prashantha, J. Soulestin, M. F. Lacrampe, P. Krawczak, G. Dupin, M. Claes, "Masterbatch-based Multi-walled Carbon Nanotube Filled Polypropylene Nanocomposites: Assessment of Rheological and Mechanical Properties", *Compos. Sci. Technol.*, **69**, 1756 (2009).
14. O. Meincke, D. Kaempfer, H. Weickmann, C. Friedrich, M. Vathauer, H. Warth, "Mechanical Properties and Electrical Conductivity of Carbon-nanotube Filled Polyamide-6 and its Blends with Acrylonitrile/butadiene/styrene", *Polymer*, **45**, 739 (2004).
15. K. Prashantha, J. Soulestin, M.F. Lacrampe, M. Claes, G. Dupin, P. Krawczak, "Multi-walled Carbon Nanotube Filled Polypropylene Nanocomposites based on Masterbatch Route: Improvement of Dispersion and Mechanical Properties through PP-g-MA Addition", *eXPRESS Polym. Lett.*, **2**, 735 (2008).